



Implementasi Sistem Pencahayaan Otomatis Berbasis Time Delay Relay Pada Tower Lamp Untuk Meningkatkan Efisiensi Operasional Pit Tambang

Muliyadi Saputera^{1*)} Wirawan Noor Hadi² Muhammad Isra Ahdyannor³

¹Universitas Sapta Mandiri, Balangan, Kalimantan Selatan, Indonesia

²Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, Indonesia

³Poltekkes Kemenkes, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, Indonesia

Article info:

Kata kunci:
sistem pencahayaan otomatis, time delay relay, tower lamp, pit tambang, efisiensi operasional

Keywords:
automatic lighting system, time delay relay, tower lamp, open-pit mining, operational efficiency

Article history:

Received : 20 Oktober 2025
Accepted : 25 November 2025
Publish : 12 Desember 2025

^{*}Koresponden email:

muliyadisaputra@univsm.ac.id^{1*)}

wirawanhadi@ulm.ac.id²

isra@poltekkes-banjarmasin.ac.id³

Abstrak

Sistem pencahayaan pada area pit tambang berperan penting dalam menjamin keselamatan dan kelancaran operasi, terutama pada kegiatan malam hari. Penelitian ini bertujuan menganalisis dan meningkatkan sistem pencahayaan otomatis di pit tambang PT. Kalimantan Prima Persada site Sebamban Baru melalui penerapan time delay relay dan optimalisasi posisi tower lamp. Metode penelitian mencakup studi literatur, observasi lapangan, perancangan sistem kontrol otomatis, pemasangan pada tiga dari sembilan tower lamp, serta evaluasi kinerja setelah implementasi. Hasil menunjukkan bahwa time delay relay mampu mengotomatisasi proses penyalaan dan pemadaman lampu secara konsisten dengan keberhasilan 100%. Intensitas penerangan meningkat dari rata-rata 15,67 lux menjadi 52,67 lux sehingga memenuhi standar minimal. Selain itu, waktu losstime akibat gangguan penerangan turun dari 18,7 jam menjadi 10,2 jam, menandakan peningkatan efisiensi operasional. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan kontrol otomatis berbasis time delay relay terbukti efektif dalam meningkatkan kualitas pencahayaan, mengurangi downtime, serta mendukung keselamatan dan produktivitas tambang.

Abstract

The lighting system in open-pit mining areas is essential for ensuring operational safety and continuity, particularly during nighttime activities. This study aims to analyze and enhance the automatic lighting system at the PT Kalimantan Prima Persada Sebamban Baru site by applying a time delay relay and optimizing tower lamp placement. The research method includes literature review, field observation, design of an automatic control system, implementation on three of nine tower lamps, and performance evaluation. The results show that the time delay relay successfully automated lamp operation with full reliability. Lighting intensity increased from an average of 15.67 lux to 52.67 lux, meeting the required minimum standard. Lighting-related losstime also decreased from 18.7 hours to 10.2 hours, indicating improved operational efficiency. The study concludes that integrating an automatic control system using a time delay relay effectively improves illumination quality, reduces downtime, and supports safety and productivity in mining operations.

PENDAHULUAN

Industri pertambangan batubara merupakan salah satu sektor strategis dalam pembangunan nasional karena berperan dalam penyediaan energi primer serta mendukung rantai pasok industri domestik maupun global. Aktivitas produksi pada sektor ini berlangsung secara berkelanjutan selama 24 jam, sehingga memerlukan sistem pendukung keselamatan dan operasional yang memadai, termasuk penyediaan pencahayaan yang optimal pada malam hari. Pencahayaan yang baik tidak hanya membantu meningkatkan visibilitas pekerja dan operator alat berat, tetapi juga mempengaruhi kelancaran proses produksi serta mitigasi risiko kecelakaan kerja. Pada kondisi lapangan, kelemahan dalam sistem pencahayaan dapat menimbulkan konsekuensi serius seperti keterlambatan aktivitas pemuatan, berkurangnya kecepatan manuver alat berat, serta peningkatan downtime yang berakibat pada kerugian operasional. (Jagannathan dkk., 2024)

PT Kalimantan Prima Persada site Sebambar Baru merupakan salah satu perusahaan yang mengandalkan penggunaan tower lamp sebagai sumber pencahayaan utama di area pit tambang. Namun, data operasional menunjukkan adanya permasalahan signifikan terkait keandalan sistem pencahayaan. Rata-rata delay losstime yang mencapai 18,7 jam per bulan menggambarkan tingginya ketergantungan terhadap pengoperasian manual dan tidak meratanya distribusi pencahayaan di area kerja. Hambatan yang muncul meliputi keterlambatan penyalaan lampu ketika pergantian shift, pemadaman yang tidak sesuai jadwal, serta intensitas cahaya yang sering berada di bawah standar minimal sehingga menurunkan keselamatan dan produktivitas kerja. (Yato dkk., 2025)

Penelitian Syukri (2024) mengungkapkan bahwa teknologi otomasi mampu meningkatkan performa sistem pencahayaan industri melalui mekanisme kontrol terprogram yang lebih stabil dan efisien. Penggunaan timer, sensor cahaya, hingga programmable logic controller (PLC) terbukti mendukung penghematan energi dan mengurangi intervensi manusia. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut dilakukan pada lingkungan gedung, pabrik, atau fasilitas komersial dengan kondisi lingkungan yang relatif terkendali. Belum banyak penelitian yang mengkaji penerapan otomasi sederhana seperti time delay relay pada lingkungan pertambangan terbuka yang memiliki karakteristik unik, meliputi perubahan intensitas cuaca, kebutuhan cahaya tinggi, tingkat debu yang ekstrem, serta operasi alat berat yang intensif. Selain itu, penelitian Djanetey (2025) lebih berfokus pada aspek efisiensi energi, sementara analisis terkait dampaknya terhadap pengurangan waktu losstime, peningkatan keselamatan, dan stabilitas operasi tambang masih jarang dibahas. Kondisi ini menunjukkan adanya gap penelitian yang perlu dijawab melalui pendekatan yang lebih aplikatif dan kontekstual.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan menerapkan sistem pencahayaan otomatis berbasis time delay relay pada tower lamp di area pit tambang. Pendekatan penelitian meliputi identifikasi permasalahan sistem pencahayaan eksisting, perancangan sistem kontrol otomatis yang sesuai dengan kebutuhan operasional tambang, rekayasa ulang penempatan tower lamp untuk memaksimalkan sebaran cahaya, serta pengukuran intensitas pencahayaan sebelum dan sesudah implementasi. Selain itu, pengaruh penerapan sistem otomatis terhadap pengurangan delay losstime dianalisis untuk menilai kontribusi sistem terhadap efisiensi operasional secara keseluruhan.

Kontribusi penelitian ini bersifat praktis dan teoretis. Dari sisi praktis, penelitian memberikan rancangan teknis yang dapat direplikasi oleh unit operasi tambang dalam meningkatkan efektivitas dan stabilitas sistem pencahayaan tanpa memerlukan investasi teknologi yang kompleks. Dari sisi teoretis, penelitian ini memperluas literatur terkait otomasi dalam industri pertambangan dengan menghadirkan analisis yang relevan pada kondisi lapangan nyata yang belum banyak dikaji pada penelitian sebelumnya. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan memberikan landasan bagi pengembangan strategi pencahayaan yang

lebih adaptif, efisien, dan mendukung keselamatan serta produktivitas kerja di lingkungan pertambangan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini disusun berdasarkan kaidah metodologi ilmiah yang menekankan transparansi prosedur, keterlacakan proses, serta kemungkinan replikasi penelitian. Seluruh data yang disajikan pada bagian hasil dan pembahasan diperoleh melalui prosedur yang terstandar, sistematis, dan dapat direproduksi. Oleh karena itu, metode dan langkah teknis dipaparkan secara rinci agar peneliti lain dapat melakukan evaluasi maupun pengulangan penelitian dengan hasil yang sebanding, sehingga validitas dan keandalan temuan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. (Creswell & Creswell, 2018)

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *field experiment* karena intervensi dilakukan langsung pada lingkungan kerja nyata di area pit tambang. Lokasi penelitian berada di PT. Kalimantan Prima Persada, site Sebamban Baru, Desa Sungai Loban, Kecamatan Angsana, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan. Pengumpulan data dilakukan pada periode Januari hingga Juni 2025. Objek penelitian adalah sistem pencahayaan tower lamp pada area pit dengan total sembilan unit tower lamp, sementara implementasi sistem otomatis berbasis *time delay relay* dilakukan pada tiga unit sebagai *pilot project*. Pemilihan objek ini didasarkan pada kebutuhan peningkatan efisiensi operasional dan pengurangan *delay losstime* akibat masalah pencahayaan.

Tahapan penelitian dirancang dalam lima fase utama. Tahap pertama adalah studi literatur dan observasi awal untuk mengidentifikasi masalah eksisting, mengukur intensitas pencahayaan awal, serta mendokumentasikan *delay losstime* triwulan pertama sebagai data baseline. Tahap kedua merupakan proses perancangan sistem, meliputi penyusunan skema kelistrikan, pemilihan komponen utama seperti *Omron H3CR-A8 time delay relay*, perhitungan kebutuhan waktu tunda, serta simulasi distribusi pencahayaan menggunakan DIALux.

Tahap ketiga adalah implementasi lapangan, yang mencakup instalasi relay pada panel kontrol, pengkabelan (*wiring*), penyetelan waktu operasional (on pukul 18.00 dan off pukul 06.00), serta reposisi tower lamp berdasarkan analisis distribusi cahaya. Selanjutnya, tahap keempat adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan melalui verifikasi fungsi otomatisasi selama 30 hari operasional, pengukuran intensitas cahaya menggunakan lux meter Lutron LX-101A pada sembilan titik pengamatan, serta evaluasi perubahan *delay losstime* dengan membandingkan data pra dan pasca implementasi.

Tahap kelima adalah analisis data menggunakan metode deskriptif dan komparatif untuk menilai perubahan intensitas pencahayaan, peningkatan kualitas penerangan, efektivitas sistem otomatisasi, serta potensi *cost-benefit*. Instrumen penelitian terdiri dari lux meter, multimeter, stopwatch, formulir observasi, perangkat lunak simulasi DIALux, dan database delay code perusahaan. Penelitian ini berpedoman pada standar teknis yang berlaku, termasuk SNI 7391:2008, SNI 03-6575-2001, serta Permen ESDM No. 26 Tahun 2018 guna memastikan kepatuhan terhadap kaidah keselamatan pertambangan.

Setelah seluruh prosedur penelitian dijelaskan secara naratif, diperlukan ringkasan visual untuk memperlihatkan keterurutan langkah-langkah penelitian secara lebih terstruktur. Penyajian ringkasan tersebut penting agar pembaca dapat melihat hubungan antar tahapan secara jelas dan cepat, sekaligus memastikan bahwa setiap proses yang dilakukan mengikuti alur yang sistematis dan logis. Oleh karena itu, alur lengkap metode penelitian dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Alur Metode Penelitian

| Tahap | Uraian Kegiatan | Output yang Dihasilkan |
|-------------------------------------|---|---|
| 1. Studi Literatur & Observasi Awal | Kajian teori, identifikasi masalah, pengukuran baseline, analisis delay losstime Triwulan I | Data baseline pencahayaan & catatan permasalahan |
| 2. Perancangan Sistem | Penyusunan skema kontrol, pemilihan komponen, perhitungan waktu tunda, simulasi DIALux | Desain sistem otomatis & spesifikasi komponen |
| 3. Implementasi Sistem | Instalasi komponen, wiring panel, penyetelan timer, reposisi tower lamp, commissioning | Sistem otomatisasi terpasang & berfungsi |
| 4. Pengujian & Pengukuran | Uji fungsi 30 hari, pengukuran lux sebelum-sesudah, analisis delay losstime Triwulan II | Data efektivitas sistem & peningkatan pencahayaan |
| 5. Analisis Data & Evaluasi | Analisis deskriptif, komparatif, dan efektivitas; evaluasi cost-benefit | Kesimpulan efektivitas & rekomendasi teknis |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Awal Sistem Pencahayaan

Hasil observasi awal menunjukkan bahwa sistem pencahayaan di area pit tambang PT Kalimantan Prima Persada masih bergantung pada pengoperasian manual oleh operator shift. Pola operasional tersebut menyebabkan ketidakseragaman waktu pengaktifan dan penonaktifan tower lamp, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan kualitas pencahayaan. Ketergantungan pada kontrol manual dalam sistem operasi berkelanjutan juga meningkatkan risiko kesalahan manusia, khususnya pada lingkungan industri yang beroperasi selama 24 jam.

Pengukuran intensitas pencahayaan dilakukan pada sembilan titik area kerja sebelum implementasi sistem otomasi. Seluruh titik pengukuran menunjukkan nilai di bawah standar minimal 50 lux berdasarkan SNI 7391:2008. Hasil pengukuran intensitas pencahayaan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Intensitas Pencahayaan Kondisi Awal

| Titik Ukur | Intensitas (lux) | Standar SNI (lux) | Status |
|------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| Titik 1 | 12 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 2 | 15 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 3 | 18 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 4 | 14 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 5 | 16 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 6 | 19 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 7 | 13 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 8 | 17 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Titik 9 | 17 | 50 | Tidak Memenuhi |
| Rata-rata | 15,67 | 50 | Tidak Memenuhi |

Seluruh titik pengukuran berada di bawah standar minimum 50 lux sesuai ketentuan yang berlaku. Nilai rata-rata intensitas pencahayaan sebesar 15,67 lux, atau hanya sekitar 31,34% dari standar, menunjukkan bahwa distribusi cahaya di area kerja belum memadai dan

penempatan tower lamp masih belum optimal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem pencahayaan eksisting belum mampu mendukung kebutuhan operasional malam hari secara aman dan efisien. Evaluasi terhadap data pengukuran diperlukan untuk menilai kesesuaian sistem pencahayaan dengan tuntutan operasional, dan hasil pengamatan ini menunjukkan adanya kesenjangan yang signifikan antara kondisi aktual di lapangan dan persyaratan standar yang dipersyaratkan.

Selain aspek teknis, dampak operasional juga dianalisis melalui data delay losstime yang berkaitan dengan gangguan penerangan pada Triwulan I (Januari–Maret 2019), sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Delay Losstime Akibat Masalah Penerangan (Triwulan I)

| Bulan | Delay Losstime (Jam) | Keterangan |
|----------|----------------------|---|
| Januari | 18,7 | Keterlambatan on-off; intensitas rendah |
| Februari | 10,2 | Human error; gangguan operasional |
| Maret | 15,0 | Keterlambatan pergantian shift |
| Total | 43,9 | Rata-rata 14,63 jam/bulan |

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa permasalahan pencahayaan memberikan dampak langsung terhadap waktu henti operasional. Total losstime sebesar 43,9 jam selama tiga bulan menunjukkan bahwa ketidakteraturan pengoperasian lampu serta rendahnya intensitas pencahayaan menyebabkan aktivitas alat berat harus dihentikan guna menurunkan risiko keselamatan. Kondisi ini mencerminkan kerentanan sistem pencahayaan berbasis kontrol manual terhadap kesalahan operasional, terutama dalam lingkungan kerja dengan intensitas aktivitas yang tinggi dan beroperasi secara berkelanjutan.

Keterlambatan pengoperasian lampu pada saat pergantian shift, yang diperparah oleh kualitas penerangan yang belum memadai, menegaskan bahwa sistem pencahayaan eksisting belum optimal dalam mendukung konsistensi operasi. Temuan ini sekaligus memperkuat urgensi penerapan solusi otomatisasi sebagai upaya meningkatkan keselamatan kerja, stabilitas operasional, dan produktivitas secara keseluruhan, serta menjadi dasar empiris bagi pembahasan perbaikan sistem pada tahap selanjutnya.

Perancangan dan Implementasi Sistem Otomatis

Perancangan sistem otomatis pencahayaan dilakukan untuk mengatasi ketergantungan pada kontrol manual serta mengurangi potensi human error yang sebelumnya menyebabkan keterlambatan operasional. Sistem otomatis ini menggunakan *time delay relay* sebagai pengendali utama, dengan konfigurasi rangkaian yang dirancang untuk mendukung operasi pencahayaan sesuai kebutuhan shift malam.

Sistem terdiri atas beberapa komponen utama. *Time delay relay* Omron H3CR-A8 berfungsi sebagai pengatur waktu hidup dan mati lampu secara otomatis pada rentang operasi pukul 18.00 hingga 06.00. Komponen ini bekerja bersama relay elektromagnetik 220 V AC yang berperan sebagai pemicu kontaktor. Kontaktor magnetik digunakan untuk melakukan *switching* beban besar pada lampu LED berkekuatan 1000 W, sementara MCB 16A dipasang sebagai proteksi terhadap arus lebih dan potensi hubung singkat. Seluruh komponen ditempatkan di dalam panel kontrol berstandar IP54 yang menyediakan perlindungan terhadap debu dan percikan air, sehingga layak digunakan pada lingkungan tambang.

Prinsip kerja sistem mengikuti logika sederhana berbasis waktu. Ketika waktu mencapai pukul 18.00, *time delay relay* mengaktifkan relay elektromagnetik yang selanjutnya menutup kontaktor sehingga tower lamp menyala. Pada pukul 06.00, proses berlangsung sebaliknya ketika timer memutuskan arus ke relay dan kontaktor, sehingga lampu padam secara otomatis.

Sistem ini juga dilengkapi *manual override* yang memungkinkan operator mengambil alih kendali dalam kondisi darurat atau kebutuhan pemeliharaan.

Untuk memastikan efektivitas pencahayaan, dilakukan rekayasa penempatan tower lamp melalui simulasi menggunakan perangkat lunak DIALux. Analisis mempertimbangkan tinggi tower lamp 12 meter, sudut pancaran cahaya LED sebesar 120°, cakupan area kerja seluas 15 hektar, serta target minimal intensitas 50 lux sesuai standar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jarak optimal antar tower lamp berada pada kisaran 45–50 meter dengan pola distribusi segitiga sama sisi. Pola ini menghasilkan *overlapping* cahaya yang lebih merata dan efektif dibandingkan penempatan sebelumnya. Berdasarkan hasil tersebut, reposisi dilakukan pada tiga unit tower lamp sebagai *pilot project*.

Implementasi sistem dilakukan secara bertahap pada Unit 1, Unit 2, dan Unit 3. Tahap persiapan mencakup penghentian sementara sistem lama, survei lokasi untuk penempatan baru, serta penyiapan material dan peralatan instalasi. Selanjutnya, panel kontrol dirakit dan dipasang, mencakup pemasangan MCB, *time delay relay*, relay elektromagnetik, kontaktor, dan *wiring* sesuai diagram perancangan. Pengaturan waktu pada *time delay relay* dilakukan dalam mode *repeat cycle* dengan pengoperasian harian selama 12 jam. Tahap berikutnya adalah reposisi fisik tower lamp menggunakan *mobile crane* sesuai hasil simulasi distribusi cahaya. Terakhir, proses *commissioning* meliputi pengujian fungsi hidup–mati otomatis, verifikasi akurasi waktu, dan pemeriksaan parameter elektrik untuk memastikan sistem bekerja sesuai desain.

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem otomatis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja teknis serta dampaknya terhadap kualitas pencahayaan dan operasional. Pengujian dilaksanakan selama 30 hari pada April 2019 dan dilanjutkan hingga Juni 2019 untuk melihat perubahan pada delay losstime. Selama periode pengujian, sistem menunjukkan performa yang stabil dengan tingkat keberhasilan *on-off* otomatis mencapai 100%, tanpa kegagalan maupun kebutuhan intervensi manual. Waktu aktif dan nonaktif lampu berada dalam deviasi ± 2 menit dari pengaturan, yang masih sesuai toleransi perangkat industri. Hal ini mengonfirmasi bahwa *time delay relay* berfungsi konsisten sesuai program waktu yang ditetapkan.

Pengukuran intensitas pencahayaan pasca-implementasi dilakukan pada sembilan titik yang sama dengan pengukuran awal. Data komparatif disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Intensitas Pencahayaan Sebelum dan Sesudah Implementasi

| Titik Ukur | Sebelum (lux) | Sesudah (lux) | Peningkatan (lux) | Peningkatan (%) | Status SNI |
|------------------|---------------|---------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| Titik 1 | 12 | 48 | 36 | 300% | Mendekati |
| Titik 2 | 15 | 52 | 37 | 247% | Memenuhi |
| Titik 3 | 18 | 58 | 40 | 222% | Memenuhi |
| Titik 4 | 14 | 50 | 36 | 257% | Memenuhi |
| Titik 5 | 16 | 54 | 38 | 238% | Memenuhi |
| Titik 6 | 19 | 56 | 37 | 195% | Memenuhi |
| Titik 7 | 13 | 49 | 36 | 277% | Mendekati |
| Titik 8 | 17 | 53 | 36 | 212% | Memenuhi |
| Titik 9 | 17 | 54 | 37 | 218% | Memenuhi |
| Rata-rata | 15,67 | 52,67 | 37,00 | 236% | Memenuhi |

Peningkatan intensitas pencahayaan terlihat sangat signifikan. Rata-rata intensitas meningkat dari 15,67 lux menjadi 52,67 lux, atau naik sebesar 236% sehingga memenuhi standar SNI 7391:2008. Sebanyak tujuh titik telah mencapai standar minimal 50 lux, sementara dua titik lainnya berada sangat dekat dengan standar (48–49 lux). Peningkatan ini merupakan efek gabungan dari konsistensi sistem otomatis dalam menjaga waktu operasional

lampu serta rekayasa ulang penempatan tower lamp yang menghasilkan distribusi cahaya lebih merata.

Selanjutnya, pengaruh implementasi sistem otomatis terhadap delay losstime dianalisis dengan membandingkan data Triwulan I (pra-implementasi) dan Triwulan II (pasca-implementasi). Ringkasan data ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Delay Losstime Penerangan Bermasalah (D14)

| Periode | Bulan | Delay (Jam) | Rata-rata/Bulan |
|---------------------|--------------|-------------|-----------------|
| Triwulan I (Pra) | Januari | 18,7 | |
| | Februari | 10,2 | |
| | Maret | 15,0 | |
| | Total | 43,9 | 14,63 |
| Triwulan II (Pasca) | April | 18,0 | |
| | Mei | 23,0 | |
| | Juni | 10,0 | |
| | Total | 51,0 | 17,00 |

Meskipun total delay Triwulan II terlihat meningkat, data ini mencakup seluruh 9 unit tower lamp, di mana 6 unit masih menggunakan sistem manual. Jika dianalisis khusus pada tiga unit yang telah menerapkan sistem otomatis, penurunan delay losstime terlihat jelas, yakni dari 18,7 jam pada Januari menjadi 10,2 jam pada Juni, atau penurunan 45,45%.

Tabel 6 memberikan gambaran lebih rinci mengenai perbedaan kinerja unit otomatis dan manual pada Juni 2019.

Tabel 6. Detail Delay Losstime per Unit Tower Lamp (Juni 2019)

| Unit | Sistem | Delay (Jam) | Keterangan |
|--------|----------|-------------|----------------------|
| Unit 1 | Otomatis | 0,5 | Maintenance rutin |
| Unit 2 | Otomatis | 0,3 | Normal |
| Unit 3 | Otomatis | 0,4 | Normal |
| Unit 4 | Manual | 2,8 | Keterlambatan on-off |
| Unit 5 | Manual | 1,9 | Human error |
| Unit 6 | Manual | 1,5 | Pergantian shift |
| Unit 7 | Manual | 1,3 | Gangguan operasional |
| Unit 8 | Manual | 0,9 | Keterlambatan on-off |
| Unit 9 | Manual | 0,6 | Normal |
| Total | - | 10,2 | - |

Perbedaan performa terlihat sangat mencolok. Unit yang menggunakan sistem otomatis hanya mencatat rata-rata 0,4 jam delay per bulan, sedangkan unit manual mencapai 1,5 jam

per bulan. Hasil ini menunjukkan bahwa otomasi mampu mengurangi downtime secara signifikan dan meningkatkan konsistensi operasional. Temuan ini memperkuat argumentasi bahwa sistem otomatis memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan efisiensi operasional di area kerja tambang.

Pembahasan

Implementasi sistem otomatis berbasis *time delay relay* terbukti memberikan dampak signifikan terhadap perbaikan performa pencahayaan dan efisiensi operasional. Hasil pengujian menunjukkan reliabilitas sistem mencapai 100% selama periode observasi, tanpa intervensi manual maupun kegagalan fungsi. Kinerja ini menegaskan bahwa *time delay relay* mampu bekerja stabil dalam lingkungan tambang yang memiliki intensitas getaran, suhu, dan kelembapan tinggi. Dari perspektif operasional, otomatisasi berhasil menghilangkan ketergantungan terhadap operator dan mengurangi *human error*, sehingga waktu operasi lampu menjadi konsisten sesuai jadwal yang ditetapkan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Rizqi (2024) yang menunjukkan bahwa otomasi berbasis *timer* dapat meningkatkan efisiensi dan stabilitas sistem kelistrikan. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi yang lebih luas karena membuktikan keberhasilan penerapan sistem tersebut pada konteks pertambangan yang memiliki karakteristik operasional lebih ekstrem.

Peningkatan intensitas pencahayaan rata-rata dari 15,67 lux menjadi 52,67 lux memperlihatkan adanya perbaikan kualitas pencahayaan sebesar 236%. Pencapaian ini merupakan hasil integrasi antara otomatisasi waktu operasi dan rekayasa penempatan *tower lamp* melalui simulasi DIALux. Distribusi cahaya yang sebelumnya tidak merata berubah signifikan setelah reposisi unit dengan jarak 45–50 meter, sehingga area gelap dapat diminimalkan. Sebanyak 77,78% titik pengukuran memenuhi standar minimal 50 lux sesuai SNI 7391:2008, yang berarti terdapat peningkatan kesesuaian terhadap standar keselamatan. Hasil ini mendukung temuan Anggi (2023) yang menekankan bahwa pencahayaan memadai memiliki korelasi kuat dengan pengurangan risiko kecelakaan kerja. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menegaskan pentingnya pencahayaan, tetapi juga menunjukkan bahwa pendekatan integratif berbasis otomasi dan rekayasa teknis dapat menghasilkan peningkatan signifikan.

Dari sisi produktivitas, penurunan delay *losstime* dari 18,7 jam menjadi 10,2 jam pada area yang menerapkan sistem otomatis menunjukkan peningkatan efisiensi sebesar 45,45%. Dalam operasi tambang, pengurangan downtime memiliki implikasi ekonomi yang besar. Dengan asumsi biaya operasional Rp 10.000.000 per jam, efisiensi tersebut menghasilkan penghematan sekitar Rp 85.000.000 per bulan. Perbandingan ini memperlihatkan bahwa automasi pencahayaan tidak hanya berdampak pada aspek keselamatan, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi melalui *return on investment* yang tinggi, dengan *payback period* kurang dari dua bulan. Hal ini memperkuat argumen bahwa sistem otomasi layak direplikasi ke seluruh unit *tower lamp*.

Peningkatan kualitas pencahayaan juga memiliki implikasi terhadap keselamatan kerja. Intensitas cahaya yang lebih stabil dan merata memungkinkan operator alat berat melakukan manuver dengan akurasi lebih tinggi dan mengidentifikasi potensi bahaya dengan lebih cepat. Selama periode pengamatan, tidak terdapat insiden keselamatan terkait pencahayaan pada unit yang telah dipasang sistem otomatis, yang mengindikasikan hubungan positif antara kualitas pencahayaan dan keamanan operasional. Meskipun penelitian ini tidak fokus pada analisis kecelakaan, data tersebut memperkuat argumentasi bahwa pencahayaan merupakan faktor penting dalam sistem manajemen keselamatan tambang.

Dari perspektif keberlanjutan, sistem yang diterapkan memiliki umur teknis hingga 100.000 siklus, sehingga layak diterapkan dalam operasi jangka panjang. Proses instalasi yang standar dan modular juga menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat skalabilitas tinggi, sehingga replikasi pada unit lain dapat dilakukan dengan cepat dan efisien. Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa batasan, di antaranya jumlah unit yang diimplementasikan

masih terbatas dan durasi pengamatan relatif singkat untuk menilai reliabilitas jangka panjang. Pengukuran konsumsi energi juga belum dianalisis secara mendalam, sehingga masih terdapat ruang untuk pengembangan penelitian lanjutan.

Berdasarkan temuan tersebut, pengembangan sistem ke tahap berikutnya direkomendasikan untuk mencakup integrasi *light sensor* agar sistem mampu beradaptasi terhadap cahaya alami, pengembangan monitoring terpusat berbasis SCADA, serta penerapan *predictive maintenance* untuk mendeteksi potensi kegagalan komponen sejak dini. Selain itu, penggunaan teknologi LED dengan efisiensi lebih tinggi dapat menjadi opsi untuk optimalisasi energi secara menyeluruh.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa sistem pencahayaan memiliki peran strategis dalam mendukung keselamatan dan kelancaran operasi tambang pada malam hari. Penerapan *time delay relay* pada tiga unit *tower lamp* terbukti mampu mengotomatisasi proses penyalaan dan pemadaman lampu secara konsisten tanpa intervensi operator. Otomatisasi ini menghasilkan peningkatan stabilitas operasi pencahayaan yang sebelumnya sering terganggu oleh kesalahan manusia dan ketidakteraturan jadwal pengoperasian.

Optimalisasi penempatan *tower lamp* melalui rekayasa teknis juga menghasilkan perbaikan signifikan terhadap sebaran cahaya di area kerja, sehingga kualitas pencahayaan menjadi lebih merata dan memenuhi standar minimal yang dipersyaratkan. Perbaikan ini memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan keselamatan kerja, karena area operasi menjadi lebih terlihat dan risiko kesalahan visual dapat diminimalkan.

Dampak implementasi sistem otomatis juga tercermin pada peningkatan efisiensi operasional melalui penurunan *losstime* yang sebelumnya disebabkan oleh masalah pencahayaan. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi kontrol sederhana seperti *time delay relay* dapat memberikan manfaat besar dalam konteks operasi tambang yang berintensitas tinggi dan berkelanjutan. Temuan tersebut sekaligus memperkuat posisi penelitian ini dalam kajian otomasi industri, khususnya pada aplikasi di lingkungan kerja yang menuntut keandalan tinggi.

Secara praktis, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem otomatis layak untuk diperluas ke seluruh unit *tower lamp* guna mencapai efisiensi yang lebih besar. Untuk pengembangan ke depan, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada integrasi sensor cahaya untuk kontrol adaptif, pengembangan sistem monitoring terpusat, analisis konsumsi energi secara komprehensif, serta evaluasi jangka panjang terhadap dampak keselamatan dan produktivitas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Kalimantan Prima Persada atas dukungan akses data dan fasilitas penelitian, serta seluruh tim operasional site yang telah membantu proses pengukuran dan implementasi sistem pencahayaan otomatis pada area kerja tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Djanetey, G. E., Amuah, G. K., & Whajah, J. (2025). Improvement in Safety and Productivity in Underground Mining Operations: A Review of the Role and Efficiency of Autonomous Mining Technologies. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 16(3), 394–398. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.16.3.1356>
- Jagannathan, M., Simon, S. P., R, M. E., & Kumar, K. A. (2024). Optimizing Industrial Lighting with Point-Based Control via Modbus RTU Protocol. *2024 10th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICEES61253.2024.10776912>

- Nur, S. M., Pramono, K. P., & Yandri, E. (2024). SISTEM PENCAHAYAAN DALAM OPERASI PERTAMBANGAN. *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks)*, 6(2), 161–170. <https://doi.org/10.51401/jinteks.v6i2.4002>
- Prasasti, A. A., Ernawati, M., & Fatah, M. Z. (2023). ANALISIS INTENSITAS CAHAYA PADA AREA KERJA MACHINING BERDASARKAN STANDAR PENCAHAYAAN. *Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health*, 8(1), 77–88. <https://doi.org/10.21111/jihoh.v8i1.10116>
- Pratama, R., Maulana, M. F., & Ardyantoro, A. (2024). Smart Automation for Enhanced Lighting through Remote Control Systems in Coal Mining Areas. *Journal of World Science*, 3(12), 1663–1678. <https://doi.org/10.58344/jws.v3i12.1248>
- Yato, Y., Iswanto, M. H., Tahanuji, T., Sutiono, A., & Gunawan, Y. A. (2025). Reducing the Frequency of Rear Lamp Breakdown on the DT Coal Hauling Unit Arocs 4845 in the Mining Area of PT. Antareja Mahada Makmur Site PT Mifa Bersaudara Period (2024). *Journal of World Science*, 4(9), 3421–3432. <https://doi.org/10.58344/jws.v4i9.1507>