

Implementasi Safety Board LED P10 Outdoor untuk Meningkatkan Komunikasi dan Partisipasi Pekerja dalam Sistem Manajemen K3 di PT Cipta Niaga Gas

¹Cahyo Wibowo, ²Herbert Hasudungan Siahaan,

³Retno Wardani, ⁴Dibyo Setiawan

^{1,2,3}Universitas Mpu Tantular Jakarta, ⁴Politeknik Negeri Bandung

Email : ¹cahyowibowo@mputantlar.ac.id, ²herber9an@gmail.com,

³retnowardani.84@gmail.com, ⁴dibyo.setiawan@polban.ac.id

Abstrak

Untuk menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) di industri berisiko tinggi seperti kompresi dan distribusi CNG, sangat penting bagi pekerja untuk berkomunikasi dengan baik dan berpartisipasi secara aktif dalam proses tersebut. PT Cipta Niaga Gas mengalami kesulitan dalam melaksanakan Elemen 4.4 (Komunikasi, Konsultasi, dan Koordinasi) dan 4.5 (Pengendalian Dokumen dan Data) SMK3. Ini ditunjukkan oleh tingkat pelaporan yang rendah (4-5 laporan per bulan) dan media komunikasi yang statis. Tujuan: Untuk meningkatkan efektivitas Elemen 4.4 dan 4.5 SMK3, *safety board* berbasis LED P10 Outdoor yang terintegrasi dengan sistem pelaporan *near miss* harus dikembangkan dan diimplementasikan. Metode: Dalam kerangka SMK3, penelitian pengabdian dilakukan menggunakan pendekatan PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). Analisis kesenjangan SMK3 dan identifikasi ancaman spesifik CNG, Pengembangan papan keamanan LED P10 Outdoor yang terintegrasi dengan sistem pelaporan, Implementasi dan pelatihan Tim K3 Digital, Evaluasi dengan indikator SMK3, dan Standarisasi prosedur perusahaan. Hasil: Tim K3 Digital dibentuk untuk mengelola sistem dan berhasil meningkatkan partisipasi pelaporan dekat miss sebesar 325% (dari 4,2 menjadi 17,8 laporan per bulan). Skor Elemen 4.4 SMK3 meningkat dari 62% menjadi 86%, dan Elemen 4.5 dari 58% menjadi 84%. Kesimpulan: Teknologi safety board LED P10 terbukti berguna sebagai alat untuk mendukung pelaksanaan SMK3, terutama dalam hal meningkatkan komunikasi, keterlibatan karyawan, dan pengendalian data K3 secara *real-time* di industri CNG.

Kata Kunci: SMK3; Komunikasi K3; LED P10; Industri CNG; PDCA; Pelaporan Near Miss.

Abstract

Implementing an Occupational Safety and Health Management System (OSHMS) in high-risk industries like CNG compression and distribution requires effective communication and active worker engagement. PT Cipta Niaga Gas is having trouble implementing SMK3 Elements 4.4 (Communication, Consultation, and Coordination) and 4.5 (Document and Data Control), as evidenced by the low reporting of near misses (4-5 reports per month) and static communication channels. The objective is to increase the effectiveness of SMK3 Elements 4.4 and 4.5 by developing and implementing an LED P10 outdoor safety board that is linked to a near-miss reporting system. The PDCA (Plan-Do-Check-Act) technique was used in this service research under the parameters of SMK3. Phases include: (1) SMK3 gap analysis and specific CNG hazard identification; (2) development of an LED P10 outdoor safety board with an integrated reporting system; (3) digital K3 team deployment and training; (4) evaluation using SMK3 indicators; and (5) standardization of business processes. The safety board was able to increase the number of persons reporting near-misses by 325%, from 4.2 to 17.8 complaints each month. The score for SMK3 Element 4.4 increased from 62% to 86%, and the score for Element 4.5 increased from 58% to 84%. A Digital K3 Team was formed to manage the system. In conclusion, the P10 LED safety board technology has proven effective in the CNG industry as a tool to support the adoption of OHSAS 18001, namely in improving worker participation, communication, and real-time control of OHS data.

Keywords: SMK3; Near Miss Reporting; K3 Communication; LED P10; CNG Industry; PDCA.

PENDAHULUAN

Menurut Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012, perusahaan dengan tingkat risiko tinggi, seperti industri kompresi dan distribusi gas alam terkompresi (CNG), wajib menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Industri ini memiliki bahaya khusus, antara lain potensi kebakaran, ledakan, dan pelepasan energi akibat operasi bertekanan tinggi (hingga 250 bar) serta sifat mudah terbakar dari gas alam [1] [2]. Oleh karena itu, implementasi elemen-elemen SMK3 [3] menjadi sangat penting, khususnya Elemen 4.4 tentang Komunikasi, Konsultasi, dan Koordinasi serta Elemen 4.5 tentang Pengendalian Dokumen dan Data [4].

PT Cipta Niaga Gas merupakan perusahaan distribusi CNG yang telah memiliki sertifikasi SMK3. Namun, hasil audit internal dan observasi awal mengungkapkan beberapa temuan penting, yaitu tingkat pelaporan yang sangat rendah dengan rata-rata 4–5 laporan per bulan dari lebih dari 120 pekerja; media komunikasi K3 yang masih bersifat konvensional dan kurang menarik, seperti poster dan papan tulis; umpan balik (*feedback*) terhadap laporan pekerja yang lambat; serta dokumentasi data K3 yang belum dikelola secara *real-time*. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara pencapaian sertifikasi dan pelaksanaan praktik kerja sehari-hari.

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi informasi dapat meningkatkan efektivitas komunikasi K3 hingga lima puluh persen [5]. Namun, penelitian yang secara komprehensif membahas penggunaan teknologi tepat guna, seperti *display* LED, untuk mendukung pencapaian elemen spesifik SMK3 di industri CNG masih terbatas. Dalam siklus SMK3, integrasi desain panel keselamatan LED P10 dengan kerangka PDCA, pengukuran dampak secara kuantitatif terhadap peningkatan skor Elemen 4.4 dan 4.5 SMK3, serta model pemberdayaan pekerja melalui Tim K3 Digital sebagai strategi keberlanjutan menjadi inti dari penelitian inovatif ini [6].

Tujuan kegiatan pengabdian ini adalah menganalisis kesenjangan implementasi Elemen 4.4 dan 4.5 SMK3 di PT Cipta Niaga Gas, merancang dan mengimplementasikan papan perlindungan LED P10 *Outdoor* sebagai media komunikasi K3 yang terintegrasi dengan sistem pelaporan, mengevaluasi efektivitas alat dalam meningkatkan partisipasi karyawan dan pencapaian indikator SMK3 [7], serta menyusun rekomendasi standardisasi untuk prosedur perusahaan.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012, perusahaan dengan potensi bahaya tinggi, termasuk industri kompresi dan distribusi CNG (*Compressed Natural Gas*), wajib menerapkan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). SMK3 bertujuan menciptakan lingkungan kerja yang aman, efektif, dan produktif melalui penerapan pendekatan yang komprehensif (Kemenaker RI, 2012). Pada industri berisiko tinggi, peran komunikasi dan partisipasi karyawan menjadi sangat krusial mengingat kompleksitas operasional serta potensi dampak fatal akibat kegagalan komunikasi.

Dalam Elemen 4.4 SMK3 tentang Komunikasi, Konsultasi, dan Koordinasi, ditegaskan bahwa mekanisme komunikasi yang efektif dan melibatkan seluruh tingkat organisasi merupakan hal yang sangat penting. Komunikasi K3 yang efektif tidak hanya berfungsi sebagai sarana penyampaian informasi, tetapi juga harus mampu mendorong perubahan perilaku dan meningkatkan kesadaran kolektif [8]. Namun demikian, banyak bisnis yang masih mengandalkan media komunikasi konvensional seperti poster dan pengumuman lisan, yang cenderung tidak menarik, tidak mutakhir, dan memiliki jangkauan terbatas (Nawi et al., 2021). Rendahnya partisipasi pekerja dalam sistem keselamatan sering kali berkaitan dengan kendala dalam komunikasi tersebut.

Salah satu indikator *leading* yang sensitif untuk mengukur seberapa efektif budaya keselamatan adalah laporan *near miss* (hampir celaka). *Near miss* didefinisikan sebagai kejadian tidak diinginkan yang tidak menimbulkan cedera, penyakit, atau kerusakan, tetapi memiliki potensi untuk menyebabkannya [9]. Faktor psikologis seperti takut disalahkan, prosedur yang rumit, dan tidak adanya umpan balik yang signifikan dikenal sebagai *feedback* [10]. Oleh karena itu, keberadaan sistem pelaporan yang jelas dan responsif menjadi faktor penting dalam meningkatkan partisipasi.

Eknologi visual dinamis seperti *display* LED menawarkan solusi inovatif terhadap permasalahan komunikasi K3. Berbeda dengan media statis, *display* elektronik mampu menyajikan informasi secara *real-*

time dengan daya tarik visual yang luar biasa. LED P10 merupakan teknologi tepat guna yang relatif murah dan tahan lama, memiliki rating IP65, serta mampu menampilkan konten yang terus diperbarui. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa media visual dinamis dapat meningkatkan *attention* dan retensi informasi hingga 40% dibandingkan media konvensional. Namun, pemanfaatan teknologi ini untuk mendukung penerapan elemen SMK3 di industri CNG masih memerlukan pengkajian lebih lanjut.

Integrasi teknologi dengan pendekatan partisipatif melalui *Participatory Action Research* (PAR) terbukti efektif dalam intervensi keselamatan dan kesehatan kerja. PAR melibatkan pekerja sebagai subjek aktif dalam proses perancangan dan implementasi solusi, sehingga meningkatkan rasa kepemilikan dan keberlanjutan program. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip konsultasi dalam SMK3 yang menekankan keterlibatan pekerja dalam pengambilan keputusan terkait K3. Kombinasi teknologi dan pendekatan partisipatif tersebut berkontribusi pada peningkatan efektivitas intervensi.

Siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA), yang diadopsi dari sistem manajemen mutu dan diintegrasikan ke dalam SMK3, menyediakan metodologi perbaikan berkelanjutan yang sistematis. Sejalan dengan ISO 45001:2018, siklus PDCA memungkinkan evaluasi dan penyempurnaan sistem secara berulang. Penerapan PDCA memastikan bahwa desain dan implementasi selaras dengan kebutuhan spesifik lapangan serta memungkinkan pengukuran efektivitas dalam pengembangan media komunikasi K3.

Industri CNG memiliki karakteristik risiko khusus yang menuntut pendekatan komunikasi yang berbeda. Risiko kebakaran, ledakan, dan pelepasan energi berbahaya muncul selama proses kompresi gas hingga tekanan 250 bar, penyimpanan, dan distribusi. Oleh karena itu, komunikasi K3 di lingkungan ini harus responsif terhadap perubahan kondisi operasional serta mampu menyampaikan informasi penting secara cepat dan jelas. Selain itu, efektivitas media komunikasi dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti tingkat kebisingan, pencahaayaan, dan mobilitas pekerja.

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa peningkatan efektivitas komunikasi K3 di industri CNG memerlukan pengembangan model integratif yang mengombinasikan teknologi visual dinamis (*LED P10*), pendekatan partisipatif (*Participatory Action Research / PAR*), dan kerangka sistemik (*PDCA-SMK3*). Model ini diharapkan mampu mengatasi rendahnya partisipasi pelaporan *near miss* sekaligus memperkuat penerapan Elemen 4.4 dan 4.5 SMK3. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut melalui pengembangan model yang mengintegrasikan teknologi visual dinamis (*LED P10*).

METODE PENELITIAN

1. Desain dan Pendekatan Penelitian

Dalam kerangka Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3), penelitian ini menerapkan pendekatan *Participatory Action Research* (PAR) yang dikombinasikan dengan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA). Pendekatan PAR digunakan untuk memastikan keterlibatan aktif pekerja dalam proses penelitian, sedangkan siklus PDCA menyediakan mekanisme perbaikan berkelanjutan yang sistematis. Penelitian ini dilaksanakan di PT Cipta Niaga Gas, Tangerang, selama lima bulan, yaitu dari Agustus hingga Desember 2025. Desain penelitian yang digunakan adalah desain terintegrasi satu kasus, dengan unit analisis utama berupa proses komunikasi K3 dan tingkat partisipasi pekerja. *Setting dan Partisipan Penelitian*

PT Cipta Niaga Gas merupakan perusahaan yang bergerak di bidang kompresi dan distribusi CNG dengan tingkat potensi bahaya yang tinggi, sehingga dipilih sebagai subjek penelitian. Penelitian ini melibatkan 120 pekerja operasional dari berbagai departemen, yaitu produksi, distribusi, perawatan, dan laboratorium, serta 8 orang manajemen yang mencakup manajer HSE dan manajer pabrik, dan 5 orang kontraktor. Pemilihan partisipan dilakukan menggunakan teknik *purposive sampling*. Kriteria partisipan meliputi pengalaman kerja minimal satu tahun, keterlibatan langsung dalam aktivitas berisiko, serta kesediaan untuk berpartisipasi aktif selama penelitian berlangsung. Tim pengabdi dari Universitas Mpu Tantular terdiri atas tiga mahasiswa dan dua dosen dari Program Magister Teknik K3.

2. Tahapan Penelitian Berbasis PDCA-SMK3

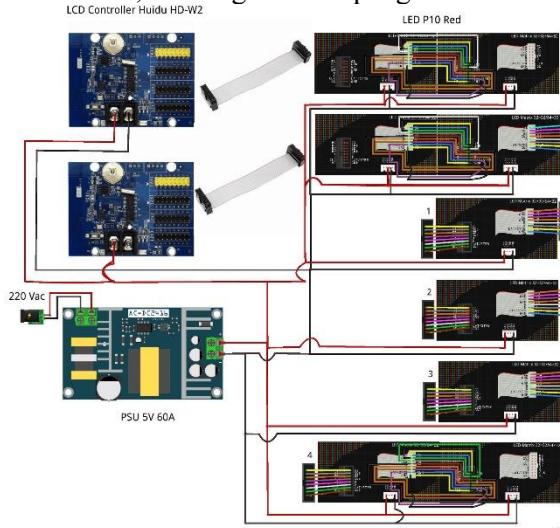
Sehubungan dengan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) dan elemen SMK3, penelitian ini dilaksanakan melalui lima tahapan utama. Tahap pertama adalah *Plan* (perencanaan), yang difokuskan pada

analisis kebutuhan dan perancangan konsep. Pada Elemen 4.4 (Komunikasi) dan Elemen 4.5 (Pengendalian Dokumen), dilakukan *gap analysis* SMK3 menggunakan instrumen *checklist* yang disusun berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2012. Analisis risiko pada proses CNG dilakukan menggunakan metode *Hazard and Operability Study* (HAZOP) dan *Job Safety Analysis* (JSA). Hasil analisis tersebut kemudian digunakan sebagai dasar pelaksanaan *Workshop Co-Design* yang melibatkan 15 orang staf untuk merumuskan spesifikasi teknis *safety board*, kebutuhan konten, serta penentuan lokasi pemasangan.

Tabel 1 Jadwal peneltian

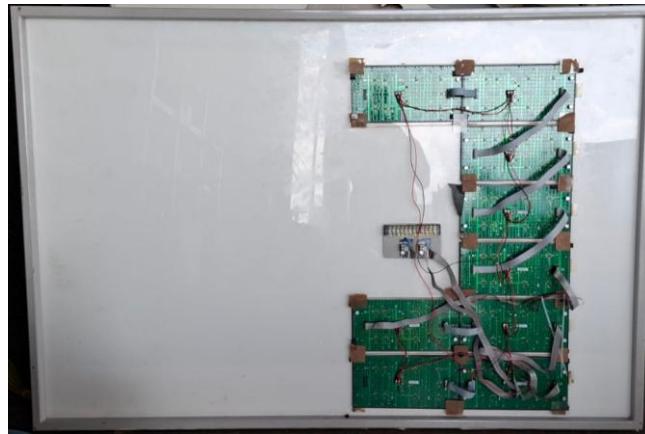
No	Rencana kegiatan	Bulan (2025)				
		Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
1	Audit & Perencanaan design					
2	Pengadaan material					
3	Pembuatan frame & pemasangan stiker					
4	Simulasi Hardware dan Setting parameter					
5	Instalasi					
6	Evaluasi					
7	Pembuatan Jurnal					

Tahap kedua adalah *Do* (pengembangan sistem), yang mencakup pengembangan perangkat lunak, perangkat keras, serta integrasi sistem. Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang telah disusun digunakan sebagai acuan dalam pembangunan perangkat keras. Sistem yang dikembangkan terdiri atas sepuluh modul LED P10 Outdoor Red (32×16 dots, IP65) dengan konfigurasi 2×5 , yang dikendalikan menggunakan *controller* Huidu HD-W2 dan disuplai oleh PSU 5V 60A. Rangkaian kelistrikan dilindungi oleh MCB 32A, dengan penggunaan kabel NYMHY $2 \times 0,75$ sebagai media penghantar.

**Gambar 1.** Desain Rangkaian Elektronik dan Tata Letak Modul LED P10 pada Safety Board.

Perangkat lunak dan konten. Aplikasi *LedArt* versi 3.0 diinstal pada komputer server sebagai pusat kendali sistem [11]. Aplikasi ini dipilih karena kompatibel dengan *controller* Huidu, memiliki antarmuka yang mudah digunakan, serta mampu menampilkan konten dinamis berupa teks berjalan, gambar, animasi sederhana, dan data *real-time*. Konten yang dirancang meliputi: (1) *counter near miss* yang terintegrasi dengan *Google Sheets*, (2) pengumuman keselamatan harian, (3) statistik K3 per departemen, dan (4) informasi cuaca serta peringatan bahaya khusus CNG.

Integrasi sistem dilakukan dengan membangun *API connector* sederhana menggunakan *Google Apps Script* untuk secara otomatis mengalirkan data laporan *near miss* dari *Google Forms* ke dalam template konten *LED Art* [12].



Gambar 2. Instalasi LED pada frame

Tahap ketiga berfokus pada implementasi dan pemberdayaan. Tahap ini mencakup kegiatan pembangunan kapasitas serta instalasi fisik sistem. Papan keamanan dipasang di area pintu masuk utama perusahaan. Tim K3 Digital yang terdiri dari lima pekerja terpilih memperoleh pelatihan komprehensif yang meliputi: (1) pengoperasian dasar *LED Art* (pembuatan dan penjadwalan konten), (2) penanganan gangguan *hardware* sederhana, dan (3) pengelolaan formulir pelaporan daring. Selain itu, edukasi kepada seluruh pekerja dilakukan melalui konferensi keselamatan dan simulasi interaktif.

Tahap keempat merupakan tahap pengecekan atau evaluasi, yang bertujuan menilai dampak intervensi secara kuantitatif dan kualitatif. Analisis data pelaporan *near miss* dilakukan menggunakan uji statistik deskriptif dan inferensial (*paired sample t-test*) dengan membandingkan data tiga bulan sebelum dan satu bulan setelah implementasi. Perubahan tingkat kesadaran pekerja diukur melalui analisis kuesioner persepsi dan pengetahuan (N=78). Sementara itu, proses pemberdayaan dan tingkat penerimaan sistem dievaluasi melalui wawancara mendalam dan FGD bersama manajemen serta Tim K3 Digital.



Gambar 3. Pemasangan Stiker pada papan Accrylic

Tahap kelima adalah *Action* (Action and Standardization). Hasil evaluasi berdasarkan analisis yang dilakukan [13] dimanfaatkan untuk menyempurnakan sistem serta menyusun Prosedur Operasional Standar (SOP) pengelolaan papan keamanan yang kemudian diintegrasikan ke dalam dokumen SMK3 perusahaan. Selain itu, disusun rencana keberlanjutan yang mencakup penganggaran operasional dan strategi replikasi sistem ke area kerja lain.

3. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Untuk meningkatkan validitas, penelitian ini menerapkan triangulasi data berdasarkan metode dan sumber. Data kuantitatif diperoleh dari data sekunder pelaporan dan kuesioner terstruktur. Sementara itu, data kualitatif dikumpulkan melalui dokumentasi, wawancara semi-terstruktur, dan observasi terhadap

peserta, kemudian diolah menggunakan program SPSS 25. Analisis data kualitatif dilakukan dengan metode analisis tematik yang mencakup proses interpretasi, kategorisasi, dan *coding* untuk mengidentifikasi pola makna. Penilaian keandalan (reliabilitas) instrumen didukung oleh data teknis berupa *checklist* pemeliharaan dan log operasional sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Di PT Cipta Niaga Gas, penerapan *safety board* berbasis LED P10 menunjukkan dampak yang signifikan dan multidimensi terhadap sistem manajemen K3. Pertama, perangkat ini berfungsi sebagai media komunikasi dua arah yang efektif [14], [15], [16] serta secara langsung mendukung peningkatan Elemen 4.4 SMK3 (Komunikasi, Konsultasi, dan Koordinasi). Data *near miss* yang ditampilkan secara *real-time* tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga meningkatkan akuntabilitas dan mendorong partisipasi pekerja (Kemenaker, 2012). Temuan ini sejalan dengan prinsip SMK3 yang menekankan bahwa komunikasi harus menjangkau dan melibatkan seluruh tingkat organisasi.

Kedua, penerapan sistem ini turut memperkuat Elemen 4.5 SMK3 (Pengendalian Dokumen dan Data). Data pelaporan yang sebelumnya tersebar, tersimpan dalam arsip, dan sulit diakses kini menjadi lebih terstruktur, terstandarisasi, serta tersaji secara visual. Kondisi tersebut memenuhi kriteria utama SMK3 dalam pengendalian dokumen dan data, yaitu ketersediaan, kemudahan akses, dan keakuratan secara tepat waktu.



Gambar 4. Aplikasi LedArt



Gambar 5. Safety board terpasang

Selain itu, peningkatan pelaporan *near miss* sebesar 324% menjadi bukti kuat adanya perubahan positif dalam budaya pelaporan keselamatan. Umpulan visual yang instan dan transparan berperan sebagai faktor utama pendorong perubahan tersebut. Setiap laporan yang masuk secara langsung terakumulasi dalam data yang dapat dilihat bersama, sehingga menghilangkan persepsi pekerja bahwa

laporan mereka “hilang di dalam sistem”. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa efektivitas sistem pelaporan sangat dipengaruhi oleh kecepatan serta visibilitas umpan balik kepada pelapor.

Selanjutnya, strategi pemberdayaan yang diterapkan memastikan keberlanjutan intervensi teknologi. Pembentukan Tim K3 Digital yang berasal dari karyawan internal melahirkan agen perubahan dari dalam organisasi. Pemberian tanggung jawab dan kompetensi kepada tim ini untuk mengelola konten serta operasional dasar sistem tidak hanya menjamin keberlangsungan fungsi alat setelah periode pengabdian, tetapi juga secara mendasar memperkuat rasa kepemilikan dan komitmen kolektif terhadap sistem K3 perusahaan secara keseluruhan.

KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan proses pengembangan, implementasi, dan evaluasi, *safety board* P10 Outdoor berbasis LED terbukti sebagai inovasi teknologi tepat guna yang mendukung pencapaian Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Efektivitas tersebut tercermin dari peningkatan signifikan pada Elemen 4.4 SMK3 (Komunikasi, Konsultasi, dan Koordinasi) sebesar 24% serta Elemen 4.5 SMK3 (Pengendalian Dokumen dan Data) sebesar 26% di PT Cipta Niaga Gas. Dampak yang lebih nyata ditunjukkan oleh peningkatan partisipasi pelaporan *near miss* sebesar sekitar 324%, yang menandakan pergeseran budaya keselamatan dari pendekatan reaktif menuju proaktif. Keberhasilan ini dicapai melalui penerapan pendekatan *PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*) yang terintegrasi dalam siklus SMK3. Pendekatan tersebut tidak hanya membangun mekanisme perbaikan berkelanjutan, tetapi juga memastikan keberlanjutan program melalui penguatan peran Tim K3 Digital sebagai agen perubahan internal.

SARAN

Penelitian ini menghasilkan sejumlah rekomendasi strategis sebagai langkah tindak lanjut. Perusahaan disarankan untuk mengintegrasikan sistem *safety board* secara formal ke dalam prosedur tetap SMK3, yang mencakup penyusunan protokol operasi, pemeliharaan, serta pengendalian dokumen. Selain itu, diperlukan penyediaan anggaran khusus untuk replikasi sistem di area kerja lain dan pengembangan lanjutan, sehingga inovasi ini dapat berfungsi sebagai media komunikasi K3 yang terstandarisasi dan mendukung kepatuhan terhadap regulasi.

Model integrasi teknologi dan pemberdayaan pekerja yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat dipertimbangkan sebagai *best practice* dalam pedoman implementasi Elemen 4.4 dan 4.5 SMK3 oleh regulator, khususnya Kementerian Ketenagakerjaan. Model ini memiliki relevansi tinggi bagi industri berisiko tinggi, seperti sektor gas dan minyak, serta berpotensi mempercepat proses digitalisasi dan meningkatkan efektivitas SMK3 secara nasional.

Untuk memahami dampak jangka panjang dari intervensi ini terhadap indikator *lagging*, seperti angka kecelakaan kerja dan biaya kompensasi, diperlukan penelitian lanjutan oleh komunitas akademik dan peneliti berikutnya. Selain itu, terbuka peluang pengembangan penelitian melalui integrasi sistem dengan teknologi lain, seperti *Internet of Things* (IoT) untuk *predictive maintenance*, sensor lingkungan otomatis, atau sistem *dashboard* manajemen yang lebih kompleks, guna membangun ekosistem K3 digital yang lebih luas dan responsif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Ali, A. Younus, A. Ullah, and A. H. Alrefai, “Journal of Safety Science and Resilience Compressed Natural Gas (CNG) as a fuel and the associated risks: A quantitative analysis in the scenario of a developing country,” *J. Saf. Sci. Resil.*, vol. 5, no. 3, pp. 306–316, 2024,
- [2] M. R. Aosaf, Y. Wang, and K. Du, “Comparison of the emission factors of air pollutants from gasoline, CNG, LPG and diesel fueled vehicles at idle speed,” *Environ. Pollut.*, vol. 305, no. April, 2022,

- [3] P. P. R. I. N. 50 T. 2012, "PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 50 TAHUN 2012 TENTANG PENERAPAN SISTEM MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA," 2012.
- [4] F. Tamim and A. Ismail, "Analisis Manajemen Risiko dan Pengendalian Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) pada Pekerjaan Power House (Studi Kasus Proyek PLTMH Cikandang 1 Pakenjeng-Garut)," vol. 3, pp. 1–10, 2013.
- [5] A. Yani, "Efektivitas Pelatihan Keselamatan Kerja di Konstruksi Dan Peran Manajemen dalam Meningkatkan Kepatuhan K3 ; Literatur Review," vol. 3, no. 1, pp. 8–17, 2025.
- [6] L. D. Wibawa and R. Wijayanti, "Peningkatan Safety Awareness Melalui Digitalisasi Aplikasi Safety Guard Pada Pekerja Produksi (Studi Kasus di Perusahaan Manufaktur Karoseri)," vol. 2, no. 2, pp. 1–7, 2024.
- [7] N. Falasifah, T. Lingkungan, U. Islam, and N. Sunan, "Studi Penerapan dan Evaluasi Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) Berdasarkan Peraturan Pemerintah No . 50 Tahun 2012 di PT Petro Oxo Nusantara (PON)," vol. 4, no. 5, pp. 1390–1404, 2025,
- [8] M. K. A. KRifqah Febriana Ali1, Suharni A. Fachrin2, "ANALISIS PENERAPAN KOMUNIKASI K3 TERHADAP KECELAKAAN KERJA PADA PEKERJA DI BAGIAN PRODUKSI DAN PERGUDANGAN PT. JAPFA COMFEED TBK UNIT MAKASSAR," vol. 4, no. 6, pp. 1007–1014, 2023.
- [9] M. Grazia and J. Homer, "Near-miss management systems and observability-in-depth : Handling safety incidents and accident precursors in light of safety principles," *Saf. Sci.*, vol. 91, pp. 154–167, 2017,
- [10] E. Kurniawan, "OPTIMALISASI BBS DENGAN INSPEKTA UNTUK MENINGKATKAN KETERLIBATAN," pp. 91–97, 2012.
- [11] J. R. Coyanda and I. Saluza, "Journal of Computer Networks , Architecture and High Performance Computing Information System Web-Based HSSE Performance In PT . XYZ Journal of Computer Networks , Architecture and High Performance Computing," vol. 6, no. 1, pp. 159–168, 2024.
- [12] S. Atisina, B. Sugiantoro, M. Informatika, U. Islam, and N. Sunan, "ALGORITMA PERANCANGAN RUNNING TEXT MENGGUNAKAN CONTROLLER HUIDU W02 V4 . 1," vol. 12, no. 2, 2024.
- [13] W. Susanty, "Data Analysis Sheet For Determining The Position Pixel / Dot On Panel LED P10," no. Icetd, pp. 829–832, 2017.
- [14] H. Pratikno, P. Susanto, W. I. Kusumawati, T. Komputer, F. Teknologi, and U. Dinamika, "Implementasi Media Informasi Digital Berbasis Matrix-LED Untuk Meningkatkan Akses Informasi di Desa Buncitan Email Corespondence : heri@dinamika.ac.id menyampaikan informasi atau konten kepada audiens . Berdasarkan definisi dan situs web yang digunakan untuk berbagai tujuan , mulai dari informasi bisnis sampai dan berita secara real-time . Video online yang terdiri dari platform seperti YouTube dan sumber , terakhir adalah E-commerce sebagai situs web e-commerce seperti toko online dapat disebarluaskan (Mesin et al ., 2024). Dalam era modern ini , teknologi LED tidak digunakan dalam berbagai aplikasi , termasuk billboard besar , video dinding , hingga," vol. 2, no. 1, pp. 30–39, 2024,
- [15] Ridho Syafiq Mada Nugroho, "PERAN KOMUNIKASI DALAM PENERAPAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DI TEMPAT KERJA".
- [16] K. Rusba, "PENERAPAN KOMUNIKASI KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA PEKERJA DI PT. MNB KOTA BALIKPAPAN," vol. 3, no. 12, pp. 2383–2398, 2024.