



Penerapan Teknologi *Smartlase Coding Laser* Sebagai Inovasi Pengurangan Limbah B3 pada Proses Produksi

I Putu Oka Sutrisna¹, I Gusti Ngurah Adia Atmika²

¹Prodi Teknik Elektro, Universitas Udayana

²Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Yogyakarta

E-mail : iputu.sutrisna@danone.com¹, gusti.atmika@danone.com²

Article Info

Article history:

Received October 10, 2025

Revised October 13, 2025

Accepted October 20, 2025

Keywords:

Smartlase Coding Laser, B3 Waste, Green Manufacturing

ABSTRACT

The issue of hazardous and toxic waste (B3) in the manufacturing industry remains a critical concern in the implementation of clean and sustainable production. One of the sources of B3 waste originates from the production code printing process using ink- and solvent-based coding machines. The innovation of Smartlase Coding Laser technology was developed to replace the ink-based coding system on the AQUA 1500 ml production line (SPS Line). This study aims to measure the effectiveness of laser technology in reducing B3 waste and lowering operational costs. A quantitative descriptive method with a case study approach on the production line was employed. The results show that the implementation of the Smartlase Coding Laser successfully reduced B3 waste by up to 0.03 tons per year and generated cost savings of IDR 2,000,000 per year from reduced purchases of cleaning rags and waste treatment costs. This innovation demonstrates the effectiveness of laser technology in supporting green manufacturing, energy efficiency, and the sustainability of the beverage packaging production process.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received October 10, 2025

Revised October 13, 2025

Accepted October 20, 2025

Kata Kunci:

Smartlase Coding Laser, Limbah B3, Green Manufacturing

ABSTRAK

Permasalahan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) di industri manufaktur masih menjadi isu krusial dalam penerapan produksi bersih dan berkelanjutan. Salah satu sumber limbah B3 berasal dari proses pencetakan kode produksi menggunakan mesin coding berbasis tinta dan solvent. Inovasi penerapan *Smartlase Coding Laser* dikembangkan untuk menggantikan sistem coding tinta pada lini produksi AQUA 1500 ml (SPS Line). Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas penggunaan teknologi laser dalam mengurangi limbah B3 dan menurunkan biaya operasional. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus di lini produksi. Hasil menunjukkan bahwa penerapan *Smartlase Coding Laser* mampu menurunkan beban limbah B3 hingga 0,03 ton per tahun dan menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp 2.000.000 per tahun dari pengurangan pembelian lap majun serta biaya pengolahan limbah. Inovasi ini membuktikan efektivitas teknologi laser dalam mendukung konsep *green manufacturing*, efisiensi energi, dan keberlanjutan proses produksi industri minuman dalam kemasan.



This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

I Putu Oka Sutrisna

Universitas Udayana

Email: iputu.sutrisna@danone.com

PENDAHULUAN

Industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) beroperasi pada volume produksi tinggi sehingga membutuhkan penandaan (*coding*) produk yang cepat, presisi, andal, dan konsisten demi memastikan traceability serta pemenuhan standar keamanan pangan. Praktik umum di lini *filling–packing* adalah penggunaan mesin coding berbasis tinta dan pelarut (*continuous inkjet/CIJ*) yang memerlukan *consumable* berupa tinta, *make-up* atau *solvent*, serta cairan pembersih saat perawatan (*maintenance*). Aktivitas ini menimbulkan residu lap majun atau kain pembersih yang terkontaminasi bahan kimia dan secara hukum diklasifikasikan sebagai Limbah B3 (kategori “kain majun bekas dan sejenis”) sehingga wajib dikelola khusus sesuai regulasi Indonesia (Kementerian LHK, 2021; Tono, 2000). Peningkatan *throughput* produksi berdampak langsung pada frekuensi perawatan *head printer*, *purge/flush*, dan *cleaning* komponen sehingga memperbesar timbulan limbah B3 pada area *coding and maintenance*. Selain kewajiban penyimpanan, pengangkutan, dan pengolahan sesuai izin, pengelolaan limbah B3 menimbulkan biaya operasional tambahan, mulai dari pengemasan, *manifest*, transportasi, hingga pengolahan akhir yang dalam berbagai pedoman biaya pemerintah juga dicontohkan untuk kategori limbah terkontaminasi tinta/pelarut (Kementerian LHK, 2021). Dari sisi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), penggunaan tinta dan pelarut printing berkaitan dengan emisi *Volatile Organic Compounds* (VOCs) di area kerja. Studi pada industri percetakan menunjukkan paparan VOCs dari tinta atau *solvent* dapat meningkatkan risiko gangguan pernapasan, iritasi kulit, serta dampak sistemik (hati, ginjal, sistem saraf), bahkan pada paparan jangka panjang dan konsentrasi di bawah nilai ambang batas tertentu (Pongboonkhumlarp et al., 2022).

Salah satu solusi substitusi proses yang kian diadopsi di industri minuman adalah laser *coding* misalnya keluarga *SmartLase* yang menandai permukaan kemasan menggunakan energi sinar, tanpa tinta dan tanpa pelarut. Secara teknis, laser menghasilkan kode permanen dengan perawatan minimal serta tanpa *consumable*, sehingga sumber pembentuk limbah B3 (tinta atau *solvent* dan lap majun terkontaminasi) dieliminasi. Kasus implementasi pada manufaktur minuman menunjukkan perpindahan dari beberapa printer inkjet ke unit laser dapat meningkatkan keandalan, menekan *downtime*, dan mendukung tujuan lingkungan perusahaan (Markem-Imaje, 2024). Dari perspektif *green manufacturing* dan *cleaner production*, substitusi teknologi ke laser coding berkontribusi pada: (a) pencegahan limbah di hulu (*no-ink* atau *no-solvent*, tidak ada lap majun terkontaminasi), (b) pengurangan jejak logistik limbah dan kebutuhan bahan habis pakai, serta (c) potensi efisiensi energi melalui rancangan sistem pendinginan yang lebih hemat pada generasi laser terbaru. Secara paralel, kajian LCA pada sektor pencetakan atau kemasan menunjukkan bahwa perubahan teknologi pencetakan yang



mengurangi bahan kimia dan limbah proses mampu menurunkan beban lingkungan dan timbulan limbah secara bermakna (Kozake et al., 2021; Tono, 2000). Dengan mempertimbangkan kewajiban regulasi B3, risiko K3, serta biaya pengelolaan limbah, penerapan *SmartLase Coding Laser* pada lini AMDK menjadi langkah strategis menuju produksi bersih dan ekonomi sirkular. Bukti dari praktik industri dan kajian teknis ekonomi menunjukkan *laser* semakin dipilih karena kode tahan lama, minim perawatan, dan tanpa *consumable*, sekaligus selaras dengan tren keberlanjutan di sektor minuman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penerapan *Smartlase Coding Laser* dalam mengurangi limbah B3 pada proses produksi, mengidentifikasi besaran penghematan biaya operasional akibat berkurangnya penggunaan bahan kimia dan pengolahan limbah, serta menganalisis kontribusi penerapan teknologi laser terhadap implementasi *green manufacturing* di industri air minum dalam kemasan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di PT Tirta Investama (Danone-AQUA) Pabrik Mambal, berlokasi di Desa Mambal, Kecamatan Abiansema, Kabupaten Badung, Provinsi Bali. Lokasi ini dipilih secara *purposive* karena merupakan salah satu fasilitas produksi AMDK terbesar di Bali yang telah menerapkan prinsip *green manufacturing* dan sedang dalam proses transisi teknologi *coding* dari sistem tinta ke *Smartlase Coding Laser*. Penelitian dilaksanakan pada periode Januari hingga Juni 2025. Jenis penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus, yang bertujuan untuk menganalisis perubahan nyata sebelum dan sesudah penerapan *Smartlase*. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan gambaran empiris terkait pengurangan limbah B3, efisiensi biaya operasional, dan dampak teknis terhadap keberlanjutan proses produksi. Analisis deskriptif kualitatif dilakukan untuk memperkuat interpretasi hasil dari sisi lingkungan dan keselamatan kerja (K3L).

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap aktivitas mesin *coding* pada lini produksi AQUA 1500 ml (SPS Line), termasuk pencatatan volume limbah lap majun, frekuensi *maintenance*, dan waktu *downtime* mesin. Data sekunder diperoleh dari dokumen internal perusahaan seperti laporan pengelolaan limbah B3, data biaya operasional *maintenance*, serta literatur ilmiah dan regulasi terkait pengelolaan limbah B3 dan teknologi *coding laser*. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, dokumentasi data operasional, dan wawancara semi-terstruktur (jika diperlukan) dengan Supervisor Produksi dan Tim K3L. Selain itu, studi literatur digunakan untuk memperkuat dasar teoretis dan pembahasan hasil penelitian, khususnya yang berkaitan dengan *cleaner production*, *circular economy*, dan efisiensi operasional industri. Analisis data dilakukan menggunakan metode deskriptif komparatif, yaitu membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan *Smartlase Coding Laser*. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif komparatif, dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan *Smartlase*. Perhitungan dilakukan sebagai berikut:

a. Pengurangan Limbah B3 (ton/tahun)

$$\text{Pengurangan Limbah} = (L_{\text{sebelum}} - L_{\text{sesudah}})$$



b. Efisiensi Biaya Operasional (Rp/tahun)

$$\text{Penghematan} = (C_{\text{tinta}} - C_{\text{laser}}) + (B_{\text{limbah sebelum}} - B_{\text{limbah sesudah}})$$

- c. Analisis Kualitatif, mengevaluasi dampak teknologi terhadap produksi bersih, risiko K3, dan kontribusi terhadap green manufacturing sesuai konsep *cleaner production* dan *circular economy* (UNIDO, 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas Penerapan *Smartlase Coding Laser* Dalam Mengurangi Limbah B3

Sebelum penerapan *Smartlase Coding Laser*, sistem *coding* berbasis tinta pada lini produksi AQUA 1500 ml menghasilkan limbah B3 berupa lap majun atau kain pembersih yang digunakan selama proses maintenance mesin. Berdasarkan data historis perusahaan, total limbah B3 yang dihasilkan mencapai 0,03 ton per tahun, yang seluruhnya dikategorikan sebagai limbah B3 kode B110d atau lap majun bekas pelarut organik menurut regulasi KLHK (2021). Besarnya volume limbah tersebut sejalan dengan karakter industri *high-throughput* yang membutuhkan proses pembersihan berkala untuk mencegah *clogging* pada *head printer* berbasis tinta. Jumlah limbah ini terutama berasal dari aktivitas *purge*, *flush*, dan pembersihan manual head printer yang dilakukan setiap 4–6 jam operasi. Studi oleh Pongboonkhumlar et al. (2022) juga melaporkan bahwa industri yang menggunakan sistem kode berbasis pelarut menghasilkan rata-rata 0,03–0,05 ton limbah lap majun per tahun per lini produksi menunjukkan angka yang berada pada kategori limbah kimia aktif dengan risiko kesehatan langsung bagi pekerja. Hal ini diperkuat oleh Alabdulhadi et al. (2019), yang menegaskan bahwa residu solvent printing mengandung VOCs yang bersifat toksik dan persisten.

Setelah penerapan *Smartlase Coding Laser*, observasi selama periode pengujian menunjukkan penurunan limbah B3 menjadi 0,00 ton/tahun (*zero waste*) karena sistem laser tidak menggunakan tinta, solvent, maupun lap majun untuk *maintenance*. Laser bekerja secara digital dengan menembakkan energi sinar (*photon-based marking*) ke permukaan kemasan, sehingga tidak menghasilkan sisa material atau residu kimia di sepanjang proses operasinya. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Kozake et al. (2021), yang menyebutkan bahwa teknologi *laser coding* secara prinsip adalah “*zero consumable process*” dalam industri kemasan dan minuman. Pencapaian nol limbah B3 ini memiliki relevansi langsung terhadap konsep *cleaner production* (produksi bersih), yaitu pendekatan preventif yang berfokus pada penghilangan sumber polusi sejak awal proses, bukan sekadar pengolahan limbah di tahap akhir (*end-of-pipe treatment*). Hal ini sejalan dengan definisi UNIDO (2021) yang menyatakan bahwa “*upstream elimination*” merupakan tahap paling superior dalam hierarki pengelolaan limbah industri. Studi Sitorus & Handayani (2023) pada industri makanan dan minuman juga mendukung bahwa teknologi berbasis laser merupakan salah satu bentuk transformasi ke arah *zero chemical waste operation*. Lebih jauh, data ini menunjukkan bahwa *Smartlase Coding Laser* tidak hanya mengurangi limbah, tetapi mengeliminasi kebutuhan pengolahan limbah B3 secara keseluruhan. Dalam konteks operasional industri, ini memberikan dampak langsung terhadap penghapusan biaya penyimpanan limbah sementara (TPS B3), biaya manifest tracking, serta biaya pengangkutan dan destruksi ke pengolah limbah pihak ketiga. Dalam



pergeseran dari CIJ ke *laser coding* dapat memangkas hingga 100% biaya pengelolaan limbah B3, terutama pada perusahaan yang sebelumnya bergantung pada sistem pembersihan berbasis lap majun.



Gambar 1. Penerapan Teknologi *Smartlase Coding Laser* Sebagai Inovasi Pengurangan Limbah B3 Pada Proses Produksi Di Lini SPS

Berdasarkan hasil penelitian, dalam sisi ekologis, eliminasi limbah B3 juga berdampak positif terhadap penurunan jejak karbon tidak langsung (*scope 3 emissions*), karena mengurangi siklus logistik pengangkutan limbah berbahaya, yang umumnya membutuhkan kendaraan dengan standar keamanan khusus dan melalui perjalanan jarak jauh menuju fasilitas pengolahan. Menurut UNEP (2022), inovasi seperti ini tergolong dalam kategori *eco-efficient deep reduction*, yang lebih diprioritaskan dibandingkan pendekatan kompensasi atau penanganan akhir seperti insinerasi. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tidak adanya limbah lap majun secara langsung meningkatkan kualitas lingkungan kerja di area produksi. Berdasarkan hasil wawancara dengan Tim K3 internal, proses *coding* menjadi lebih bersih, tidak menimbulkan bau kimia, dan tidak lagi membutuhkan area penyimpanan limbah B3 sementara. Kondisi ini sejalan dengan pernyataan Rahmawati (2022) bahwa produksi bebas limbah (*zero waste manufacturing*) merupakan indikator kematangan implementasi *green manufacturing* dalam industri FMCG dan AMDK. Dengan demikian, eliminasi limbah B3 sebesar 100% (dari 0,03 ton/tahun menjadi 0,00 ton/tahun) melalui teknologi *Smartlase* bukan hanya sekadar bentuk efisiensi teknis, tetapi telah memenuhi prinsip tertinggi dalam hierarki keberlanjutan manufaktur modern, yaitu menghapus jejak limbah sejak sumbernya, bukan sekadar mengolahnya. Hasil ini secara empiris memperkuat bahwa *Smartlase Coding Laser* sangat layak untuk direkomendasikan sebagai teknologi substitusi permanen di seluruh lini produksi AMDK di Indonesia.

Efisiensi Biaya Operasional

Efisiensi ekonomi merupakan indikator penting dalam evaluasi penerapan teknologi baru di lingkungan industri. Pada kasus penerapan *Smartlase Coding Laser* di lini produksi



AQUA 1500 ml, hasil observasi menunjukkan adanya penghematan biaya operasional sebesar Rp 2.000.000 per tahun, yang bersumber dari penghapusan kebutuhan pembelian lap majun untuk pembersihan mesin dan eliminasi total biaya pengelolaan limbah B3, seperti transportasi, penyimpanan sementara (TPS B3), dan destruksi melalui pihak ketiga. Temuan ini memperkuat bahwa dampak ekonomi yang dihasilkan bukan sebatas pengurangan biaya, melainkan penghapusan biaya rutin yang sifatnya *unavoidable* pada sistem tinta (Wardana & Prasetyo, 2024). Sebelum implementasi *Smartlase*, sistem coding berbasis tinta memerlukan pembelian lap majun secara berkala untuk pembersihan head printer. Lap majun ini tidak hanya menjadi biaya bahan habis pakai, tetapi juga menimbulkan biaya tambahan berupa biaya pengemasan limbah, *manifest tracking*, dan disposal B3, karena diklasifikasikan sebagai limbah berbahaya *kode B110d* (KLHK, 2021). Artinya, perusahaan membayar dua kali: biaya membeli bahan dan biaya membuang limbahnya, sebuah fenomena yang disebut *double-cost loop* dalam studi efisiensi manufaktur (Rahmawati, 2022).

Penerapan *Smartlase Coding Laser*, seluruh biaya terkait lap majun dan pengelolaan limbah B3 lenyap sepenuhnya, karena sistem ini tidak menggunakan bahan kimia sama sekali. Hasil ini sejalan dengan laporan *Packaging Europe* (2024) yang menyatakan bahwa sistem *laser coding* mampu menghilangkan 100% biaya pengadaan *consumable*, termasuk tinta, *solvent*, dan lap majun, sehingga menghasilkan baseline biaya operasional mendekati nol. Hal ini membuat teknologi laser lebih stabil secara ekonomi dibandingkan sistem tinta yang sangat bergantung pada fluktuasi harga bahan kimia impor. Lebih jauh lagi, hilangnya kebutuhan *procurement* bahan habis pakai berdampak langsung pada efisiensi rantai pasok (*supply chain*). Sistem laser tidak membutuhkan inventori cadangan *consumable*, sehingga mengurangi beban logistik, risiko keterlambatan pasokan, dan biaya penyimpanan gudang. Hasil ini konsisten dengan temuan McDermott et al. (2023), yang menyebut teknologi *low-consumable* sebagai “*strategic resilience enabler*” dalam menghadapi volatilitas biaya global pasca-pandemi. Dalam konteks industri AMDK, stabilitas operasional semacam ini sangat krusial karena produksi berjalan 24 jam tanpa toleransi *downtime*. Walaupun investasi awal teknologi laser lebih tinggi daripada sistem coding tinta, berbagai penelitian menunjukkan bahwa *payback periode* relatif cepat, yaitu 1–3 tahun tergantung volume produksi. Dalam konteks ini, penghematan Rp 2 juta per tahun merupakan hasil konservatif hanya dari aspek limbah B3 dan lap majun, belum termasuk penghapusan kebutuhan tinta, *solvent*, *cleaning fluid*, dan pengurangan *downtime* mesin. Sementara itu, sistem tinta memiliki biaya tetap tahunan yang terus bertambah seiring kenaikan volume produksi (Wardana & Prasetyo, 2024).

Efisiensi biaya operasional juga dapat ditinjau dari perspektif ekonomi sirkular, di mana teknologi laser tidak menghasilkan limbah residu sehingga mendukung prinsip *decoupling* antara aktivitas produksi dan konsumsi sumber daya (UNEP, 2022). Dalam banyak studi industri, penghapusan biaya limbah dikategorikan sebagai *eco-efficiency improvement*, bukan semata *cost saving*, karena berdampak langsung pada pengurangan risiko regulasi dan peningkatan reputasi perusahaan (Rahmawati, 2022). Hal ini penting karena perusahaan tidak lagi “membayar untuk menghasilkan limbah”. Selain alasan finansial, efisiensi biaya ini juga memberikan keuntungan strategis dalam konteks kepatuhan terhadap regulasi pemerintah, terutama regulasi pengetatan izin pengelolaan limbah, audit lingkungan, dan sertifikasi *green industry* (KLHK, 2023). Dengan tidak adanya limbah B3 sama sekali, perusahaan tidak lagi



membutuhkan TPS B3, agen pengolah limbah eksternal, maupun pelaporan *manifest* berkala, yang secara administratif menyederhanakan proses *compliance*. Dengan demikian, penerapan *Smartlase Coding Laser* dinyatakan sangat efektif secara ekonomi, karena tidak hanya menurunkan biaya operasional, tetapi juga menghapus biaya struktural yang selama ini tidak dapat dihindari pada teknologi *coding* berbasis tinta. Hasil ini memperkuat posisi teknologi laser sebagai solusi ideal dalam mendukung transformasi manufaktur menuju *green efficiency* dan *zero-waste operations*, seperti yang direkomendasikan oleh UNIDO (2021) dalam roadmap industri berkelanjutan.

Implementasi *Green Manufacturing* Di Industri Air Minum Dalam Kemasan

Penerapan *Smartlase Coding Laser* dalam industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) bukan hanya berdampak pada pengurangan limbah B3, tetapi juga menunjukkan kontribusi nyata terhadap implementasi *green manufacturing*. Teknologi ini bekerja tanpa bahan habis pakai seperti tinta atau solvent, sehingga menghasilkan nol limbah kimia (*zero chemical waste*) serta menghilangkan kebutuhan aktivitas *cleaning* yang berpotensi menghasilkan kontaminan berbahaya di area produksi (UNIDO, 2021). Dengan menghilangkan sumber limbah, *Smartlase* memenuhi prinsip tertinggi produksi bersih yaitu eliminasi limbah dari hulu, bukan sekadar mitigasi hilir. Dari aspek efisiensi energi, teknologi laser generasi terbaru seperti *Smartlase C600* dan *F250* dirancang menggunakan sistem pendinginan udara (*air cooling*) yang terbukti lebih hemat energi dibandingkan sistem pendinginan cairan (*water cooling*) yang digunakan pada printer CIJ berbasis tinta. Kozake et al. (2021) dalam studi *Life Cycle Assessment* (LCA) menunjukkan bahwa transisi dari teknologi printing berbasis tinta ke laser coding dapat menurunkan jejak energi proses produksi hingga 18–25% secara keseluruhan, tergantung skala operasional dan kapasitas lini produksi yang digunakan.

Keunggulan lain dari *Smartlase* adalah peningkatan kualitas lingkungan kerja dan keselamatan operator (K3). Karena sistem laser tidak menghasilkan uap pelarut atau partikulat volatil seperti solvent printing, area kerja menjadi lebih bersih, bebas bau kimia, dan aman dari risiko inhalasi VOCs. Pongboonkhumlarp et al. (2022) menegaskan bahwa pengurangan paparan VOC sangat penting untuk mencegah gangguan sistem saraf dan paru-paru pada pekerja industri. Dengan demikian, *Smartlase* bukan hanya efisien secara operasional tetapi juga secara langsung memperkuat perlindungan kesehatan tenaga kerja. Secara operasional, *Smartlase* memberikan peningkatan signifikan dalam aspek akurasi, stabilitas *marking*, dan kecepatan produksi. Studi Markem-Image (2024) menemukan bahwa sistem laser memberikan *zero smudge printing* karena tidak menggunakan tinta basah, sehingga kode produksi tetap presisi meskipun kemasan bergerak dengan kecepatan tinggi hingga 72.000 botol/jam. Hal ini selaras dengan tuntutan industri AMDK yang beroperasi secara high-throughput dan memerlukan *traceability* yang konsisten untuk memenuhi standar BPOM dan ISO 22000.

Penerapan *Smartlase* juga memperkuat implementasi ekonomi sirkular dalam operasional perusahaan. Karena tidak menggunakan bahan kimia sama sekali, teknologi ini menghentikan sepenuhnya *linear chain* “*procure* → *use* → *disposal*” yang umum terjadi pada printer tinta konvensional (UNEP, 2022). Menurut teori *circular economy*, teknologi *non-consumable* seperti laser dikategorikan sebagai “*full detachment technology*”, yaitu pendekatan yang melepaskan kebutuhan industri dari ketergantungan pada sumber daya terbatas dan



menghasilkan sistem operasional yang sepenuhnya bersih dan efisien. Dari sudut pandang tata kelola lingkungan dan kepatuhan regulasi, penerapan *Smartlase* membantu perusahaan memenuhi kriteria Industri Hijau (Peraturan Kemenperin No. 12/2023) tanpa harus melakukan investasi terpisah untuk pengelolaan limbah atau sertifikasi lingkungan. Teknologi ini bahkan mendukung otomatis integrasi ke dalam ISO 14001: *Environmental Management System*, karena tidak menimbulkan aliran limbah berbahaya sama sekali, sehingga mengurangi beban administrasi pelaporan *manifest* dan *audit compliance* (Hermanto & Wijaya, 2023). Secara strategis, transformasi menuju teknologi seperti *Smartlase* bukan hanya menghadirkan efisiensi internal, tetapi juga memberi nilai tambah reputasional dan positioning merek. Perusahaan yang mampu menerapkan produksi bebas limbah cenderung memperoleh persepsi positif dari konsumen dan investor, terutama dalam industri FMCG berbasis kesehatan seperti AMDK. Dalam konteks global, pergeseran teknologi ini selaras dengan target *Sustainable Development Goals* (SDGs) 12-*Responsible Consumption and Production*. Dengan demikian, implementasi *smartlase coding laser* terbukti tidak hanya meningkatkan efisiensi biaya dan operasional, tetapi juga menunjukkan komitmen perusahaan terhadap *sustainability transformation*, berbasis pada teknologi bersih, bebas limbah, aman bagi pekerja, dan mendukung skema ekonomi sirkular. Oleh karena itu, *Smartlase* dapat dikategorikan bukan sekadar sebagai alat produksi, tetapi sebagai *strategic enabler* untuk menjadikan industri AMDK menuju *green manufacturing* tingkat lanjut secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penerapan *smartlase coding laser* terbukti sangat efektif dalam menghilangkan timbulan limbah B3 yang sebelumnya dihasilkan dari sistem coding berbasis tinta, dengan capaian pengurangan limbah sebesar 0,03 ton per tahun disertai penghematan biaya operasional mencapai Rp 2.000.000 per tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa implementasi teknologi laser bukan hanya memberikan manfaat efisiensi biaya, tetapi juga mendukung penerapan *cleaner production*, peningkatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), serta penguatan strategi *green manufacturing* dan ekonomi sirkular di industri AMDK. Dengan demikian, teknologi ini layak direkomendasikan sebagai solusi substitusi permanen untuk menggantikan metode berbasis tinta pada lini produksi industri sejenis, dan berpotensi direplikasi pada skala nasional untuk mempercepat transformasi menuju industri rendah limbah dan lebih berkelanjutan.

SARAN

1. Bagi perusahaan, disarankan agar penerapan *Smartlase Coding Laser* diperluas ke seluruh lini produksi secara bertahap, tidak hanya pada kemasan 1500 ml, untuk memaksimalkan pengurangan limbah B3, efisiensi biaya operasional, serta meningkatkan kepatuhan terhadap regulasi lingkungan dan standar *green manufacturing*.
2. Bagi pengembangan teknologi, perlu dilakukan optimalisasi lanjutan terhadap sistem *Smartlase*, termasuk evaluasi stabilitas performa jangka panjang, konsumsi energi aktual, serta integrasinya dengan sistem otomatisasi dan *Internet of Things (IoT)* untuk mendukung transformasi menuju industri 4.0 yang sepenuhnya presisi dan bebas limbah.



3. Penelitian lebih lanjut direkomendasikan untuk mengkaji dampak implementasi Smartlase secara komprehensif terhadap jejak karbon (carbon footprint), Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA), serta kelayakan ekonomi jangka panjang pada berbagai jenis ukuran produk dan pabrik di wilayah berbeda agar hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan replikasi nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabdulhadi, A., Alhwaity, S., Al-Nasri, H., & Almutairi, A. (2019). Inhalation exposure to volatile organic compounds in the printing industry. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(5), 1–14.
- Hermanto, R., & Wijaya, I. M. (2023). Strategic alignment of ISO 14001 and green industry standards in Indonesian manufacturing companies. *Journal of Environmental Management and Sustainability*, 14(1), 75–89.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Menteri LHK No. 6 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Limbah B3*.
- Kozake, K., Nakamura, T., & Fujimoto, Y. (2021). Environmental impact assessment of flexible package printing using LCA with LIME3. *Sustainability*, 13(17), 9851.
- Markem-Imaje. (2024). *A Taste for Change: Laser & CIJ Coding in the Beverage Industry*.
- McDermott, P., Lawson, D., & Green, J. (2023). Digital manufacturing resilience strategies in fast-moving consumer goods (FMCG) industries. *Journal of Industrial Operations & Sustainability*, 15(2), 114–128.
- Pongboonkhumlar, N., Zhou, Y., & Syed, S. (2022). Health risk analysis from volatile organic compounds and fine particulate matter in the printing industry. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3501–3515.
- Rahmawati, N. (2022). Green manufacturing strategies in modern manufacturing industries. *Jurnal Teknik Industri dan Lingkungan*, 14(2), 87–95.
- Sitorus, A., & Handayani, N. (2023). Cleaner production implementation strategy in beverage packaging industry: A case study in Indonesia. *Journal of Environmental Management and Sustainability*, 12(1), 45–53.
- Tono, H. (2000). *Konsep Pengendalian Limbah Industri dan Produksi Bersih*. Penerbit Andi.
- UNEP. (2022). *Global Circular Economy Roadmap for Sustainable Manufacturing*. United Nations Environment Programme.
- UNIDO. (2021). *Cleaner Production and Resource Efficiency in Industrial Systems*. United Nations Industrial Development Organization.
- Wardana, R., & Prasetyo, A. (2024). Economic feasibility analysis of laser-based coding technology in beverage packaging industry. *Journal of Clean Manufacturing Systems*, 18(1), 45–56.