

Design and Development of a Medium-Voltage Early Warning System for Boom Crane Operational Safety

Rancang Bangun Sistem Early Warning Tegangan Menengah untuk Keselamatan Kerja Boom Crane

Priyo Sampurno¹⁾, Izza Anshory ^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi : izzaanshory@umsida.ac.id

Abstract. *Maintenance work on medium-voltage power lines using a boom crane carries a high risk of workplace accidents due to direct contact between the boom crane and 20 kV live conductors. This study aims to design and build a 20 kV voltage detection early warning system to improve the safety of boom crane operators in medium-voltage power line areas. The research employs the Research and Development (R&D) method, field observation, device design, device implementation, system testing, and evaluation of results. The system is designed using a non-contact electric field detection method with a copper wire antenna as the primary sensor. The signal is amplified using a BC547 transistor and produces an output in the form of an LED and a buzzer as warning indicators. Test results show that the system is detecting the presence of a 20kV electric field starting at a distance of 2 meters from the conductor. .*

Keywords - Early Warning System, Boom Crane, 20 kV Voltage, Workplace Safety, Medium-Voltage Network

Abstrak. Pekerjaan pemeliharaan pada saluran listrik tegangan menengah yang menggunakan crane boom memiliki risiko tinggi terjadinya kecelakaan kerja akibat kontak langsung antara crane boom dan konduktor bertegangan 20 kV. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem peringatan dini pendeteksi tegangan 20 kV guna meningkatkan keselamatan operator crane boom di area saluran listrik tegangan menengah. Penelitian ini menggunakan metode Penelitian dan Pengembangan (R&D), observasi lapangan, perancangan perangkat, implementasi perangkat, pengujian sistem, dan evaluasi hasil. Sistem ini dirancang menggunakan metode deteksi medan listrik tanpa kontak dengan antena kawat tembaga sebagai sensor utama. Sinyal diperkuat menggunakan transistor BC547 dan menghasilkan keluaran berupa LED dan buzzer sebagai indikator peringatan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendeteksi keberadaan medan listrik 20 kV mulai dari jarak 2 meter dari konduktor.

Kata Kunci - Sistem Peringatan Dini, Derek Boom, Tegangan 20 kV, Keselamatan Kerja, Jaringan Tegangan Menengah

I. PENDAHULUAN

PT PLN sebagai Badan Usaha Milik Negara merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang penyediaan energi listrik di Indonesia. PLN memiliki tanggung jawab besar dalam menjaga kontinuitas serta kualitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan [1]. Salah satu bagian penting dalam sistem tenaga listrik adalah sistem distribusi tegangan menengah 20 kV yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi menuju pelanggan. Pekerjaan pemeliharaan jaringan listrik tegangan menengah sering melibatkan penggunaan boom crane atau derek untuk membantu pekerjaan pada ketinggian [2]. Penggunaan boom crane di sekitar jaringan bertegangan aktif memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan kerja akibat kontak langsung antara boom crane dengan penghantar tegangan menengah. Kondisi tersebut dapat menyebabkan gangguan sistem distribusi listrik, kerusakan peralatan, hingga kecelakaan fatal yang mengancam keselamatan pekerja di lapangan.

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000), jarak aman minimum antara penghantar saluran udara tegangan menengah adalah 60 cm [3]. Namun pada praktik di lapangan, operator boom crane sering mengalami kesulitan dalam memperkirakan jarak aman terhadap penghantar bertegangan sehingga potensi terjadinya kecelakaan kerja masih cukup tinggi. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem early warning yang mampu mendeteksi keberadaan medan listrik tegangan tinggi secara non-kontak sebelum boom crane memasuki area berbahaya. Sistem ini diharapkan mampu memberikan peringatan dini kepada operator sehingga risiko kecelakaan kerja dapat diminimalisir [4].

Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem early warning deteksi tegangan 20 kV pada boom crane menggunakan sensor medan listrik sederhana berbasis transistor BC547, buzzer, dan LED sebagai indikator peringatan dini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Early Warning

Sistem Early Warning atau sistem peringatan dini merupakan suatu sistem yang dirancang untuk memberikan informasi atau tanda peringatan terhadap potensi bahaya sebelum bahaya tersebut terjadi. Sistem ini banyak digunakan pada bidang industri, kelistrikan, keselamatan kerja, maupun mitigasi bencana untuk mengurangi risiko kerusakan serta kecelakaan kerja.

Pada bidang ketenagalistrikan, sistem *early warning* digunakan untuk mendeteksi keberadaan tegangan listrik atau kondisi berbahaya di sekitar peralatan kerja sehingga operator dapat melakukan tindakan pencegahan lebih awal [5]. Sistem peringatan dini pada penelitian ini bekerja dengan mendeteksi medan listrik tegangan menengah 20 kV secara non-kontak menggunakan sensor antena lilitan kawat.

B. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan upaya perlindungan terhadap tenaga kerja agar terhindar dari risiko kecelakaan maupun penyakit akibat kerja. Dalam lingkungan kerja kelistrikan, penerapan K3 sangat penting karena pekerjaan berhubungan langsung dengan energi listrik bertegangan tinggi yang berpotensi menimbulkan cedera serius hingga kematian [6].

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, setiap pekerja berhak mendapatkan perlindungan keselamatan dalam melakukan pekerjaan [7]. Pada pekerjaan pemeliharaan jaringan tegangan menengah, penggunaan *boom crane* di dekat penghantar aktif memiliki risiko tinggi apabila tidak memperhatikan jarak aman terhadap jaringan listrik. Oleh karena itu, diperlukan sistem pendukung keselamatan tambahan berupa *early warning system* untuk membantu operator mengetahui keberadaan medan listrik sebelum terjadi kontak langsung dengan penghantar tegangan 20 kV.

C. Jaringan Tegangan Menengah 20 kV

Jaringan Tegangan Menengah (JTM) merupakan sistem distribusi tenaga listrik yang bekerja pada tegangan 20 kV dan digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari gardu induk menuju gardu distribusi maupun pelanggan industri. Saluran udara tegangan menengah menghasilkan medan listrik di sekitarnya ketika berada dalam kondisi bertegangan. Besarnya medan listrik dipengaruhi oleh besar tegangan dan jarak terhadap penghantar [8]. Semakin dekat jarak terhadap penghantar maka medan listrik yang diterima akan semakin besar.

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000), jarak aman minimum antar penghantar jaringan tegangan menengah adalah 60 cm. Oleh karena itu, operator *boom crane* harus menjaga jarak aman terhadap penghantar agar terhindar dari risiko *flashover* maupun kontak langsung [9].

D. Sensor Medan Listrik Non-Kontak

Sensor non-kontak merupakan sensor yang mampu mendeteksi keberadaan objek atau energi tanpa melakukan hubungan fisik secara langsung. Pada penelitian ini, metode pendeteksian dilakukan menggunakan antena lilitan kawat tembaga yang berfungsi menangkap radiasi medan listrik dari penghantar 20 kV [10].

Ketika antena berada di dekat penghantar bertegangan, medan listrik akan terinduksi pada lilitan kawat sehingga menghasilkan sinyal listrik kecil. Sinyal tersebut kemudian diperkuat menggunakan transistor BC547 dan diteruskan menuju *buzzer* serta LED sebagai indikator peringatan dini. Metode non-kontak memiliki keunggulan karena lebih aman digunakan dibanding metode kontak langsung serta dapat mengurangi risiko kerusakan alat akibat tegangan tinggi.

E. Antena Lilitan Kabel NYM

Antena pada sistem *early warning* menggunakan lilitan kabel NYM atau kawat tembaga yang berfungsi sebagai penangkap medan listrik dari penghantar tegangan menengah. Lilitan kawat bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, Dimana medan listrik dari penghantar 20 kV akan menghasilkan sinyal induksi pada

lilitan antenna. Semakin dekat posisi antenna terhadap penghantar maka sinyal induksi yang diterima semakin besar [11].

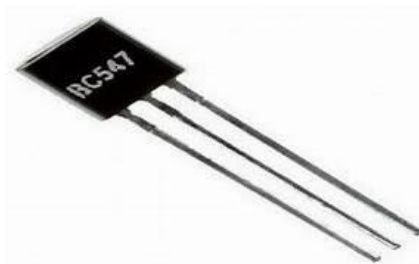
Penggunaan lilitan kabel seperti pada gambar 1 dipilih karena memiliki sensitivitas yang cukup baik, mudah diperoleh, ringan, serta mudah dipasang pada *boom crane*.



Gambar 1. Antena Lilitan Kabel NYM

F. Transistor BC547

Transistor BC547 merupakan transistor tipe NPN yang digunakan sebagai penguat sinyal pada rangkaian elektronik. Pada penelitian ini, transistor BC547 digunakan sebanyak tiga buah yang disusun seri membentuk penguat Darlington sederhana [12]. Fungsi transistor pada gambar 2 dibawah ini memperkuat sinyal kecil hasil induksi medan listrik yang diterima antenna sehingga mampu mengaktifkan LED dan *buzzer*.



Gambar 2. Rangkaian Triple BC54

G. Buzzer

Buzzer seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 merupakan komponen elektronika yang berfungsi menghasilkan suara alarm atau peringatan. Pada penelitian ini, *buzzer* digunakan sebagai indikator audio ketika sensor mendeteksi keberadaan medan listrik 20 kV [13]. Semakin besar medan listrik yang diterima sensor maka bunyi *buzzer* akan semakin keras. Hal ini membantu operator *boom crane* untuk mengetahui tingkat bahaya berdasarkan intensitas suara yang dihasilkan.



Gambar 3. Komponen *Buzzer* pada Sistem *Early Warning*

H. LED Indicator

LED (*Light Emitting Diode*) merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai indikator visual pada sistem *early warning*. LED akan menyala ketika sistem mendeteksi medan listrik dari penghantar tegangan menengah. Intensitas cahaya LED meningkat seiring bertambahnya kuat medan listrik yang diterima antena [14]. Penggunaan LED membantu operator memperoleh peringatan visual terutama pada kondisi lingkungan yang bising. Bentuk LED ditunjukkan pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. LED Indicator Sistem Early Warning

I. Power Switch

Power switch atau saklar utama digunakan untuk menghubungkan dan memutus aliran daya dari baterai menuju rangkaian sistem *early warning* [15]. Penggunaan *power switch* memudahkan operator dalam mengaktifkan maupun menonaktifkan alat sesuai kebutuhan operasional. Power Switch yang digunakan seperti gambar 5.



Gambar 5. Power Switch Sistem Early Warning

J. Baterai 9V

Baterai 9V yang ditunjukkan pada gambar 6 digunakan sebagai sumber tegangan DC utama pada perangkat *early warning*. Baterai dipilih karena mudah diperoleh, ringan, dan praktis digunakan pada perangkat *portable* [16]. Sumber tegangan dari baterai digunakan untuk menyuplai daya menuju transistor, LED, dan *buzzer* sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri tanpa sumber listrik eksternal.



Gambar 6. Baterai 9V sebagai Sumber Daya Sistem

K. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring dan proteksi pada bidang kelistrikan memiliki peranan penting dalam meningkatkan keselamatan kerja serta keandalan sistem tenaga listrik. Penelitian yang dilakukan oleh Hariadi dan Hartati (2022) mengenai analisis risiko kecelakaan pada pekerjaan PDKB-TM menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) menunjukkan bahwa pekerjaan di sekitar jaringan tegangan menengah memiliki tingkat risiko kecelakaan yang tinggi akibat potensi kontak dengan penghantar bertegangan [17]. Selain itu, penelitian mengenai Temporary Divider sebagai inovasi pengurangan losses operasional pada sistem distribusi PLN menunjukkan bahwa pengembangan alat bantu pada sistem tenaga listrik tidak hanya mampu meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga mendukung aspek keselamatan kerja di lapangan [18].

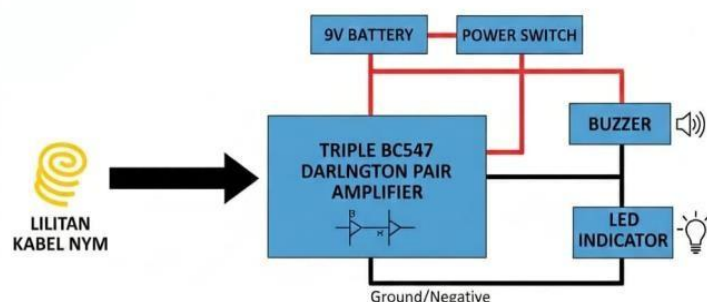
Penelitian lainnya terkait sistem pengaman arus lebih pada *Miniature Circuit Breaker* menegaskan pentingnya sistem proteksi tambahan untuk meminimalkan gangguan dan resiko bahaya listrik pada instalasi tenaga listrik [19]. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa pengembangan sistem peringatan dini berbasis sensor memiliki kontribusi besar dalam meningkatkan aspek keselamatan dan keamanan kerja. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem early warning deteksi tegangan 20 kV berbasis sensor medan listrik non-kontak yang diaplikasikan pada boom crane sebagai upaya meminimalkan risiko kecelakaan kerja di area jaringan tegangan menengah [20].

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode R&D (*Research and Development*) dengan fokus pada observasi (pengamatan langsung di lapangan) dan *brainstorming* dengan pengawas pekerjaan di lapangan serta manajemen terkait. tujuan dari penelitian ini adalah terciptanya suatu produk berupa alat yang sudah teruji dan mampu berfungsi sebagaimana peruntukannya [21]. Agar tujuan tersebut dapat tercapai dan dapat di ketahui dampaknya maka beberapa tahapan yang dapat menunjang penelitian adalah :

A. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem digunakan untuk menjelaskan hubungan antar komponen pada perangkat early warning.

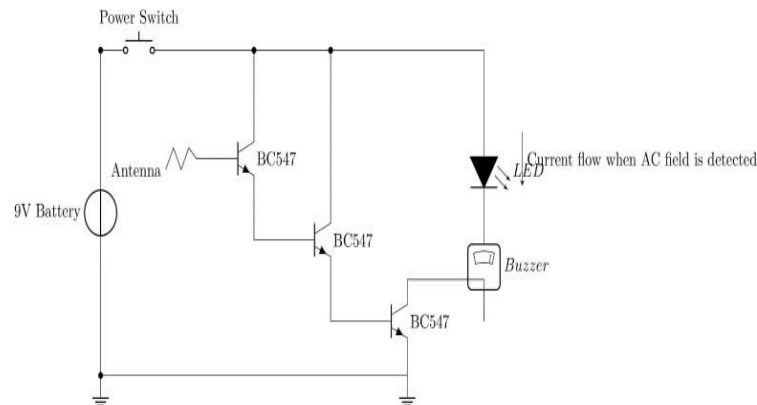


Gambar 7. Blok Diagram Early Warning System

Pada gambar 7 ini menunjukkan koneksi rangkaian alat ini dimulai dengan lilitan kabel (kawat tembaga) yang bertugas menangkap radiasi medan listrik dari konduktor SUTM, kemudian sinyal listrik di terima transistor BC 547 sebanyak 3 buah yang di pasang secara seri, kemudian sinyal listrik di teruskan ke buzzer (berbunyi) dan lampu led (menyala) sebagai tanda peringatan [22]. Seluruh sistem ini di kendalikan oleh rocket switch sebagai saklar utama untuk memutus dan menyambung aliran daya dari baterai 9V.

B. Diagram garis tunggal

Diagram garis tunggal pada gambar 8. dalam hal ini digunakan sebagai acuan dalam system untuk menjalankan tahapan kerja, di tunjukkan dalam gambar no 2. Sistem dimulai dari sumber tegangan DC baterai 9V yang terhubung dengan rocket switch sebagai saklar utama. Setelah sistem aktif, antenna mulai mendeteksi medan listrik dari penghantar SUTM. Sinyal hasil deteksi diperkuat transistor BC547 dan diteruskan menuju LED dan buzzer.

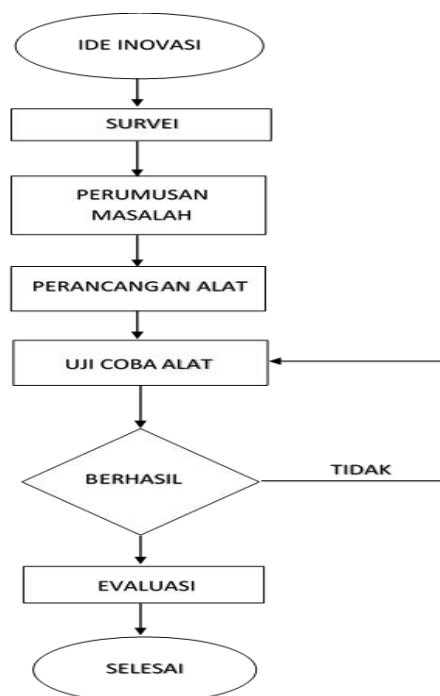


Gambar 8. Single diagram early warning system

Alat ini dimulai dari sumber DC baterai 9V, kemudian arus listrik menuju ke power switch yang bertugas sebagai saklar utama. Setelah sistem sudah menyala, maka antenna mulai menangkap medan listrik dari saluran konduktor SUTM. Sinyal dari antenna ini cukup kecil sehingga di perlukan 3 transistor BC 547 untuk bisa mengangkat beban buzzer dan led. Kemudian energi dari ketiga transistor tersebut di terima led (menyala) dan buzzer (berbunyi) sebagai tanda peringatan.

C. Flowchart System

Flowchart digunakan untuk menjelaskan proses perancangan alat yang akan dibuat dari awal persiapan hingga selesai yang ditunjukkan pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Flowchart Perancangan Alat

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan dan Realisasi Alat

Penelitian ini menghasilkan sebuah alat dengan sistem early warning deteksi tegangan 20 kV yang dirancang untuk meningkatkan keselamatan kerja operator boom crane pada area jaringan tegangan menengah. Sistem bekerja menggunakan metode pendeteksian medan listrik secara non-kontak dengan memanfaatkan lilitan kabel NYM sebagai antena sensor utama. Seluruh komponen dirancang dalam sebuah box berbahan plastik isolator agar aman digunakan di lingkungan kerja kelistrikan. Ketika sistem diaktifkan, antena mulai mendeteksi adanya medan listrik dari penghantar tegangan menengah 20 kV. Sinyal induksi yang diterima antena diperkuat oleh rangkaian transistor BC547 sehingga mampu mengaktifkan LED dan buzzer sebagai indikator peringatan dini.



Gambar 10. Perangkat Sistem Early Warning Deteksi Tegangan 20 kV

Gambar yang ditampilkan pada gambar 10 menunjukkan Perangkat sistem terdiri dari lilitan kabel NYM, LED indikator, buzzer, saklar utama, dan rangkaian transistor BC547 yang dipasang pada box isolator.

B. Pengujian Implementasi Alat pada Boom Crane

Perangkat sistem early warning diimplementasikan pada boom crane yang digunakan pada pekerjaan pemeliharaan jaringan tegangan menengah 20 kV. Pemasangan alat dilakukan pada bagian boom agar antena dapat mendeteksi medan listrik ketika boom crane mendekati penghantar bertegangan. Pengujian dilakukan pada jaringan aktif 20 kV dengan metode pendekatan jarak secara bertahap. Boom crane digerakkan perlahan menuju penghantar untuk mengetahui kemampuan sistem dalam memberikan peringatan dini terhadap potensi bahaya listrik.



Gambar 11. Implementasi Sistem Early Warning pada Boom Crane

Pengujian jarak yang ditukukan pada gambar 11, 12, dan 13. dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi medan listrik pada beberapa variasi jarak terhadap penghantar tegangan menengah 20 kV.



Gambar 12. Pengujian Perangkat Sistem Early Warning Dari Jarak Dekat Hingga Jarak jauh



Gambar 13. Pengujian Perangkat Sistem Early Warning Dari Jarak 1 Meter

Parameter yang diamati meliputi kondisi LED, intensitas bunyi buzzer, dan kemampuan deteksi sistem.

Tabel 1. Hasil Pengujian Jarak Deteksi Sistem

No	Jarak Pengujian	Kondisi LED	Kondisi Buzzer
1	5 meter	Mati	Tidak berbunyi
2	4 meter	Mati	Tidak berbunyi
3	3 meter	Mati	Tidak berbunyi
4	2 meter	Menyala redup	Bunyi pelan
5	1 meter	Menyala terang	Bunyi agak keras
6	60 cm	Sangat terang	Bunyi sangat keras

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sistem belum memberikan respon pada jarak 5 meter hingga 3 meter karena medan listrik yang diterima sensor masih berada di bawah ambang sensitivitas transistor BC547. Pada jarak

2 meter, sistem mulai mendeteksi keberadaan medan listrik yang ditandai dengan LED menyala redup dan buzzer berbunyi pelan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa boom crane mulai memasuki area peringatan dini. Ketika jarak semakin dekat menuju 1 meter dan 60 cm, respon sistem meningkat secara signifikan. LED menyala lebih terang dan buzzer berbunyi lebih keras akibat meningkatnya medan listrik yang diterima antena sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respon bertingkat sesuai tingkat kedekatan boom crane terhadap penghantar tegangan menengah.

C. Pengujian Medan Listrik terhadap Respon Sistem

Pengujian medan listrik dilakukan untuk mengetahui hubungan antara jarak penghantar terhadap intensitas respon sistem early warning. Semakin dekat posisi boom crane terhadap penghantar 20 kV maka medan listrik yang diterima sensor menjadi semakin besar. Hubungan antara medan listrik dan jarak dapat dijelaskan menggunakan persamaan:

$$E=V/d$$

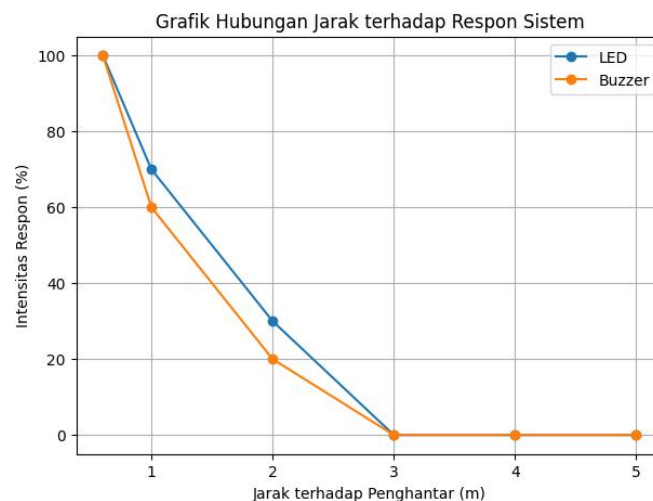
Keterangan :

E = kuat medan listrik (V/m)

V = tegangan penghantar (Volt)

d = jarak terhadap penghantar (meter)

Berdasarkan persamaan tersebut, semakin dekat jarak terhadap penghantar maka nilai medan listrik yang diterima antena semakin besar. Peningkatan medan listrik menyebabkan transistor BC547 memperkuat sinyal lebih besar sehingga LED menyala lebih terang dan buzzer berbunyi lebih keras.



Gambar 14. Grafik Hubungan Jarak terhadap Respon Sistem

Tabel 2. Data Intensitas Respon Sistem

Jarak terhadap Penghantar	Intensitas LED (%)	Intensitas Buzzer (%)
5 meter	0%	0%
4 meter	0%	0%
3 meter	0%	0%
2 meter	30%	20%
1 meter	70%	60%
60 cm	100%	100%

Grafik pada Gambar 14 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa respon sistem meningkat secara bertahap seiring berkurangnya jarak terhadap penghantar tegangan menengah 20 kV.

D. Analisis Kinerja Early Warning System

Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem early warning berbasis sensor medan listrik non-kontak mampu bekerja dengan baik sebagai sistem pendukung keselamatan kerja pada boom crane. Sistem berhasil memberikan peringatan dini sebelum boom crane melakukan kontak langsung dengan penghantar bertegangan. Penggunaan indikator visual dan audio memberikan kemudahan bagi operator dalam mengenali tingkat bahaya berdasarkan intensitas respon sistem.

Metode pendeteksian non-kontak yang digunakan memiliki keunggulan karena sensor tidak perlu terhubung langsung dengan penghantar listrik sehingga lebih aman digunakan pada jaringan tegangan menengah. Selain itu, penggunaan rangkaian transistor BC547 terbukti mampu meningkatkan sensitivitas sistem terhadap medan listrik. Namun demikian, sistem masih memiliki beberapa keterbatasan seperti sensitivitas yang dipengaruhi kondisi lingkungan sekitar serta belum dilengkapi sistem penghentian otomatis boom crane. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat dilakukan menggunakan mikrokontroler dan teknologi Internet of Things (IoT) agar sistem memiliki akurasi dan kemampuan monitoring yang lebih baik.

VII. KESIMPULAN

Rancangan alat early warning ini berhasil di realisasikan, hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini mampu mendeteksi medan listrik jaringan tegangan menengah 20KV (20.000 Volt) dengan jarak 2 meter early warning sudah bekerja, jadi alat ini sudah bekerja dengan sangat baik. dan semoga ke depannya dapat di manfaatkan di UP3 lain. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, sistem early warning deteksi tegangan 20 kV berhasil dirancang dan direalisasikan menggunakan metode pendeteksian medan listrik secara non-kontak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mulai mendeteksi keberadaan penghantar tegangan menengah pada jarak 2 meter dengan indikator LED menyala dan buzzer berbunyi pelan. Pada jarak 1 meter dan 60 cm, sistem memberikan respon peringatan yang lebih kuat berupa bunyi buzzer yang meningkat dan LED yang lebih terang. Perangkat sistem early warning ini mampu membantu meningkatkan keselamatan kerja operator boom crane dan mendukung implementasi budaya Zero Accident pada pekerjaan pemeliharaan jaringan tegangan menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar besarnya penulis sampaikan, yang pertama kepada orang tua yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menjalani kehidupan dari lahir sampai sekarang. Yang kedua penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada sluruh keluarga atas dukungannya serta kepada seluruh civitas akademika Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan teman-teman semasa menempuh pendidikan. Terima kasih juga kami sampaikan kepada TIM PDKB PT.PLN (Persero) UP3 SIDOARJO yang telah membantu proses jalannya penelitian ini sampai selesai, semoga dengan adanya penelitian ini dapat memberikan dampak positif bagi perusahaan dan mendukung terciptanya ZERO ACCIDENT di lingkungan kerja dan masyarakat umum.

REFERENSI

- [1] P. T. Pln, "PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK," pp. 2025–2034, 2025.
- [2] M. Syekhurohim, A. Triyanto, and M. Firdaus, "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan JTR pada Gardu KDR86P Cengkareng," vol. 9, no. 2, pp. 598–606, 2025.
- [3] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)," vol. 2000, no. PUIL, 2000.
- [4] S. D. Ayuni, S. Syahririni, and J. Jamaaluddin, "Lapindo Embankment Security Monitoring System Based on IoT," *Elinvo (Electronics, Informatics, Vocat. Educ.,* vol. 6, no. 1, pp. 40–48, 2021, doi: 10.21831/elinvo.v6i1.40429.
- [5] M. M. Azmi *et al.*, "Perancangan Perangkat Asistif Tunanetra Berbasis IoT dengan Panduan Suara dan Pemantauan Lokasi," vol. 10, no. 2, pp. 788–796, 2026.
- [6] F. Rahmad, S. Pradana, A. H. Kurniawan, J. T. Elektro, and P. N. Samarinda, "Rancang Bangun Sistem Alat Praktikum SCR di Laboratorium Elektronika Daya dengan Pengendali Arduino," vol. 6, no. 1, 2021.
- [7] U. U. No, "UU No 1 tahun 1970," vol. 1910, no. 1, pp. 1–17, 1970.
- [8] G. Zaputra, S. D. Ayuni, I. Anshory, and A. H. Falah, "Temporary Divider as an innovation tool in reducing operational losses of PT PLN (Persero) UP3 Sidoarjo Energy not Supplied PLN," vol. 7, no. 1, pp. 77–84, 2025, doi: 10.33650/jeccom.v4i2.
- [9] M. Calvin, D. Saputra, B. Alfaresi, and F. Ardianto, "Pemodelan Prediksi Daya pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Algoritma K-Nearest Neighbor Berbasis Faktor Lingkungan," vol. 11, no. 01, pp. 12–19, 2026.

- [10] J. Keselamatan, M. D. Aruna, K. Rusba, J. E. A. Liku, and U. Balikpapan, "PADA PT PLN WILAYAH ULP BALIKPAPAN SELATAN," vol. 10, no. 2, pp. 390–396, 2024.
- [11] L. Belakang, P. Umum, and I. Listrik, "BAB I," pp. 1–27.
- [12] G. A. Siddique, "A Novel Approach for the Design and Implementation of Digital and Analog IC Tester," no. December, pp. 19–21, 2025.
- [13] I. Anshory, J. Jamaaluddin, A. Wisaksono, and I. Sulistiyowati, "Results in Engineering Optimization DC-DC boost converter of BLDC motor drive by solar panel using PID and firefly algorithm," *Results Eng.*, vol. 21, no. March 2023, p. 101727, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101727.
- [14] B. D. Cahyono, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible," vol. 7, no. 2, pp. 309–319, 2023.
- [15] M. Fadil and M. Muskhair, "Implementation of Early Warning System on SMART VU SCADA PT PLN (Persero) with LED Warning Lights," vol. 5, no. 1, pp. 195–210, 2024.
- [16] V. Nym, S. Bahari, and I. Nurisusilawati, "Pengukuran Keseimbangan Lintasan Produksi Kabel Low," vol. 01, no. 2, 2022.
- [17] A. T. Ramadhan, "Perancangan Automatic Transfer Switch Berbasis Zelio (Aplikasi Pada PLTS Pematang Johar)," pp. 7–12, 2021.
- [18] A. T. Sati, D. T. Aditya, N. L. Azzahra, and R. Djutalov, "PERANCANGAN SISTEM INFORMASI KEUANGAN ORENS PENINGGARAN RAYA (OPERA) BERBASIS DESKTOP DENGAN JAVA SE & MYSQL MENGGUNAKAN METODE RESEARCH AND DEVELOPMENT (RND)," vol. 1, no. 2, pp. 196–200, 2023.
- [19] T. Atmojo, S. Dhiya, I. Sulistiyowati, and A. Wicaksono, "IoT Based Smart Cupboard Design," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 2, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i2.939.
- [20] N. Pasra, Y. Saputra, K. T. Mauriraya, A. Makkulau, and A. Fernandes, "Penentuan Titik Lokasi Gangguan Hubung Singkat Pada Penyulang Banteng Di Gardu Induk Bukit Siguntang 70 kV Dengan Metode Simulasi Dan Analisis Teoritis," vol. 11, no. 01, pp. 59–65, 2026.
- [21] K. Ramadhan, I. B. Sirait, M. Sc, Z. A. S. T, and M. Eng, "STUDI PEMASANGAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) TERHADAP PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 kV PT . PLN (PERSERO) AREA PONTIANAK," 1987.
- [22] W. K. Wibowo, R. Purwaningsih, and A. Susanty, "Analisa Implementasi Anomaly Early Warning System pada Pelanggan Automatic Meter Reading (AMR) dalam Pengendalian Susut Jaringan Distribusi pada PLN UP3 Mataram," vol. 2, no. 5, pp. 339–344, 2024.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.