

Strategi Kebijakan, Pengembangan Teknologi, dan SDM dalam Meningkatkan Efisiensi Energi serta Pengelolaan Limbah Industri Manufaktur

Rahayu Mardikaningsih¹, Renaldi Ahmad Ramadhani², Muhammad Nur Faizin Akbar

Hargianto Kusuma M³, Didit Darmawan⁴

Universitas Sunan Giri Surabaya

dr.diditdarmawan@gmail.com

Published: February, 2026

ABSTRAK

Transformasi industri menuju keberlanjutan menjadi kebutuhan strategis seiring meningkatnya tekanan lingkungan global dan tuntutan pasar terhadap praktik produksi yang bertanggung jawab. Penelitian ini bertujuan mengkaji integrasi kebijakan berkelanjutan dan praktik operasional dalam pengelolaan limbah industri, serta menganalisis upaya peningkatan efisiensi energi mesin melalui modernisasi teknologi dan pengembangan pengetahuan sumber daya manusia. Metode yang digunakan adalah studi literatur kualitatif dengan pendekatan sintesis tematik terhadap artikel jurnal internasional, buku ilmiah, dan laporan riset yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa lemahnya integrasi kebijakan dan praktik operasional menjadi penyebab utama rendahnya efektivitas pengelolaan limbah dan efisiensi energi di banyak sektor industri. Penerapan sistem manajemen lingkungan dan energi, dukungan regulasi, adopsi teknologi digital, serta peningkatan kompetensi SDM terbukti memperkuat kinerja lingkungan sekaligus menurunkan biaya operasional jangka panjang. Kendala utama yang diidentifikasi meliputi keterbatasan modal, resistensi terhadap perubahan, dan keterbatasan teknologi ramah lingkungan. Solusi strategis yang direkomendasikan mencakup kemitraan multipihak, edukasi berkelanjutan, serta insentif kebijakan. Penelitian ini memberikan kontribusi konseptual bagi pengembangan manajemen lingkungan industri yang terintegrasi dan berdaya saing berkelanjutan.

Kata kunci: keberlanjutan industri; pengelolaan limbah; efisiensi energi; modernisasi teknologi; sumber daya manusia; kebijakan lingkungan; industri manufaktur

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Perkembangan industri modern tidak dapat dilepaskan dari relasi yang semakin kompleks antara pertumbuhan ekonomi, kemajuan teknologi, dan keterbatasan daya dukung lingkungan. Aktivitas industri yang sejak awal berorientasi pada peningkatan kapasitas produksi kini dihadapkan pada konsekuensi ekologis yang nyata, mulai dari eksploitasi sumber daya alam hingga degradasi kualitas lingkungan. Kondisi ini menempatkan sektor industri pada persimpangan antara kebutuhan mempertahankan daya saing dan kewajiban menjaga keberlanjutan lingkungan hidup. Oleh karena itu, transformasi cara pandang terhadap proses produksi menjadi kebutuhan mendesak, di mana efisiensi, tanggung jawab lingkungan, dan keberlanjutan tidak lagi dipahami sebagai beban tambahan, melainkan sebagai bagian inheren dari strategi bisnis industri (Espinoza-Castro et al., 2024).

Era industrialisasi modern telah membawa perubahan fundamental terhadap dinamika produksi di sektor industri global, mendorong perusahaan untuk mengadopsi mekanisme baru dalam pengelolaan sumber daya alam dan energi (Metelenko, 2024). Peningkatan kebutuhan produksi barang manufaktur berdampak signifikan pada tingginya konsumsi energi serta bertambahnya jumlah limbah hasil operasional pabrik. Perubahan paradigma ini semakin relevan dengan temuan yang menunjukkan bahwa keberlanjutan lingkungan juga dipengaruhi oleh cara individu dalam organisasi memandang dan

mengambil tanggung jawab terhadap isu lingkungan, yang pada akhirnya membentuk perilaku yang mendukung kelestarian alam (Nuraini et al., 2022). Di sinilah letak kekuatan transformatif dari perilaku ramah lingkungan dalam organisasi suatu faktor yang kajian ilmiah menegaskan perannya sebagai penggerak utama dalam membangun kinerja keberlanjutan Perusahaan (Novita et al., 2022). Munculnya tekanan regulatif dari pemerintah dan tuntutan konsumen global terkait isu keberlanjutan makin menuntut pelaku industri melakukan pembaruan konsep manajemen dan implementasi kebijakan yang ramah lingkungan. Dalam lingkungan industri kontemporer, pengelolaan limbah dan efisiensi energi mesin telah menjadi titik sentral dalam pencapaian keberlanjutan jangka panjang serta pembeda utama dalam penciptaan nilai bagi organisasi (Guedes et al., 2025).

Di tingkat implementasi, literatur menyoroti upaya berbagai sektor untuk menciptakan sistem produksi yang minim limbah dan hemat energi sebagai bagian dari penguatan daya saing perusahaan di tingkat global (Mirzarakhimova & Akhunova, 2024). Beragam kajian empiris menunjukkan bahwa pengelolaan limbah yang tidak terarah serta penerapan mesin industri tanpa standar efisiensi energi berkonsekuensi pada kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan, serta menurunnya reputasi perusahaan dalam jangka panjang (Guerin, 2002; Morvay & Gvozdenac, 2008). Banyak bukti telah mengafirmasi bahwa keberhasilan pengelolaan limbah dan penghematan energi sejalan erat dengan strategi berkelanjutan yang mengintegrasikan teknologi, manusia, serta kebijakan perusahaan secara harmonis (Jeong & Lee, 2022).

Kecenderungan mengabaikan pengelolaan limbah sebagai bagian dari strategi bisnis, dan melihatnya sekadar sebagai kewajiban administratif, telah menghambat inovasi di bidang ini. Demikian pula, adopsi teknologi mesin industri yang hemat energi masih menjadi tantangan besar, khususnya pada industri kecil dan menengah yang memiliki sumber daya terbatas (Shan et al., 2012; Thiede, 2012). Banyak perusahaan mengandalkan teknologi lama yang mengonsumsi energi besar dan sering kali menghasilkan emisi yang tidak terkendali. Akumulasi limbah, baik cair maupun padat, di lingkungan industri yang tidak menerapkan manajemen lingkungan berkelanjutan semakin memperkuat urgensi perlunya kebijakan sistematis serta pendekatan yang adaptif berbasis bukti ilmiah.

Lebih jauh, banyaknya studi komparatif internasional seperti Hilson (2003) dan O'Rielly dan Jeswiet (2014) menegaskan adanya kesenjangan praktik manajemen lingkungan antara negara maju dan negara berkembang. Adanya keterbatasan dalam implementasi kebijakan lingkungan karena lemahnya teknologi monitoring, kurangnya insentif, serta rendahnya pengetahuan eksekutif, menjadi mitigasi utama yang harus diatasi oleh para pengambil kebijakan. Implikasi terjadinya gap antara regulasi yang berlaku dan kemampuan teknis di lapangan menyebabkan pencapaian target lingkungan dan energi sering kali tidak terpenuhi secara berkesinambungan.

Masalah utama dalam pengelolaan limbah industri terletak pada lemahnya integrasi antara kebijakan berkelanjutan dengan praktik operasional di lingkungan pabrik. Banyak organisasi yang masih menempatkan pengelolaan limbah sebagai proses administratif semata, bukan sebagai landasan strategi bisnis yang dapat mendukung efisiensi dan keberlanjutan jangka panjang (Morvay & Gvozdenac, 2008). Hal ini mengakibatkan sikap reaktif, di mana penanganan limbah dilakukan setelah limbah terakumulasi dan bukan sejak tahap desain produksi. Transformasi paradigma manajerial sangat diperlukan agar pengelolaan limbah menjadi bagian integral dari rantai nilai produk.

Di sisi lain, efisiensi energi mesin industri acap kali terhambat akibat penggunaan teknologi berumur panjang yang sudah ketinggalan zaman dan tidak ramah lingkungan (Shan et al., 2012; Thiede, 2012). Pemborosan energi ini dapat dipandang sebagai salah satu bentuk inefisiensi yang prinsip dasarnya juga menjadi fokus dalam pendekatan lean management sebuah konsep manajemen yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengurangi segala bentuk waste untuk meningkatkan efisiensi operasional (Radjawane et al., 2022). Mesin-mesin yang minim perawatan serta sistem monitoring energi yang kurang memadai menjadi pemicu pemborosan energi dan tingginya emisi buangan. Investasi riset dan pengembangan teknologi energi terbaru sangat minim, begitu pula dorongan atau insentif dari pemerintah yang masih belum memadai untuk mendukung adopsi mesin-mesin industri yang hemat energi (Jeong & Lee, 2022).

Kurangnya wawasan dan pengetahuan aktor industri, terutama di sektor usaha kecil dan menengah, semakin menambah kompleksitas pengelolaan lingkungan pabrik. Mayoritas pelaku industri belum memahami sepenuhnya potensi ekonomi yang begitu besar dari proses pengelolaan limbah yang terencana, termasuk daur ulang dan pemanfaatan kembali limbah produksi (Guerin, 2002). Padahal, banyak limbah industri seperti residu kimia, oli bekas, dan gas buangan dapat diubah menjadi sumber daya bernilai ekonomi, apabila dikelola menggunakan pendekatan berbasis ilmu pengetahuan dan dukungan teknologi mutakhir.

Tidak adanya sistem pengawasan lingkungan yang konsisten serta lemahnya kualitas audit pelaksanaan manajemen lingkungan menyebabkan efektivitas kebijakan pengelolaan limbah dan efisiensi energi sulit diukur secara obyektif. Bahkan, harmonisasi regulasi yang dibuat oleh pemerintah dengan kemampuan teknis pengusaha industri di lapangan kadang tidak berjalan sinkron sehingga menciptakan gap yang melebar (Hilson, 2003; Morvay & Gvozdenac, 2008). Akhirnya, strategi manajemen lingkungan cenderung stagnan, tanpa adanya dorongan nyata ke arah pelaksanaan yang terencana dan terukur.

Implementasi manajemen lingkungan industri menghadapi beragam tantangan multidimensional, mulai dari aspek teknologi, sumber daya manusia, hingga perumusan kebijakan yang sering kali belum berbasis pada data empiris. Salah satu permasalahan fundamen yang ditemukan dalam studi literatur adalah lemahnya kesadaran manajerial terhadap pentingnya integrasi antara kebijakan lingkungan dan operasional pabrik secara menyeluruh (Shan et al., 2012; Thiede, 2012). Sebagai dampaknya, banyak perusahaan tidak memiliki sistem pengelolaan limbah yang memadai, mengabaikan potensi dampak negatif terhadap lingkungan dan ekonomi.

Persoalan utama kedua berkenaan dengan terbatasnya modernisasi mesin dan sistem monitoring energi sehingga efisiensi energi kerap mengalami penurunan berulang, disertai tingginya konsumsi listrik dan bahan bakar yang tidak terkontrol (O'Rielly & Jeswiet, 2014; Jeong & Lee, 2022). Upaya industri untuk melakukan pembaruan mesin atau adopsi teknologi ramah lingkungan sangat dipengaruhi kondisi keuangan serta akses terhadap informasi dan teknologi. Banyak pelaku industri masih enggan mengalokasikan anggaran besar pada investasi teknologi canggih, apalagi jika insentif yang ditawarkan pemerintah tidak cukup signifikan.

Permasalahan berikutnya adalah kurangnya sosialisasi, edukasi, dan pelatihan sistematis kepada seluruh pemangku kepentingan di sektor industri. Minimnya literasi pengelolaan limbah dan efisiensi energi menyebabkan peluang untuk menciptakan nilai tambah dari proses daur ulang menjadi sangat terbatas (Guerin, 2002; Shan et al., 2012). Di lingkungan manufaktur kecil dan menengah, resistensi terhadap perubahan pola operasional masih sangat tinggi akibat minimnya akses pada informasi mengenai praktik-praktik terbaik pengelolaan limbah dan optimasi energi.

Kompleksitas hubungan antara kebijakan dan praktik manajemen lingkungan memunculkan kebutuhan penting untuk terus melakukan pemantauan, evaluasi, serta inovasi teknologi dan pendekatan sosial kelembagaan. Tanpa adanya pengembangan sistem audit lingkungan dan harmonisasi regulasi, celah antara visi keberlanjutan dan realitas di lapangan akan terus terjadi (Hilson, 2003; Morvay & Gvozdenac, 2008). Inilah tantangan besar yang mengharuskan para akademisi, pelaku industri, dan pembuat kebijakan berkolaborasi untuk memberikan solusi berdasarkan bukti ilmiah serta peningkatan kapasitas sumber daya manusia di sektor terkait.

Kebutuhan menyoroti pengelolaan limbah dan upaya peningkatan efisiensi energi dalam operasi mesin industri tidak bisa dilepaskan dari meningkatnya tekanan lingkungan global dan transformasi pasar yang menuntut kepatuhan pada standar-standar baru. Di tengah kompleksitas ini, perusahaan menghadapi kewajiban regulatif yang semakin ketat, termasuk dalam pelaporan limbah industri dan transparansi data publik yang menjadi bagian integral dari hukum perusahaan modern (Mamesah et al., 2024). Pemerintah di banyak negara telah menetapkan regulasi ketat yang mensyaratkan pelaporan limbah dan konsumsi energi secara transparan. Sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan, manajemen industri modern memerlukan pendekatan berbasis ilmu pengetahuan dan penerapan inovasi teknologi agar daya saing tetap terjaga tanpa menimbulkan kerusakan lingkungan.

Transformasi industri menuju pengelolaan keberlanjutan membutuhkan pengembangan konsep manajemen yang berpijak pada sains dan kebutuhan aktual perusahaan. Saat ini, tren global menunjukkan bahwa perusahaan yang menerapkan sistem pengelolaan limbah dan energi secara terintegrasi cenderung mendapat kepercayaan investor, memperoleh insentif pemerintah, serta memiliki posisi tawar lebih baik di pasar internasional. Oleh karena itu, pemahaman komprehensif atas praktik dan inovasi pengelolaan limbah serta efisiensi energi menjadi tema utama yang perlu dikaji secara intensif di lingkungan akademik dan industri.

Tujuan penelitian ini ialah untuk menggali serta menganalisis integrasi kebijakan berkelanjutan dan praktik operasional dalam pengelolaan limbah industri, serta mengidentifikasi upaya peningkatan efisiensi energi mesin industri melalui pendekatan modernisasi teknologi dan pengembangan pengetahuan sumber daya manusia guna menciptakan sistem manajemen lingkungan yang berdaya saing dan berkelanjutan. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis untuk merumuskan strategi pengelolaan lingkungan industri berbasis literatur serta menjadi pijakan rekomendasi kebijakan dan adopsi teknologi ramah lingkungan bagi para pemangku kepentingan di industri manufaktur.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan pendekatan kualitatif berbentuk studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji secara sistematis berbagai literatur faktual terkait pengelolaan limbah dan efisiensi energi mesin industri dalam kerangka manajemen berkelanjutan. Studi literatur kualitatif memungkinkan peneliti mengeksplorasi dan memahami berbagai sudut pandang teoretis maupun empiris dari literatur yang relevan, baik berupa artikel jurnal internasional, buku ilmiah, ataupun laporan riset otoritatif (Booth et al., 2016). Peneliti mengumpulkan dan menelaah sumber-sumber tersebut secara kritis guna mengidentifikasi tema-tema utama yang menjadi fokus dalam pengelolaan lingkungan industri, khususnya proses integrasi kebijakan dan praktik operasional serta implementasi modernisasi teknologi untuk efisiensi energi, dengan tetap mengedepankan kualitas dan keaslian literatur yang digunakan.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode sintesis tematik, yakni pendekatan analitis yang memfokuskan pada pencarian dan pengelompokan tema-tema sentral dari kumpulan literatur terpilih yang telah melalui tahap seleksi berdasarkan kriteria relevansi dan kredibilitas (Cruzes & Dyba, 2011). Tahapan sintesis tematik diawali dari pengumpulan literatur, identifikasi isu-isu utama, hingga pengelompokan data berdasarkan kemunculan pola-pola yang konsisten di antara sumber data. Dengan demikian, refleksi atas berbagai temuan beragam sumber dapat menghasilkan pemetaan topik yang komprehensif serta menyediakan basis interpretasi atas isu pengelolaan limbah dan efisiensi energi dalam praktik industri modern.

Penelitian ini mengutamakan prinsip keakuratan sumber dan validasi silang untuk memastikan bahwa hasil analisis benar-benar merepresentasikan keadaan aktual di lapangan sehingga dapat digunakan sebagai rujukan ilmiah dan pijakan dalam perumusan kebijakan maupun strategi manajemen industri. Dalam pelaksanaan review literatur, peneliti berpegang pada pedoman metodologis dari karya-karya terkemuka seperti Hart (2018) dalam penelitian sosial, yang menekankan pentingnya sistematisitas, transparansi proses, serta objektivitas penilaian kritis pada setiap langkah penelaahan literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Integrasi Kebijakan Berkelanjutan dan Praktik Operasional dalam Pengelolaan Limbah Industri

Upaya integrasi kebijakan berkelanjutan dengan praktik operasional dalam pengelolaan limbah industri manufaktur kini menjadi keharusan seiring dengan berkembangnya paradigma global menuju industri yang lebih bertanggung jawab secara lingkungan dan ekonomi. Pendekatan manajemen yang adaptif

terhadap isu lingkungan menuntut sinergi antara kebijakan berbasis regulasi dan penerapan teknis di lini produksi. Studi oleh Abdelaziz et al. (2011) menekankan pentingnya adanya konsistensi kebijakan internal perusahaan dengan kebijakan eksternal pemerintah agar visi keberlanjutan dapat terwujud secara nyata. Dalam mewujudkannya, dua pendorong utama yang saling melengkapi adalah penerapan inovasi hijau di sepanjang rantai pasok dan pemanfaatan transformasi digital untuk mengoptimalkan efisiensi dan kinerja lingkungan (Putra & Arifin, 2021; Mardikaningsih, 2024). Kombinasi strategis ini memperkuat daya saing operasional yang dapat menciptakan kerangka kerja yang koheren untuk menanamkan nilai lingkungan pada setiap tahap rantai pasok dan siklus hidup produk.

Dalam tataran operasional, penerjemahan komitmen keberlanjutan memerlukan adopsi proses bisnis yang sistematis serta penguatan mekanisme pemantauan limbah mulai dari sumber hingga proses akhir pengolahan. Praktik terbaik di banyak perusahaan global menunjukkan efektifnya implementasi sistem manajemen lingkungan terpadu, seperti ISO 14001, yang mewajibkan pelaporan berkala, audit internal, dan mekanisme koreksi berbasis data (Hasan & Trianni, 2020). Penerapan sistem manajemen yang terstruktur ini menjadi salah satu yang mendorong efektivitas organisasi, dengan mengintegrasikan standar lingkungan ke dalam distribusi proses operasional yang konsisten dan dapat diukur (Darmawan, 2024). Dengan demikian, integrasi kebijakan ramah lingkungan ke dalam standar operasional prosedur menghasilkan perubahan perilaku organisasi yang tidak lagi sekadar responsif, melainkan proaktif dalam pencapaian target *zerowaste*.

Peran teknologi digital untuk mendukung penguatan integrasi kebijakan dan praktik terbukti semakin signifikan pada dekade terakhir. Revolusi Industri 4.0 membawa peluang besar melalui big data, IoT, dan sistem otomasi yang memungkinkan pemantauan limbah dilakukan secara real-time dan terukur (Vrchota et al., 2020). Sistem ini dapat meminimalkan keterlambatan deteksi limbah, mengoptimalkan proses segregasi, dan meningkatkan efisiensi pengolahan. Akibatnya, seluruh proses produksi lebih mudah diawasi, dikendalikan, dan dievaluasi melalui indikator kinerja yang jelas dan terstandarisasi.

Perspektif baru dalam manajemen limbah juga berkembang melalui penerapan prinsip ekonomi sirkular yang mengedepankan konsep daur ulang dan pemanfaatan limbah sebagai bahan baku baru. Ahmad (2024) menunjukkan bahwa penerapan kebijakan berkelanjutan berbasis *circular economy* mendorong perusahaan fokus pada strategi minimisasi limbah, serta melakukan reintegrasi limbah ke dalam proses produksi utama maupun sumber pendapatan baru. Model ini menjadi kekuatan baru bagi industri manufaktur untuk menciptakan keunggulan bersaing dan menekan biaya pengadaan bahan baku.

Kolaborasi lintas departemen menjadi strategi efektif untuk memastikan integrasi antara kebijakan dan praktik. Kajian Ramle et al. (2022) menegaskan perlunya keterlibatan seluruh lini organisasi dalam sistem manajemen lingkungan, mulai dari level manajerial hingga operator mesin. Komunikasi yang terbuka dan pelatihan rutin menjadi katalisator untuk membangun budaya organisasi yang mendukung inovasi pengelolaan limbah. Budaya partisipatif ini meningkatkan kepedulian terhadap aspek lingkungan dan mendorong munculnya inisiatif baru pada proses kerja sehari-hari.

Salah satu dimensi krusial adalah penyesuaian dan harmonisasi kebijakan berkelanjutan dengan kebijakan operasional perusahaan. Geng et al. (2023) menyoroti pentingnya penetapan indikator kinerja lingkungan (*environmental key performance indicators/E-KPI*) sebagai instrumen evaluasi berkala terhadap implementasi kebijakan. Indikator ini mampu memberikan gambaran obyektif terkait pencapaian pengurangan limbah, efisiensi proses, dan pemenuhan regulasi lingkungan yang berlaku, sehingga perusahaan dapat melakukan penyesuaian strategis secara berkelanjutan.

Kesiapsiagaan institusi terhadap perubahan regulasi maupun perkembangan teknologi juga berperan penting untuk memperkuat pengelolaan limbah industri. Inovasi dalam manajemen limbah sangat dipengaruhi oleh tingkat fleksibilitas organisasi untuk mengadopsi teknologi pemrosesan dan penanganan limbah terkini (Akhtar et al., 2022). Semakin cepat industri mengadopsi kebijakan yang berbasis pada pengetahuan mutakhir, semakin besar peluang mereka untuk memenuhi harapan baik dari regulator maupun pasar global.

Pengembangan sumber daya manusia menjadi pilar utama suksesnya integrasi kebijakan dengan praktik operasional. Program pelatihan, sertifikasi khusus teknik pengelolaan limbah, serta pembentukan tim lintas disiplin menjadi perangkat efektif untuk membangun kompetensi organisasi (Brandao Da Silva & Gani, 2022). Salah satu arah utama pengembangan ini adalah membangun keterampilan hijau (green skills), yang merupakan fondasi penting untuk mendukung transisi ekonomi berkelanjutan di tempat kerja, memastikan tenaga kerja siap menghadapi tuntutan operasional yang ramah lingkungan (Mardikaningsih & Hariani, 2025). Dengan pengetahuan dan keterampilan terbaru, pekerja tidak mengambil keputusan secara sepihak, melainkan berdasarkan pedoman dan protokol ramah lingkungan yang sudah menjadi budaya organisasi.

Transformasi budaya perusahaan juga menjadi determinan utama terciptanya sistem pengelolaan limbah yang efektif. Berbagai sudut pandang menunjukkan bahwa komitmen organisasi terhadap lingkungan harus didukung tata kelola yang transparan, prinsip kepemimpinan yang visioner, serta pemberdayaan inovasi di tingkat unit kerja (Ahmad, 2024). Keteladanan manajemen puncak dan sistem insentif bagi karyawan memacu lahirnya inisiatif operasional ramah lingkungan sekaligus memperkuat integritas kebijakan berkelanjutan.

Penerapan audit lingkungan secara periodik merupakan bagian integral dari integrasi kebijakan ke dalam aktivitas operasional industri manufaktur. Audit yang dilakukan secara sistematis menghasilkan data yang mendukung penciptaan pembaruan kebijakan berkelanjutan berbasis pada temuan aktual di lapangan (Hasan & Trianni, 2020). Hasil ukurnya adalah peningkatan efektivitas fungsi pengawasan dan pengendalian terhadap seluruh proses pengelolaan limbah dari hulu sampai hilir.

Dari sudut manajerial, sinergi antara peraturan formal dan langkah-langkah operasional yang konsisten membentuk sistem pengelolaan limbah yang tangguh. Ketahanan sistemik tercipta setelah kebijakan dan prosedur diadopsi secara menyeluruh dalam operasi pabrik, dengan tujuan optimalisasi pemanfaatan sumber daya dan minimalisasi dampak negatif bagi lingkungan maupun masyarakat sekitarnya (Abdelaziz et al., 2011). Pendekatan manajemen yang terstruktur dan berbasis regulasi ini juga menjadi fokus dalam kajian implementasi peraturan lingkungan, yang menekankan bahwa efektivitas sistem pengelolaan limbah termasuk kategori bahan berbahaya dan beracun bergantung pada kejelasan standar, konsistensi prosedur, dan ketatnya mekanisme pengawasan (Darmawan et al., 2025). Tercapai atau tidaknya target pengurangan limbah dan pemanfaatan kembali sangat dipengaruhi oleh konsistensi pelaksanaan kebijakan lingkungan.

Pada tataran implementasi ideal, seluruh perangkat kebijakan perlu disusun agar saling menguatkan di dalam mekanisme kendali operasional pabrik, mencakup penetapan standar kerja, pengawasan berkala, serta sistem insentif yang mendorong inovasi internal. Keterpaduan tersebut mendorong perusahaan melakukan pembaruan berkelanjutan dalam teknologi produksi, prosedur kerja, dan pengembangan model usaha yang lebih efisien. Temuan empiris menunjukkan bahwa perusahaan yang menempatkan kebijakan lingkungan sebagai bagian strategis dari tata kelola memperoleh penguatan reputasi dan ketahanan usaha yang lebih stabil dalam menghadapi tekanan pasar dan regulasi (Delmas & Toffel, 2012; Schaltegger et al., 2016).

Penguatan integrasi kebijakan dan praktik pengelolaan limbah sangat ditentukan oleh kemampuan organisasi menyesuaikan diri terhadap perubahan regulasi, pembaruan pendekatan manajerial, serta kapasitas pemangku kepentingan dalam membaca dinamika industri global. Studi lintas negara menunjukkan bahwa perusahaan yang memiliki fleksibilitas kebijakan dan struktur pengambilan keputusan berbasis pembelajaran organisasi cenderung berhasil menginternalisasi kebijakan berkelanjutan ke dalam proses bisnisnya secara konsisten (Testa et al., 2014). Integrasi yang berjalan efektif terbukti memberikan manfaat ekonomi, menurunkan tekanan lingkungan, dan menciptakan nilai tambah yang dirasakan oleh pemangku kepentingan internal maupun eksternal (Daddi et al., 2015).

Peran regulasi pemerintah tetap menjadi faktor penentu dalam memastikan konsistensi integrasi kebijakan berkelanjutan dengan praktik operasional pengelolaan limbah industri. Kerangka hukum yang jelas dan dapat ditegakkan mendorong perusahaan membangun sistem pengelolaan limbah yang terstruktur, terdokumentasi, dan siap diaudit. Literatur kebijakan lingkungan menegaskan bahwa

regulasi yang dirancang dengan kejelasan tujuan dan mekanisme pengawasan yang kuat mampu menggeser perilaku perusahaan dari kepatuhan minimal menuju pengelolaan lingkungan yang lebih sistematis dan berorientasi kinerja (Delmas et al., 2015).

Di tingkat internasional, standar manajemen lingkungan dan energi berfungsi sebagai rujukan operasional yang membantu perusahaan menerjemahkan tuntutan regulatif ke dalam praktik teknis harian. Implementasi sistem manajemen lingkungan mendorong pengendalian dampak limbah melalui perencanaan, pelaksanaan, evaluasi, dan perbaikan berkelanjutan, sementara sistem manajemen energi mengarahkan efisiensi penggunaan energi mesin dan proses produksi. Kajian komparatif menunjukkan bahwa adopsi standar tersebut berkorelasi dengan peningkatan konsistensi operasional dan penguatan disiplin organisasi dalam pengambilan keputusan berbasis data (Testa et al., 2016).

Integrasi kebijakan dan praktik yang ditopang regulasi serta standar internasional berimplikasi langsung pada penurunan biaya operasional jangka panjang. Efisiensi pengelolaan limbah mengurangi biaya penanganan akhir dan risiko sanksi, sementara efisiensi energi menekan konsumsi energi dan biaya produksi. Upaya untuk mengintegrasikan keberlanjutan ke dalam organisasi juga tercermin dalam pendekatan Manajemen Sumber Daya Manusia Hijau, yang mengaitkan efektivitas perusahaan dengan penerapan prinsip ramah lingkungan dalam praktik pengelolaan tenaga kerja (Mardikaningsih, 2024). Selain itu, perbaikan proses berbasis pencegahan mengurangi kehilangan material dan pekerjaan ulang, sehingga struktur biaya menjadi lebih terkendali (Dechezleprêtre & Sato, 2017). Dari sudut strategis, keberhasilan integrasi membuka peluang sertifikasi industri hijau dan meningkatkan kepercayaan investor serta konsumen, yang semakin menilai kinerja lingkungan sebagai indikator kelayakan usaha dan keberlanjutan jangka panjang (Eccles et al., 2014).

Keberhasilan pengelolaan limbah industri juga sangat dipengaruhi oleh pelibatan pemangku kepentingan eksternal, termasuk komunitas setempat, lembaga swadaya masyarakat lingkungan, dan mitra bisnis. Dialog terbuka dengan masyarakat sekitar pabrik membantu membangun penerimaan sosial dan mencegah konflik akibat persepsi negatif terhadap aktivitas industri. Keterlibatan LSM lingkungan dapat memperkuat fungsi pengawasan sekaligus menjadi mitra dalam edukasi dan inovasi pengelolaan limbah. Sementara itu, kolaborasi dengan pemasok dan pelanggan mendorong penerapan prinsip keberlanjutan di sepanjang rantai nilai. Dengan pelibatan multipihak, integrasi kebijakan dan praktik pengelolaan limbah tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi upaya kolektif yang memperkuat keberlanjutan industri secara menyeluruh.

Peningkatan Efisiensi Energi Mesin Industri melalui Modernisasi Teknologi dan Pengembangan Pengetahuan SDM

Modernisasi teknologi menjadi salah satu fondasi utama dalam upaya peningkatan efisiensi energi mesin industri di era revolusi industri saat ini. Penerapan mesin generasi terbaru, sistem otomasi cerdas, serta pemanfaatan teknologi digital mampu menurunkan konsumsi energi sekaligus meminimalkan emisi karbon dalam proses produksi. Brunner dan Rechberger (2015) menunjukkan bahwa adopsi teknologi pengolahan limbah berbasis energi serta penggunaan mesin hemat energi secara signifikan meningkatkan efisiensi sumber daya dan menurunkan beban lingkungan. Transformasi ini ditopang oleh teknologi Internet of Things (IoT) yang memungkinkan pemantauan konsumsi energi secara real-time sehingga inefisiensi dapat segera diidentifikasi dan diperbaiki.

Investasi dalam riset dan pengembangan teknologi menjadi faktor kunci. Khalfan dan McDermott (2006) menegaskan bahwa perusahaan yang proaktif untuk mengembangkan inovasi mesin atau menerapkan desain rekayasa mutakhir pada lini produksinya cenderung memiliki tingkat efisiensi energi yang lebih tinggi daripada kompetitor yang pasif. Adaptasi sistem monitoring berbasis digital serta pemanfaatan big data memberi keleluasaan dalam analisis konsumsi energi detail setiap unit mesin. Putra dan Arifin (2021) menekankan bahwa kemampuan ini mempercepat pengambilan keputusan untuk melakukan tindakan korektif saat pemborosan terdeteksi.

Peningkatan efisiensi tidak cukup hanya mengandalkan investasi teknologi. Pengembangan pengetahuan dan keterampilan sumber daya manusia (SDM) merupakan syarat mutlak agar adopsi teknologi dapat berjalan efektif. Studi Mardikaningsih dan Wardoyo (2024) menyimpulkan bahwa pelatihan dan pengembangan keahlian teknis bagi operator mesin, teknisi, maupun manajer produksi memperkuat kemampuan analisis konsumsi energi serta meningkatkan ketepatan penggunaan mesin sesuai prosedur. Program sertifikasi atau pelatihan berkelanjutan yang fokus pada manajemen energi mendorong terciptanya budaya operasional hemat energi di lingkungan pabrik.

Di lapangan, penguatan kebijakan perusahaan juga diperlukan guna menumbuhkan iklim inovasi di antara karyawan. Sistem penghargaan untuk ide efisiensi energi dan insentif berbasis pencapaian penghematan energi terbukti efektif meningkatkan motivasi pegawai untuk menerapkan teknologi secara optimal (Eddine & Fared, 2024). Semakin besar partisipasi karyawan, semakin efektif upaya identifikasi peluang efisiensi serta penerapan langkah-langkah perbaikan kontinu di lini produksi.

Pengembangan teknologi pemrosesan limbah untuk menghasilkan energi terbarukan juga menjadi peluang strategis yang makin luas cakupannya. Hidy et al. (2011) menjelaskan bahwa penggunaan limbah sebagai bahan bakar pengganti atau sumber energi sekunder menurunkan biaya operasional energi, dan mengurangi volume limbah yang harus ditangani. Integrasi sistem co-generation atau penggunaan biomassa di sektor industri telah terbukti menekan konsumsi energi konvensional dan mengurangi ketergantungan pada energi fosil secara signifikan.

Elemen kolaborasi dengan pihak eksternal, baik itu lembaga penelitian, pemerintah, maupun produsen teknologi, sangat krusial. Podgyrska (2022) menegaskan bahwa kemitraan strategis dapat mempercepat transfer teknologi ramah lingkungan dan knowledge sharing yang relevan bagi kebutuhan pabrik. Hal ini mencakup transfer teknologi perangkat monitoring terbaru, pelatihan bersama, hingga konsultasi desain ulang proses produksi.

Salah satu pendekatan kunci untuk mengefektifkan pelaksanaan efisiensi energi adalah pemanfaatan data analitik canggih. Gazi et al. (2012) menunjukkan bahwa penggunaan data historis konsumsi energi dapat dipakai untuk membangun model prediksi performa mesin sehingga proses pemeliharaan dapat dijadwalkan secara presisi, menghindari pemborosan energi akibat kinerja mesin yang menurun. Penggunaan sensor dan perangkat lunak monitoring membantu dalam proses audit energi secara berkala.

Pengukuran keberhasilan upaya efisiensi energi dilakukan menggunakan indikator performa kunci energi (energy key performance indicators/E-KPI) yang terintegrasi dalam sistem manajemen pabrik. Segerstedt dan Olofsson (2010) menyebutkan bahwa perangkat pengukuran yang objektif ini memungkinkan manajer memantau perkembangan penghematan energi setiap periode serta mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan lebih lanjut. Dengan demikian, keterukuran menjadi tolok ukur efektivitas seluruh program efisiensi energi di lingkungan industri.

Transformasi budaya organisasi merupakan faktor penentu tercapainya keberhasilan modernisasi teknologi dan pengembangan pengetahuan. Darmawan (2022) menyatakan bahwa penerimaan perubahan oleh seluruh anggota organisasi menjadi prasyarat agar transfer teknologi dari tingkat perencanaan ke level operasional berjalan tanpa resistensi berarti. Edukasi yang menyeluruh kepada seluruh karyawan, mulai dari manajemen hingga operator, akan menumbuhkan sikap proaktif untuk menjaga efisiensi energi.

Di era digital, kebutuhan adaptasi pada perkembangan teknologi mutakhir tidak terelakkan. Penguatan literasi digital serta penguasaan instrumen-instrumen baru di bidang monitoring energi mutlak menjadi bagian dari roadmap pengembangan SDM industri. Oluwatoyin dan Mardikaningsih (2024) menggarisbawahi perlunya pembaruan kurikulum pelatihan perusahaan agar selaras dengan kemajuan teknologi termutakhir yang terus bergerak cepat. Kualitas SDM yang tinggi menjadi ujung tombak keberhasilan transformasi digital untuk efisiensi energi di lingkungan manufaktur.

Upaya peningkatan efisiensi energi mesin industri memerlukan perpaduan strategi antara pembaruan teknologi, budaya inovasi, dan pengembangan kapabilitas sumber daya manusia secara simultan.

Sejumlah kajian menunjukkan bahwa pembaruan teknologi akan menghasilkan dampak optimal ketika disertai kepemimpinan manajerial yang mampu mengarahkan perubahan organisasi secara terencana dan konsisten (Trianni et al., 2016). Organisasi yang memiliki sistem pengukuran kinerja energi yang terstruktur serta mekanisme evaluasi berbasis indikator mampu menyesuaikan strategi operasionalnya terhadap perubahan pasar dan tuntutan regulasi lingkungan secara lebih stabil (Bunse et al., 2011; Thiede et al., 2012).

Pelaksanaan strategi efisiensi energi menuntut konsistensi dan ketegasan seluruh pemangku kepentingan, baik pada tingkat perumusan kebijakan, pelaksanaan teknis, maupun kerja sama eksternal. Hal ini menempatkan manajemen sumber daya manusia dalam peran strategis untuk membangun kompetensi dan menjembatani kesenjangan keterampilan yang diperlukan dalam transisi menuju ekonomi hijau (Essa & Mardikaningsih, 2023). Literatur manajemen energi menegaskan bahwa koordinasi lintas fungsi dan keterlibatan mitra eksternal meningkatkan keberhasilan implementasi program efisiensi energi melalui penyelarasan tujuan, pembagian peran yang jelas, serta mekanisme akuntabilitas yang terukur (Backlund et al., 2012). Kerja sama yang terstruktur memungkinkan efisiensi energi berkontribusi pada penciptaan nilai tambah jangka panjang dan penguatan daya saing industri.

Industri yang mampu beradaptasi cepat terhadap inovasi teknologi dan secara konsisten meningkatkan kecakapan sumber daya manusia menunjukkan kinerja yang lebih unggul di tingkat global. Studi empiris pada sektor manufaktur Eropa mengonfirmasi bahwa modernisasi teknologi yang disertai penguatan kompetensi tenaga kerja berkorelasi positif dengan produktivitas energi dan stabilitas operasional (May et al., 2015). Pengembangan kapasitas sumber daya manusia menjadi faktor penopang yang menjaga keberlanjutan kinerja energi seiring percepatan perubahan teknologi industri.

Walaupun manfaat efisiensi energi semakin luas diakui, implementasinya di lapangan sering menghadapi kendala struktural, terutama keterbatasan modal investasi pada perusahaan menengah dan kecil. Investasi awal untuk mesin hemat energi, sistem otomasi, dan perangkat monitoring sering kali dipersepsikan berisiko akibat periode pengembalian yang panjang dan ketidakpastian pasar (Cagno et al., 2017). Kondisi tersebut mendorong banyak perusahaan mempertahankan mesin lama dengan konsumsi energi tinggi, terutama ketika harga energi berfluktuasi dan tekanan persaingan meningkat.

Hambatan lain berasal dari resistensi tenaga kerja terhadap perubahan teknologi dan pola kerja baru. Penelitian perilaku organisasi menunjukkan bahwa kurangnya pemahaman atas manfaat efisiensi energi memicu kecenderungan mempertahankan kebiasaan lama, sehingga pemanfaatan teknologi baru berjalan di bawah potensi optimalnya (Sorrell et al., 2011). Resistensi ini menjadi penghambat serius bagi efektivitas program efisiensi energi yang telah dirancang secara teknis.

Selain itu, ketersediaan teknologi yang sesuai dengan karakteristik proses produksi juga menjadi tantangan. Tidak seluruh teknologi hemat energi kompatibel dengan infrastruktur eksisting atau skala operasi tertentu, sehingga membutuhkan penyesuaian tambahan yang meningkatkan kompleksitas implementasi (Johansson & Thollander, 2014). Ketergantungan pada pemasok teknologi tertentu turut meningkatkan risiko operasional ketika dukungan teknis dan pasokan suku cadang tidak berkelanjutan.

Untuk merespons keterbatasan tersebut, strategi kemitraan berkembang sebagai solusi yang relevan. Kerja sama dengan lembaga keuangan, pemerintah, dan penyedia teknologi membuka akses pada pembiayaan hijau, skema berbagi risiko, serta pendampingan teknis yang mempercepat proses adopsi teknologi (Rohdin et al., 2013). Kolaborasi dengan perguruan tinggi dan lembaga riset mendukung pengembangan solusi teknologi yang lebih sesuai dengan kebutuhan industri, sekaligus memperkuat kapasitas pengetahuan internal perusahaan.

Selain kemitraan, edukasi intensif dan dukungan kebijakan publik memegang peranan penting dalam mengatasi hambatan implementasi. Program pelatihan berkelanjutan yang melibatkan pekerja sejak tahap perencanaan membantu mengurangi resistensi dan menumbuhkan rasa memiliki terhadap perubahan. Di tingkat makro, insentif pemerintah seperti keringanan pajak, subsidi investasi mesin hemat energi, atau pengakuan kinerja energi melalui skema penghargaan mendorong perusahaan untuk lebih berani bertransformasi. Dengan kombinasi edukasi, insentif, dan dukungan kelembagaan yang

konsisten, kendala lapangan dapat dikelola secara sistematis sehingga upaya peningkatan efisiensi energi mesin industri dapat berjalan lebih efektif dan berkelanjutan.

PENUTUP

Berdasarkan kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pengelolaan limbah industri dan peningkatan efisiensi energi mesin merupakan dua elemen yang saling berkaitan erat dalam strategi keberlanjutan industri modern. Integrasi kebijakan berkelanjutan dengan praktik operasional terbukti menjadi prasyarat utama agar pengelolaan lingkungan tidak berhenti pada kepatuhan administratif, melainkan berkembang menjadi bagian dari strategi bisnis yang menciptakan nilai ekonomi dan reputasi jangka panjang. Penerapan standar lingkungan dan energi, modernisasi teknologi, serta pengembangan pengetahuan sumber daya manusia muncul sebagai faktor kunci yang menentukan keberhasilan upaya tersebut.

Implikasi dari temuan ini menunjukkan bahwa perusahaan industri perlu memandang investasi lingkungan sebagai investasi strategis, bukan sebagai beban biaya. Integrasi yang konsisten mampu menurunkan biaya operasional, mengurangi risiko regulatif, meningkatkan kepercayaan investor dan konsumen, serta membuka peluang sertifikasi industri hijau. Pada tingkat kebijakan, hasil kajian ini menegaskan pentingnya harmonisasi regulasi, pemberian insentif, dan dukungan kelembagaan agar industri, khususnya usaha kecil dan menengah, mampu beradaptasi dengan tuntutan keberlanjutan.

Sebagai saran, perusahaan disarankan memperkuat sistem manajemen lingkungan dan energi berbasis data, meningkatkan literasi dan kompetensi SDM secara berkelanjutan, serta membangun kemitraan dengan pemerintah, lembaga riset, dan pemangku kepentingan lainnya. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada studi empiris untuk mengukur dampak kuantitatif integrasi kebijakan dan modernisasi teknologi terhadap kinerja lingkungan dan ekonomi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelaziz, E. A., Saidur, R., & Mekhilef, S. (2011). A Review on Energy Saving Strategies in Industrial Sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 150-168.
- Ahmad, F. (2024). Innovations in Green Technologies: Reducing Environmental Impact through Energy Efficiency, Waste Minimization, and Pollution Control. *Insights Sustainable Engineering Practices*, 1(01), 66-82.
- Akhtar, M. Z., Khan, H. U. R., Sriyanto, S., Jabor, M. K., Rashid, A., & Zaman, K. (2022). How do Industrial Ecology, Energy Efficiency, and Waste Recycling Technology (Circular Economy) Fit into China's Plan to Protect The Environment? *Recycling* 7(6), 83.
- Backlund, S., Thollander, P., Palm, J., & Ottosson, M. (2012). Extending the Energy Efficiency Gap. *Energy Policy*, 51, 392-396.
- Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2016). *Systematic Approaches to a Successful Literature Review* (2nd Ed.). London: Sage Publications.
- Brandao Da Silva, E., & Gani, A. (2022). Ethics and Social Responsibility in Technology Innovation for Sustainability and Social Justice. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 1(2), 44-49.
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2015). Waste to Energy—Key Element for Sustainable Waste Management. *Waste Management*, 37, 3-12.
- Bunse, K., Vodicka, M., Schüßleben, P., Brühlhart, M., & Ernst, F. O. (2011). Integrating Energy Efficiency Performance. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 150-158.

- Cagno, E., Trianni, A., Spallina, G., & Marchesani, F. (2017). Drivers for Energy Efficiency. *Energy Policy*, 103, 290–308.
- Cruzes, D. S., & Dyba, T. (2011). Recommended Steps for Thematic Synthesis in Software Engineering. In *2011 International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, 275–284. IEEE.
- Daddi, T., Iraldo, F., & Testa, F. (2015). Environmental Certification and Efficiency in Resource Use. *Journal of Cleaner Production*, 92, 30–38.
- Darmawan, D. (2022). The Relationship between Work-Life Balance and Perceived Organizational Support to Employees Psychological Well-Being of Employees in Modern Work Environments. *Journal of Social Science Studies*, 2(1), 73–80.
- Darmawan, D. (2024). Distribution of Six Major Factors Enhancing Organizational Effectiveness. *Journal of Distribution Science*, 22(4), 47–58.
- Darmawan, D., Negara, D. S., Hardyansah, R., Khayru, R. K., & Saputra, R. (2025, October). Implementation of Medical Hazardous and Toxic Waste Management Regulations in Hospitals. In *Proceeding of International Management Conference and Progressive Papers* (Vol. 3, No. 1).
- Dechezleprêtre, A., & Sato, M. (2017). The Impacts of Environmental Regulations on Competitiveness. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2), 183–206.
- Delmas, M. A., & Toffel, M. W. (2012). Institutional Pressures and Environmental Strategy. *Strategic Management Journal*, 33(4), 403–427.
- Delmas, M. A., Russo, M. V., & Montes-Sancho, M. J. (2015). Deregulation and Environmental Differentiation. *Academy of Management Journal*, 58(6), 1812–1835.
- Eccles, R. G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes. *Management Science*, 60(11), 2835–2857.
- Eddine, B. A. S., & Fared, M. A. (2024). Enterprise Strategy to Sustain Continuous Innovation and Product Quality Consistency in a Saturated Market. *Bulletin Of Science, Technology and Society*, 3(3), 55–61.
- Espinoza-Castro, F., Lara-Ramírez, A., & Buele, J. (2024). Environmental Sustainability in Industrial Operations: A Comprehensive Review. <https://doi.org/10.1109/ETCM63562.2024.10746185>
- Essa, N. E., & Mardikaningsih, R. (2023). The Strategic Role of Human Resource Management in Building Competencies and Bridging The Skills Gap Towards a Green Economy. *International Journal of Service Science, Management, Engineering and Technology*, 4(3), 36–40.
- Gazi, A., Skevis, G., & Founti, M. A. (2012). Energy Efficiency and Environmental Assessment of a Typical Marble Quarry and Processing Plant. *Journal of Cleaner Production*, 32, 10–21.
- Geng, D., Evans, S., & Kishita, Y. (2023). The Identification and Classification of Energy Waste for Efficient Energy Supervision in Manufacturing Factories. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 182, 113409.
- Guedes, K., Fenerich, F. C., & Oliveira, A. L. G. De. (2025). Practices for Energy Efficiency in Manufacturing from the Perspective of Sustainability: A Framework and Process. *RGSA: Revista De Gestão Social E Ambiental*. <https://doi.org/10.24857/Rgsa.V19n7-079>
- Guerin, T. F. (2002). Heavy Equipment Maintenance Wastes and Environmental Management in the Mining Industry. *Journal of Environmental Management*, 66(2), 185–199.
- Hart, C. (2018). *Doing a Literature Review: Releasing the Research Imagination*. Sage.

- Hasan, A. M., & Trianni, A. (2020). A Review of Energy Management Assessment Models for Industrial Energy Efficiency. *Energies*, 13(21), 5713.
- Hidy, G. M., Alcorn, W., Clarke, R., Smith, D., & Thomas, V. (2011). Environmental Issues and Management Strategies for Waste Electronic and Electrical Equipment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 61(10), 990-995.
- Hilson, G. (2003). Eco-Efficiency: Improving Environmental Management Strategy in the Primary Extraction Industry. *Journal of Environmental Systems*, 29(1).
- Jeong, S., & Lee, J. (2022). Environment and Energy? The Impact of Environmental Management Systems on Energy Efficiency. *Manufacturing & Service Operations Management*, 24(3), 1311-1328.
- Johansson, M. T., & Thollander, P. (2014). A Review of Barriers to Industrial Energy Efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 696-706.
- Khalfan, M. M., & McDermott, P. (2006). Innovating for Supply Chain Integration within Construction. *Construction Innovation*, 6(3), 143-157.
- Mamesah, D. A., Gautama, E. C., & Mardikaningsih, R. (2024). Industrial Waste Reporting Obligations and Public Data Disclosure in Modern Corporate Law. *Journal of Social Science Studies*, 4(1), 155-164.
- Mardikaningsih, R. (2024). Implementation of Green Innovation, Supply Chain Management and Technology Capability on Business Performance of Micro, Small and Medium Enterprises. *ARRUS Journal of Social Sciences and Humanities*, 4(4), 467-480.
- Mardikaningsih, R. (2024). Organizational Effectiveness and Green Human Resources Management. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 3(1), 6-13.
- Mardikaningsih, R., & Hariani, M. (2025). Building Green Skills to Support Sustainable Economic Transition in the Workplace. *International Journal of Service Science, Management, Engineering and Technology*, 7(2), 6-10.
- Mardikaningsih, R., & Wardoyo, D. T. W. (2024). The Role of Technology in Human Resource Development for Sustainability: A Literature Review on Digital Innovation. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 3(3), 20-26.
- May, G., Stahl, B., & Taisch, M. (2015). Energy Management in Manufacturing. *Procedia CIRP*, 26, 242-247.
- Metelenko, N. (2024). Integration of Environmental Technologies into Industrial Management as a Tool for Ensuring Sustainable Development. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*. <https://doi.org/10.57239/Pjlss-2025-23.1.0020>
- Mirzarakhimova, G., & Akhunova, S. (2024). Integrating Environmental Considerations into Industrial Enterprise Operations. *International Journal of Advance Scientific Research*. <https://doi.org/10.37547/Ijasr-04-10-07>
- Morvay, Z., & Gvozdenac, D. (2008). *Applied Industrial Energy and Environmental Management*. John Wiley & Sons.
- Novita, D., Hidayatulloh, A. N., Renwarin, J. M., Santoso, R., & Mardikaningsih, R. (2022). Relationship between Eco Transformational Leadership, Eco Training, and Employee Eco Behavior on Sustainable Corporate Performance of SMEs. *Frontiers In Psychology*, 13, 900787.
- Nuraini, R., Darmawan, D., Mardikaningsih, R., Hariani, M., & Halizah, S. N. (2022). Keberlanjutan Kelestarian Lingkungan: Peran Kunci Lokus Kendali Internal dan Wawasan Lingkungan dalam Mendorong Perilaku Pro-Lingkungan. *TIN: Terapan Informatika Nusantara*, 3(3), 116-122.

- O’Rielly, K., & Jeswiet, J. (2014). Strategies to Improve Industrial Energy Efficiency. *Procedia Cirp*, 15, 325-330.
- Oluwatoyin, F., & Mardikaningsih, R. (2024). Challenges and Opportunities for Sustainability of Human Resource Development in Industry 4.0. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 3(2), 9-16.
- Podgryska, M. (2022). Challenges and Perspectives in Innovative Projects Focused on Sustainable Industry 4.0—A Case Study on Polish Project Teams. *Sustainability*, 14(9), 5334.
- Putra, A. R., & Arifin, S. (2021). Supply Chain Management Optimization in the Manufacturing Industry Through Digital Transformation: The Role of Big Data, Artificial Intelligence, and the Internet of Things. *Journal of Social Science Studies*, 1(2), 161-166.
- Putra, A. R., & Arifin, S. (2021). Supply Chain Management Optimization in the Manufacturing Industry Through Digital Transformation: The Role of Big Data, Artificial Intelligence, and the Internet of Things. *Journal of Social Science Studies*, 1(2), 161-166.
- Radjawane, L. E., Darmawan, D., & Varela, J. R. (2022). Application of Lean Management Principles to Reduce Waste and Improve Operational Efficiency in the Service Sector. *Journal of Social Science Studies*, 2(2), 261-266.
- Ramle, N. L. B., Mardikaningsih, R., & Halizah, S. N. (2022). The Importance of Local Communities in Environmental Conservation and Natural Resource Management for Ecosystem and Economic Sustainability. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 1(1), 38-43.
- Rohdin, P., Thollander, P., Solding, P., & Söderström, M. (2013). Barriers to and Drivers for Energy Efficiency. *Energy Policy*, 52, 437–447.
- Schaltegger, S., Hansen, E. G., & Lüdeke-Freund, F. (2016). Business Models for Sustainability. *Organization & Environment*, 29(3), 264–289.
- Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply Chains in the Construction Industry. *Supply Chain Management: An International Journal*, 15(5), 347-353.
- Shan, Z., Qin, S., Liu, Q., & Liu, F. (2012). Key Manufacturing Technology & Equipment for Energy Saving and Emissions Reduction in Mechanical Equipment Industry. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13(7), 1095-1100.
- Sorrell, S., Mallett, A., & Nye, S. (2011). Barriers to Industrial Energy Efficiency. *Energy Policy*, 39(12), 7227–7242.
- Testa, F., Heras-Saizarbitoria, I., & Daddi, T. (2016). ISO 14001 and Environmental Performance. *Journal of Cleaner Production*, 113, 256–267.
- Testa, F., Iraldo, F., Frey, M., & Daddi, T. (2014). What Factors Influence Environmental Management Adoption. *Business Strategy and the Environment*, 23(3), 170–185.
- Thiede, S. (2012). *Energy Efficiency in Manufacturing Systems*. Springer Science & Business Media.
- Thiede, S., Bogdanski, G., & Herrmann, C. (2012). A Systematic Method for Increasing Energy Efficiency. *Journal of Cleaner Production*, 24, 64–76.
- Trianni, A., Cagno, E., & Farníř, S. (2016). Barriers, Drivers and Decision-Making. *Energy Policy*, 94, 290–308.
- Vrchota, J., Čehoř, P., Mařkově, M., & Pech, M. (2020). Critical Success Factors of the Project Management in Relation to Industry 4.0 For Sustainability of Projects. *Sustainability*, 13(1), 281.