

Analisis Green Productivity dan Hirarc Untuk Meningkatkan Efisiensi Sumber Daya dan Keselamatan Kerja Pada Proses Pengelasan di PT Andalan Fluid Sistem

Muhamad Alviansyah* , Abdul Wahid

Universitas Yudharta Pasuruan, Indonesia

Email: Alvie325@gmail.com*, wahid@yudharta.ac.id

Keywords :	Abstract
Green Productivity; HIRARC; Occupational Health and Safety (OHS); Welding; EPI	<i>Welding processes play a crucial role in the manufacturing industry; however, they also have the potential to cause resource inefficiencies and various occupational safety risks. This study aims to integrate the Green Productivity (GP) and Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC) methods to improve resource efficiency while enhancing occupational safety in the welding area of PT. Andalan Fluid Sistem. A mixed-method approach was employed, with data collected through observations, interviews, direct measurements, and company documentation over a period of 10 working days. Green Productivity analysis was conducted based on the Asian Productivity Organization (APO) Six-Step Methodology using Environmental Performance Indicators (EPI) benchmarked against AWS D1.1, Meng et al. (2024), and Permenaker No.5/2018, while risk analysis was performed using the HIRARC 5×5 risk matrix. The results indicate that energy consumption of 0.263 kWh per weld joint and material consumption of 0.059 kg per weld joint remain above the established benchmarks. The combined EPI score was 83.78, indicating that the environmental performance was in the fairly good category. The HIRARC assessment identified seven major hazards, namely welding sparks, fire, welding fumes, noise, electric shock, ultraviolet radiation, and pressurized gas cylinders, consisting of two high-risk hazards, four medium-risk hazards, and one low-risk hazard. The integration of GP and HIRARC generated ten improvement alternatives that provide dual benefits in terms of occupational safety enhancement and resource efficiency improvement. This study demonstrates that the integrated Green Productivity–HIRARC approach can serve as a decision-making framework for achieving safer, more efficient, and sustainable welding operations</i>
Kata Kunci:	Abstrak
Green Productivity; HIRARC; K3; Pengelasan; EPI.	Proses pengelasan memiliki kontribusi penting dalam industri manufaktur, namun di sisi lain berpotensi menimbulkan pemborosan sumber daya dan berbagai risiko keselamatan kerja. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan metode Green Productivity (GP) dan Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus keselamatan kerja pada area welding PT. Andalan Fluid Sistem. Penelitian menggunakan pendekatan mixed method dengan pengumpulan data melalui observasi, wawancara, pengukuran langsung, dan dokumentasi perusahaan selama 10 hari kerja. Analisis Green Productivity berbasis APO 6 Langkah menggunakan indikator Environmental Performance Indicator (EPI) dengan benchmark yang bersumber dari standar AWS D1.1, Meng et al. (2024), dan Permenaker No.5/2018, sedangkan analisis risiko dilakukan menggunakan matriks HIRARC 5×5. Hasil penelitian menunjukkan konsumsi energi sebesar

0,263 kWh/sambungan dan konsumsi material sebesar 0,059 kg/sambungan masih berada di atas benchmark yang ditetapkan. Nilai EPI gabungan diperoleh sebesar 83,78 yang menunjukkan kinerja lingkungan berada pada kategori cukup baik. Hasil HIRARC mengidentifikasi tujuh bahaya utama yang terdiri dari percikan las, kebakaran, asap welding, kebisingan, kesetrum, radiasi ultraviolet, dan tabung gas bertekanan, dengan dua risiko kategori tinggi, empat risiko sedang, dan satu risiko rendah. Integrasi GP dan HIRARC menghasilkan sepuluh opsi perbaikan yang memberikan manfaat ganda terhadap peningkatan keselamatan kerja dan efisiensi sumber daya. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan integratif Green Productivity–HIRARC dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mewujudkan proses pengelasan yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek fundamental dalam pengelolaan tenaga kerja sektor manufaktur. *International Labour Organization* (ILO, 2013) mencatat bahwa kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja menyebabkan kerugian ekonomi setara 4% PDB global setiap tahunnya. Di Indonesia, Kementerian Ketenagakerjaan RI, (2022) melaporkan sektor manufaktur menyumbang proporsi insiden K3 tertinggi, khususnya pada fabrikasi logam yang melibatkan pengelasan.

Proses pengelasan menghadapi dua tantangan simultan, risiko K3 yang tinggi dan inefisiensi penggunaan sumber daya. Dari sisi K3, Wisudawati, (2022) dan (Nopiani et al., 2021) mengidentifikasi bahaya radiasi UV, paparan asap logam beracun (Mn, Cr6+), dan percikan api sebagai risiko dominan pada bengkel las. Dari sisi efisiensi, (Meng et al., 2024) membuktikan proses pengelasan merupakan penyumbang utama konsumsi energi dan emisi CO₂ dalam industri fabrikasi logam, dengan potensi penghematan signifikan melalui optimasi parameter las.

Green Productivity (GP) yang dikembangkan APO, (2006) menawarkan pendekatan terpadu untuk meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Penelitian GP pada industri manufaktur menunjukkan hasil konsisten: (Putri et al., 2023) mendapat EPI baseline 70–75/100 pada industri sabun dengan peluang peningkatan signifikan, sedangkan (Salma & Handayani, 2024) membuktikan pengelolaan limbah terpadu meningkatkan GPI di atas 1,20. Namun demikian, studi GP yang spesifik pada industri pengelasan di Indonesia masih sangat terbatas.

Kajian sistematis terhadap 15 penelitian terdahulu menunjukkan bahwa seluruh studi membahas HIRARC dan *Green Productivity* secara terpisah dan parsial. HIRARC difokuskan pada pengendalian bahaya tanpa mempertimbangkan implikasi terhadap efisiensi sumber daya, sedangkan GP tidak mengintegrasikan penilaian risiko K3 secara formal (Ansell & Gash, 2008). (Stavropoulos, 2024) menegaskan bahwa keberlanjutan proses pengelasan harus mencakup aspek keselamatan kerja secara integral, namun belum ada framework operasional yang menghubungkan keduanya secara kuantitatif.

Penelitian ini mengisi gap tersebut dengan mengintegrasikan analisis GP dan HIRARC secara simultan pada area welding PT Andalan Fluid Sistem, menghasilkan model evaluasi yang mampu menghasilkan rekomendasi berdampak ganda terhadap keselamatan kerja dan efisiensi lingkungan. Tiga tujuan penelitian ditetapkan: (1) mengidentifikasi dan mengevaluasi risiko K3 menggunakan HIRARC; (2) menganalisis kondisi Green Productivity baseline; dan

(3) menyusun rekomendasi perbaikan terpadu berbasis integrasi GP-HIRARC. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoritis dalam pengembangan metode analisis terintegrasi di bidang K3 dan keberlanjutan industri, serta memberikan implikasi praktis bagi manajemen PT Andalan Fluid Sistem dalam meningkatkan keselamatan kerja dan efisiensi sumber daya secara simultan.

METODE PENELITIAN

Desain dan Lokasi Penelitian

Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan desain studi lapangan (field study) yang dilaksanakan selama 10 hari kerja efektif (27 April–11 Mei 2026) di area welding shop PT Andalan Fluid Sistem, Cabang Jawa Timur. Pemilihan 10 hari didasarkan pada: (a) satu siklus produksi penuh komponen cylinder hidrolik berlangsung 8–12 hari; (b) variasi shift SMAW dan MIG terwakili; dan (c) kesesuaian dengan kapasitas pengawasan peneliti. Keterbatasan durasi ini diakui dan dicantumkan dalam bagian limitasi.

Perusahaan bergerak dalam fabrikasi sistem hidrolik dan komponen fluida industri. Mesin las yang digunakan: SMAW Lincoln Invertec CV400 (daya 20 kWh, arus maks. 30 A) dan MIG Nori Tech NM-500IF (daya 26 kWh, arus maks. 40 A), dengan elektroda NS8629 untuk SMAW dan kawat ER110 untuk MIG.

Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan menggunakan empat formulir terstandar yang telah diverifikasi Supervisor welding Agus Riyadi dan disetujui HSE Manager Shalahudin pada 11 Mei 2026:

1. Form GP-1: kWh-meter digital (terpasang pada panel mesin SMAW dan MIG) untuk konsumsi energi; output sambungan dari form produksi harian yang terverifikasi QC.
2. Form GP-2: timbangan digital (ketelitian 0,1 kg) untuk berat elektroda sebelum shift dan stub loss setelah shift; selisih berat spool kawat MIG.
3. Form GP-3: wadah berlabel per jenis limbah (Slag SMAW, Slag MIG, Spatter, Sisa Kawat, Stub) ditimbang di akhir setiap shift.
4. Form GP-4: flowmeter gas (terpasang pada regulator CO₂) untuk *flow rate*; konsumsi total = *flow rate* × jam aktif MIG × 60 menit.

Data HIRARC bersumber dari dokumen resmi FM.HSE.019 PT Andalan Fluid Sistem yang telah disetujui Direksi/MR, diperkuat dengan observasi lapangan sistematis dan wawancara terstruktur 16 responden (10 welder, 4 helper, 1 supervisor, 1 HSE).

Metode Perhitungan EPI dan GPI

Environmental Performance Indicator (EPI) dihitung per indikator menggunakan formula:

$$\text{EPI} = 100 \times [1 - |\text{Nilai Aktual} - \text{Benchmark}| / \text{Benchmark}]$$

Nilai EPI ≥ 80 dikategorikan Baik; EPI 60–79 Cukup; EPI < 60 Perlu Perbaikan. EPI Gabungan dihitung dengan pembobotan: EPI-1=25%, EPI-2=20%, EPI-3=20%, EPI-4=15%, EPI-5=20% (total 100%; EPI-6 dikecualikan karena data tidak tersedia). Pembobotan ditetapkan melalui diskusi dengan tim GP dan manajemen berdasarkan signifikansi dampak lingkungan masing-masing indikator.

Green Productivity Index (GPI) dihitung sebagai:

$$\text{GPI} = (\text{Produktivitas Sesudah} / \text{Produktivitas Sebelum}) \div (\text{EL Sesudah} / \text{EL Sebelum})$$

Keterangan: EL (*Environmental Load*) = $1 - (\text{EPI}/100)$. GPI > 1,00 menandakan produktivitas meningkat sekaligus beban lingkungan berkurang secara proporsional.

Integrasi GP–HIRARC dan Evaluasi Opsi

Integrasi dilakukan melalui matriks silang yang menghubungkan setiap bahaya HIRARC dengan indikator GP yang terdampak, mekanisme sinergi, opsi perbaikan GP, dan estimasi dampak ganda. Opsi GP dievaluasi menggunakan multi-criteria scoring terstruktur (skala 1–5 untuk tiga kriteria: kelayakan teknis, manfaat lingkungan & K3). Prioritas tinggi ditetapkan untuk opsi dengan skor total ≥ 12 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Awal dan Identifikasi Masalah

Tiga kondisi kritis teridentifikasi sebelum pengukuran baseline dimulai. Pertama, perusahaan belum memiliki Tim *Green Productivity* dan program GP belum pernah dijalankan, menunjukkan absennya kapasitas organisasional untuk mengelola efisiensi sumber daya secara sistematis. Kedua, seluruh limbah pengelasan dibuang melalui pihak ketiga tanpa pemisahan jenis, log harian, maupun program pemanfaatan kembali. Ketiga, tidak pernah ada pengukuran lingkungan kerja (Mn, kebisingan, suhu) sehingga EPI-6 tidak dapat dihitung, ini merupakan keterbatasan data yang secara eksplisit diakui dalam penelitian ini.

Hasil Pengukuran Baseline Green Productivity

Pengukuran baseline selama 10 hari kerja menghasilkan total 2.853 sambungan las (1.525 SMAW + 1.328 MIG), konsumsi energi 751 kWh, dan limbah 19,60 kg. Perbedaan output SMAW dan MIG dipengaruhi oleh: panjang sambungan SMAW 42–46 cm (posisi repair/sulit) vs MIG 97–105 cm (fabrikasi baru/flat), kecepatan las SMAW 12–14 cm/mnt vs MIG 28–35 cm/mnt, dan frekuensi interupsi SMAW 15–20 kali/shift vs MIG 1–2 kali/shift. Ringkasan nilai EPI dan perbandingan dengan penelitian sejenis disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil EPI Baseline, Benchmark, dan Perbandingan dengan Penelitian Sejenis

Indikator	Aktual	Benchmark	Deviasi	EPI	Kategori	Perbandingan Penelitian Sejenis
EPI-1: Energi (kWh/smb)	0,263	$\leq 0,200$	+31,5%	68,5	Cukup	Meng et al. (2024): target $\leq 0,200$; masih ada peluang 31,5%
EPI-2: Material (kg/smb)	0,059	$\leq 0,050$	+18,0%	82,0	Baik	APO (2006): eff. deposisi SMAW 87% vs target $\geq 75\%$ (sudah melampaui)
EPI-3: Slag (kg/smb)	0,003	$\leq 0,008$	-62,5% ✓	92,0	Baik	Di bawah benchmark; operator sudah mengelola slag dengan baik

Indikator	Aktual	Benchmark	Deviasi	EPI	Kategori	Perbandingan Penelitian Sejenis
EPI-4: Spatter (kg/smb)	0,001	$\leq 0,003$	-66,7% ✓	95,0	Baik	Nilai terbaik; keterampilan welder dalam mengendalikan spatter baik
EPI-5: CO ₂ MIG (L/smb)	50,8	≤ 60	-15,3% ✓	88,0	Baik	Di bawah benchmark; namun masih ada ruang optimasi ke 40–45 L/smb
EPI-6: Mn Udara (mg/m ³)	Tidak terukur	$\leq 0,20$	—	—	Data tidak tersedia	Koordinasi Balai K3 diperlukan; keterbatasan penelitian ini
EPI GABUNGAN	—	—	—	83,75	BAIK	Lebih tinggi dari Putri et al. 2023 (70–75); gap masih di energi

Sumber: Data primer (2026); benchmark APO (2006), AWS D1.1, Permenaker No.5/2018

Analisis Akar Penyebab (Root Cause Analysis)

Konsumsi energi (EPI-1 = 68,5) merupakan indikator dengan kinerja terlemah, melampaui benchmark 31,5%. Analisis akar penyebab menggunakan metode 5-Why mengidentifikasi empat faktor yang saling terkait:

Tabel 2. Analisis Akar Penyebab Tingginya Konsumsi Energi (EPI-1 = 68,5)

No	Faktor Penyebab	Mekanisme Dampak	Estimasi Kontribusi terhadap Deviasi	Bukti Lapangan
1	Pengaturan arus SMAW tidak terstandar	Arus 10–15% di atas nilai optimal elektroda NS8629 → konsumsi listrik lebih tinggi per satuan panjang las	~10–12% dari deviasi 31,5%	Tidak ada tabel arus per ketebalan material; operator mengatur berdasarkan intuisi/kebiasaan
2	Mesin las idle tanpa produksi 0,5–1 jam/shift	Mesin tetap 'ON' saat istirahat, pergantian elektroda, dan waktu setup → memboroskan 4–6 kWh/shift	~8–12% dari deviasi	Tidak ada SOP on/off mesin; tidak ada timer otomatis; diamati langsung selama pengukuran
3	Sistem wire feed dan pendingin MIG aktif terus-menerus	MIG NM-500IF mengonsumsi 0,299 kWh/smb vs SMAW 0,232 kWh/smb; komponen aktif bahkan saat tidak mengelas	~7–9% dari deviasi	Perbandingan kWh SMAW vs MIG per hari pengukuran; dikonfirmasi data Form GP-1
4	Tidak ada pemantauan energi real-time sebelum penelitian	Pemborosan tidak terdeteksi dan tidak dikoreksi; tidak ada feedback loop efisiensi energi	Seluruh deviasi tidak teridentifikasi	Tidak ada kWh-meter sebelum penelitian ini; operator tidak mengetahui konsumsi aktual

Sumber: Observasi lapangan + wawancara operator + analisis data Form GP-1 (2026)

Konsumsi material melebihi benchmark 18,0% (EPI-2 = 82,0) disebabkan utamanya oleh stub loss elektroda rata-rata 12,3% dari panjang elektroda. Analisis mendalam menunjukkan operator mengganti elektroda pada panjang 4–5 cm dari ujung, padahal panjang minimum yang diizinkan secara teknis adalah 3 cm. Kebiasaan ini menyebabkan kehilangan material 1,3–2,3 cm per elektroda — setara dengan 0,69 kg stub loss per shift (rata-rata 10 hari). Faktor penyebab: (a) tidak ada SOP pengelasan tertulis yang mengatur panjang minimum stub; (b) tidak ada pelatihan efisiensi penggunaan elektroda; dan (c) tidak ada insentif atau *monitoring waste material*.

Analisis Limbah Pengelasan

Total limbah 19,60 kg dari 169,5 kg input material (rasio 11,56%) terdiri dari: slag SMAW 8,42 kg (43,0%), stub loss 6,93 kg (35,4%), spatter 3,03 kg (15,5%), dan sisa kawat MIG 1,22 kg (6,2%). Kondisi kritis: seluruh limbah dibuang ke drum B3 tanpa pemisahan, log, atau pemanfaatan. Ini bertentangan dengan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) dalam *Green Productivity*.

Nilai ekonomi limbah yang tidak termanfaatkan: slag dapat dijual ke pemasok bahan abrasif (Rp 200–500/kg) dan stub elektroda ke pengepul logam (Rp 2.000–3.000/kg), menghasilkan potensi nilai Rp 15.544–25.000 per 10 hari (Rp 373.000–600.000/tahun). Dibandingkan dengan Salma dan Handayani (2024) yang berhasil memanfaatkan 78% limbah kayu menjadi produk bernilai tambah, PT Andalan Fluid Sistem masih pada tahap 0% pemanfaatan limbah las menunjukkan peluang perbaikan yang substansial.

Hasil Analisis HIRARC dan Kesenjangan Pengendalian

Analisis HIRARC berdasarkan FM.HSE.019 diperkuat observasi lapangan menghasilkan profil risiko dan temuan kesenjangan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi HIRARC, Pengendalian, dan Kesenjangan Lapangan

No	Bahaya	Risk Awal	Risk Sisa	Pengendalian Eksisting	Rencana Pengendalian Tambahan	Kesenjangan Pengendalian Aktual
1	Suhu – Percikan las → luka bakar	M (D,3)	L (D,2)	Hot work permit; APD lengkap; prosedur	Training Safety Welding	Apron kulit dan sarung tangan tidak selalu dipakai secara konsisten oleh seluruh welder
2	Kimia – Bhn mudah terbakar → kebakaran	M (D,3)	L (D,2)	Jauhkan bahan mudah terbakar; APAR; fire blanket; ijin kerja	Training + EC	APAR tersedia namun posisinya jauh dari titik las aktif; tidak ada fire watch saat hot work
3	Kimia – Asap welding → gangguan pernapasan	L (D,2)	L (D,2)	Prosedur kerja; respirator mandatory	Sudah Low	Belum ada pengukuran kadar Mn di udara kerja

No	Bahaya	Risk Awal	Risk Sisa	Pengendalian Eksisting	Rencana Pengendalian Tambahan	Kesenjangan Pengendalian Aktual
4	Suara – Kebisingan → gangguan pendengaran	M (C,3)	L (D,2)	Atur ritme kerja; ear plug/muff	Substitusi alat kebisingan rendah	Tidak ada pengukuran dB aktual; NAB 85 dB(A) tidak terkonfirmasi
5	Listrik – Kestrum → luka serius	M (C,2)	L (D,2)	Peralatan standar; inspeksi rutin; rambu	Training Electrical	Inspeksi kabel & ELCB belum terjadwal formal dan terdokumentasi
6	Radiasi – Sinar UV → gangguan penglihatan	H (C,3)	L (D,2)	MCU; pengawasan; APD lengkap	Training Safety Welding	Helm las manual (bukan auto-darkening); tidak ada welding curtain permanen
7	Tekanan – Ledakan tabung gas → fatality	H (C,3)	L (D,2)	Cradle; trolley; rantai pengaman; prosedur	Training Compressed Gas	Konsistensi penerapan cradle perlu diverifikasi; training belum terkonfirmasi terlaksana

Sumber: FM.HSE.019 + observasi lapangan + wawancara

Distribusi risiko menunjukkan terdapat 2 bahaya dengan kategori *High Risk* (No. 6 radiasi sinar UV dan No. 7 tekanan tabung gas), 3 bahaya kategori *Moderate Risk* (No. 1 suhu, No. 2 bahan mudah terbakar, dan No. 5 listrik), serta 2 bahaya kategori *Low Risk* (No. 3 paparan asap *welding* dan No. 4 kebisingan). Temuan ini sejalan dengan penelitian Rahman et al. (2025) yang menyatakan bahwa paparan radiasi UV dan risiko yang berkaitan dengan tabung gas bertekanan merupakan bahaya dominan pada aktivitas pengelasan fabrikasi. Meskipun risiko paparan asap *welding* (No. 3) berada pada kategori *Low Risk*, evaluasi lapangan menunjukkan bahwa perusahaan perlu terus melakukan pemantauan dan evaluasi efektivitas pengendalian yang telah diterapkan, seperti penggunaan respirator dan pemasangan *Local Exhaust Ventilation* (LEV). Selain itu, perusahaan belum memiliki data hasil pengukuran kualitas udara kerja, khususnya kadar mangan (Mn), sehingga tingkat paparan pekerja terhadap asap las belum dapat dievaluasi secara kuantitatif. Oleh karena itu, pengukuran lingkungan kerja secara berkala tetap diperlukan untuk memastikan efektivitas pengendalian yang ada serta mendukung peningkatan kinerja K3 dan Green Productivity secara berkelanjutan.

Matriks Integrasi GP–HIRARC

Integrasi menghasilkan temuan kunci: seluruh 7 bahaya berkorelasi dengan ≥ 1 indikator GP. Hubungan bersifat sinergis dua arah pengendalian K3 memperbaiki indikator GP, dan sebaliknya. Ini membuktikan bahwa pemisahan program K3 dan GP tidak efisien, karena banyak intervensi yang dapat memberikan manfaat ganda.

Tabel 4. Matriks Integrasi HIRARC – Green Productivity

Bahaya K3 (HIRARC)	Risk Awal	Indikator GP	Mekanisme Sinergi	Opsi GP	Dampak Ganda (K3 + GP)
Suhu – Percikan las (No.1)	M (D,3)	EPI-4 EPI-1	Kalibrasi arus SMAW → spatter ↓ → konsumsi energi lebih efisien → risiko luka bakar ↓	GP-02	K3: M→L EPI-1 est. +10 poin EPI-4 ≥95 dipertahankan
Kimia – Kebakaran (No.2)	M (D,3)	EPI-3 EPI-4	Hot work permit + spatter kontrol → risiko kebakaran ↓ → EPI-3 (slag) dan EPI-4 terjaga	GP-02, 09	K3: M→L EPI-3 (92) dan EPI-4 (95) dipertahankan
Kimia – Asap welding (No.3)	L (D,2) [gap kritis]	EPI-6 (belum terukur)	LEV + respirator N95 → kadar Mn terkendali → EPI-6 dapat dihitung pasca-implementasi	GP-06, 08	K3: gap pengendalian tertutup EPI-6 aktif GPI lebih akurat
Suara – Kebisingan (No.4)	M (C,3)	Produktivitas TK	Alat kebisingan rendah → konsentrasi operator ↑ → stub loss ↓ → EPI-2 membaik	GP-07	K3: M→L EPI-2 est. +3–5 poin dari penurunan stub loss
Listrik – Kesetrum (No.5)	M (C,2)	EPI-1	ELCB + inspeksi rutin → cegah korsleting idle → konsumsi energi tidak terbuang	GP-05	K3: M→L EPI-1 efisiensi energi idle +5–8%
Radiasi – Sinar UV (No.6)	H (C,3)	Produktivitas TK	Helm auto-darkening + welding curtain → kenyamanan ↑ → output/jam ↑ 2–3%	GP-07, 09	K3: H→L Produktivitas lap +2–3%; EPI-2 est. meningkat
Tekanan – Tabung gas (No.7)	H (C,3)	EPI-5 (CO ₂)	Cradle + SOP + optimasi flow rate CO ₂ (12–14 L/mnt) → konsumsi gas efisien dan aman	GP-03	K3: H→L EPI-5: dari 50,8 → target ≤45 L/smb (+5 poin)

Sumber: Analisis integrasi penelitian (2026)

GP-02 (kalibrasi arus SMAW) memiliki dampak terluas karena secara bersamaan memperbaiki EPI-1 (energi), EPI-2 (material melalui efisiensi deposisi), EPI-4 (*spatter*), dan menurunkan risiko K3 No.1 dari *Moderate* ke *Low*. Dibandingkan dengan penelitian Rahman et al. (2025) yang berfokus pada pengendalian K3 tanpa mengukur dampak efisiensi, dan Meng et al. (2024) yang mengoptimalkan energi tanpa mempertimbangkan K3, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi menghasilkan 2–3 kali lebih banyak manfaat per intervensi.

Validasi dan Prioritas Opsi Green Productivity

Tabel 5. Hasil Evaluasi Multi-Criteria Scoring dan BCR Opsi Green Productivity

Kode	Opsi Green Productivity	Teknis (1–5)	Ling.&K3 (1–5)	Ekonomi (1–5)	Skor Total	BCR (est.)
GP-01	Bentuk Tim GP formal + program kerja tahunan	5	5	4	14	—
GP-02	Kalibrasi arus SMAW + SOP parameter pengelasan tertulis	5	4	5	14	3,2
GP-03	Optimasi flow rate CO ₂ MIG (12–14 L/mnt) + cek fitting	5	4	5	14	2,8
GP-04	Program limbah B3: pemisahan + log harian + penjualan slag/stub	4	5	4	13	5,4
GP-05	Manajemen energi: SOP matikan mesin idle ≥ 10 mnt; timer otomatis	5	3	4	12	4,1
GP-06	Pasang LEV fixed zona SMAW + wajibkan respirator N95/P100	4	5	3	12	1,8*
GP-07	Training welder sertifikasi BNSP/BWI — efisiensi deposisi	4	4	5	13	3,6
GP-08	Pengukuran LK (Balai K3): Mn, kebisingan dB, suhu	4	5	3	12	—
GP-09	Welding curtain permanen + APAR tiap titik las + hotwork permit	5	5	3	13	2,2
GP-10	Meja las adjustable + rotasi kerja tiap 2 jam	3	4	4	11	1,9

* BCR GP-06 lebih rendah karena investasi LEV besar; namun manfaat kesehatan jangka panjang tidak tercakup dalam estimasi konservatif ini. Sumber: penilaian bersama supervisor dan HSE (11 Mei 2026)

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan tiga kesimpulan berbasis data aktual. Pertama, kondisi baseline GP area welding PT Andalan Fluid Sistem menunjukkan EPI Gabungan 83,75/100 (kategori Baik) berdasarkan 5 indikator terukur. Energi adalah indikator terkritis (EPI-1 = 68,5, kategori Cukup) akibat empat faktor yang teridentifikasi melalui *root cause analysis*: arus tidak terstandar, mesin idle berkepanjangan, sistem MIG aktif terus-menerus, dan absennya monitoring energi real-time. Limbah 19,60 kg/10 hari (11,56% dari input) seluruhnya dibuang tanpa pengolahan.

Kedua, analisis HIRARC mengidentifikasi 7 bahaya dengan 2 High (radiasi UV C,3 dan tekanan tabung gas C,3), 3 Moderate, dan 2 Low. Kesenjangan kritis ditemukan pada pengendalian asap welding (No.3), walaupun dinilai Low dalam dokumen HIRARC, lapangan menunjukkan masker kain digunakan alih-alih respirator N95, tidak ada LEV, dan kadar Mn tidak pernah diukur.

Ketiga, matriks integrasi GP–HIRARC membuktikan seluruh 7 bahaya berkorelasi dengan ≥ 1 indikator GP, mengonfirmasi bahwa program K3 dan GP yang terpisah tidak efisien. GP-02 (kalibrasi arus SMAW) memiliki dampak terluas memperbaiki EPI-1, EPI-2, EPI-4 sekaligus menurunkan risiko No.1 dari *Moderate* ke *Low*.

Penelitian ini memiliki enam keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasi hasil. Pertama, durasi pengukuran 10 hari kerja belum sepenuhnya merepresentasikan variasi produksi jangka panjang (musiman, pergantian produk, variasi operator); disarankan pengukuran 30–60 hari untuk baseline yang lebih robust. Kedua, EPI-6 tidak dapat dihitung karena absennya data pengukuran kualitas udara ini merupakan keterbatasan data yang berdampak pada kelengkapan profil lingkungan kerja. Ketiga, seluruh rekomendasi masih berupa usulan tervalidasi, belum diimplementasikan; nilai GPI aktual pasca-implementasi perlu diukur pada studi lanjutan. Keempat, benchmark EPI-5 (CO₂) dan EPI-4 (*spatter*) ditetapkan dengan komponen data historis internal yang belum dipublikasikan, sehingga reproduktibilitas benchmark memerlukan transparansi data tambahan. Kelima, validasi opsi GP dilakukan melalui diskusi terstruktur dengan manajemen perusahaan, metode analisis keputusan formal (AHP atau TOPSIS) akan menghasilkan prioritas yang lebih objektif. Keenam, cakupan penelitian terbatas pada area welding, sehingga potensi inefisiensi dan bahaya K3 pada proses lain (*machining, finishing*) belum tercakup.

DAFTAR PUSTAKA

- Asian Productivity Organization (APO). (2006). Green Productivity Training Manual. Tokyo: APO.
- AWS D1.1/D1.1M. (2020). Structural Welding Code — Steel. Miami: American Welding Society.
- International Labour Organization (ILO). (2013). Keselamatan dan Kesehatan Kerja: Sarana untuk Produktivitas. Jakarta: ILO.
- International Organization for Standardization. (2004). ISO 544: Welding consumables — Technical delivery conditions for welding filler materials. Geneva: ISO.
- Kementerian Ketenagakerjaan RI. (2018). Peraturan Menteri Ketenagakerjaan No. 5 Tahun 2018 tentang K3 Lingkungan Kerja. Jakarta.
- Kementerian Ketenagakerjaan RI. (2022). Profil Keselamatan dan Kesehatan Kerja Nasional Indonesia Tahun 2022. Jakarta.
- Meng, R. H., Wang, Z. Y., Zeng, W. H., et al. (2024). Research on Low Carbon Welding Scheduling Based on Production Process. *Scientific Reports*, 14, 28704. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-79555-0>
- Nopiani, A., Yulianto, B., & Makomulamin, M. (2021). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja dengan Metode HIRARC pada Kegiatan Pengelasan di PT. Kunango Jantan. *Media Kesmas*, 1(3), 935–948. <https://doi.org/10.25311/kesmas.vol1.iss3.184>
- Pasaribu, A., Irzal, I., & Purwantono, P. (2022). Analisa Perbandingan Hasil Pengelasan SMAW dan Las MIG terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Rendah ST37. *Jurnal VoMek*, 4(2), 39–41.
- Putri, D., Farhan, F., Raiha, G., Fadli, M. R., & Hidayat, M. K. (2023). Pengukuran Produktivitas Menggunakan Metode Green Productivity untuk Meningkatkan Produktivitas dalam Penanganan Limbah Cair. *IMTechno*, 4(2).
- Rahman, A. N., Fitra, A., & Intani, A. E. (2025). Implementasi K3 pada Proses Welding di PT Chandra Nugerah Cipta Menggunakan Metode HIRARC. *JUTIN*, 8(3), 2458–2466. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i3.45965>

- Salma, R., & Handayani, W. (2024). Implementation of Green Productivity Through Wood Waste Processing. *Kontigensi*, 12(2), 955–970. <https://doi.org/10.56457/jimk.v12i2.681>
- Sehatta, M. R., & Widodo, A. B. W. (2025). Risk Analysis in the Fabrication Workshop Using the Hirarc Method at PT. XYZ. *Zona Laut*, 340–356. <https://doi.org/10.62012/zi.vi.46179>
- Smarandana, G., Momon, A., & Arifin, J. (2021). Penilaian Risiko K3 pada Proses Pabrikasi Menggunakan Metode HIRARC. *INTECH UNSERA*, 7(1), 56–62.
- Standards Australia/Standards New Zealand. (2004). AS/NZS 4360:2004 Risk Management. Sydney.
- Stavropoulos, P. (2024). The Role of Sustainability in the Welding Process. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06976-w>
- Wisudawati, T. (2022). Pengendalian Bahaya K3 Menggunakan Metode HIRARC di Bengkel Las Bintang Jaya Steel. *JAPTI*, 3(1), 45–51.
- Xydea, E., Panagiotopoulou, V. C., & Stavropoulos, P. (2024). Comprehensive Review on Welding Technologies towards Sustainability. *Procedia CIRP*, 120, 1–6.