

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN DAN PENETUAN STRATEGI *GREEN MANUFACTURING* PADA PENGOLAHAN LIMBAH DAN EMISI DI PT. XYZ

Salman Al Farizy¹⁾, Adianto²⁾, Carla Olyvia Doaly³⁾

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

e-mail: ¹⁾salman.545210011@stu.untar.ac.id, ²⁾adianto@ft.untar.ac.id, ³⁾carlaol@ft.untar.ac.id

ABSTRAK

Industri manufaktur memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi karbon dan pencemaran lingkungan, salah satunya berasal dari proses produksi carbon rod. PT. XYZ sebagai produsen carbon rod menghadapi tantangan dalam mengelola emisi CO₂ dan limbah padat secara efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dan merumuskan strategi Green Manufacturing yang tepat guna mendukung pengelolaan limbah dan emisi secara berkelanjutan. Metode yang digunakan adalah analisis SWOT untuk mengidentifikasi faktor internal dan eksternal perusahaan, serta metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk menentukan strategi prioritas berdasarkan kriteria ISO 14001. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi yang paling tepat adalah strategi Strength–Opportunity (SO) dengan total bobot 4.62, yaitu mengoptimalkan fasilitas proses baking serta bekerja sama dengan mitra pengolah limbah tersertifikasi untuk mengurangi emisi dan dampak lingkungan dari proses produksi.

Kata kunci: *Green Manufacturing, SWOT, EFAS, IFAS, AHP*

ABSTRACT

The manufacturing industry contributes significantly to carbon emissions and environmental pollution, particularly in the production of carbon rods. PT. XYZ, as a carbon rod manufacturer, faces challenges in managing CO₂ emissions and solid waste efficiently. This study aims to analyze environmental impacts and formulate appropriate Green Manufacturing strategies to support sustainable waste and emission management. The methods used are SWOT analysis to identify internal and external factors, and the Analytical Hierarchy Process (AHP) to determine strategic priorities based on ISO 14001 criteria. The results show that the most suitable strategy is the Strength–Opportunity (SO) approach with a total weight of 4.62, which focuses on optimizing baking process facilities and collaborating with certified waste treatment partners to reduce emissions and environmental impact.

Keywords: *Green Manufacturing, SWOT, EFAS, IFAS, AHP*

PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur yang pesat telah menyebabkan tekanan signifikan terhadap lingkungan, terutama dalam bentuk limbah padat, emisi gas rumah kaca, dan tingginya konsumsi energi. Untuk merespons tantangan ini, konsep *Green Manufacturing* mulai diterapkan secara luas sebagai strategi keberlanjutan yang mengintegrasikan efisiensi produksi dengan tanggung jawab lingkungan. *Green manufacturing* mencakup penerapan teknologi dan proses yang ramah lingkungan di seluruh tahapan produksi mulai dari desain produk, pemilihan material, proses produksi, hingga daur ulang limbah dengan tujuan mengurangi jejak ekologi industri [1]. Dalam konteks teknik industri, pendekatan green manufacturing dinilai krusial untuk mengoptimalkan efisiensi operasional tanpa mengabaikan dampak ekologis. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan strategi produksi hijau dapat meningkatkan daya saing perusahaan sekaligus mengurangi biaya jangka panjang yang berkaitan dengan limbah dan energi [2]. Oleh karena itu, transformasi menuju sistem manufaktur hijau tidak hanya relevan secara lingkungan, tetapi juga menjadi aspek strategis dalam manajemen operasi modern.

PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di produksi *carbon rod* sebagai bahan baku di dalam baterai. *Carbon rod* sendiri merupakan salah satu komponen utama dalam baterai kering yang berguna sebagai elektroda konduktif yang mendukung reaksi elektrokimia dalam sel baterai. Pada proses produksinya *carbon rod* menghasilkan limbah yang cukup banyak, termasuk limbah gas buang atau emisi CO₂. Emisi CO₂ dihasilkan

dari proses *baking* (pembakaran) yang menggunakan suhu tinggi untuk mengeringkan material karbon. Selain emisi gas, pada proses ini juga menghasilkan limbah padat sisa bahan dan partikel halus. Oleh karena itu, penting bagi perusahaan untuk menerapkan strategi pengelolaan limbah dan emisi yang efektif, tidak hanya untuk memenuhi regulasi lingkungan, tetapi sebagai komitmen perusahaan terhadap keberlanjutan melalui penerapan strategi berdasarkan *Green Manufacturing*.

Penerapan *Green Manufacturing* dianalisis menggunakan pendekatan SWOT untuk mengetahui atau mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman yang berkaitan dengan dengan strategi lingkungan perusahaan. Dalam penelitian ini pengelolaan limbah karbon dan emisi CO₂ hasil produksi carbon rod. Analisis ini memungkinkan perumusan alternatif strategi *Green Manufacturing* berdasarkan faktor internal dan eksternal yang relevan untuk mencapai keberlanjutan di perusahaan. Untuk mendukung analisis SWOT, digunakan *Internal Factor Analysis Summary* (IFAS) dan *External factor Analysis Summary* (EFAS) yang digunakan untuk mengetahui perumusan strategi secara objektif dengan melakukan pembobotan dan pemberian rating untuk menghasilkan skor yang akan menjadi nilai akhir [3].

Selanjutnya, metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk menentukan strategi pengolahan limbah termasuk emisi CO₂ yang paling tepat dalam mendukung penentuan strategi *Green Manufacturing*. Penentuan kriteria dalam AHP ini berdasarkan pada prinsip dan indikator yang terdapat dalam standar ISO 14001, yang mana dalam penelitian ini mencakup 4 kriteria utama yaitu aspek lingkungan signifikan, kepatuhan terhadap regulasi, perbaikan berkelanjutan, dan pengendalian operasional. Metode ini dinilai efektif dalam menangani masalah multi-kriteria dan telah banyak digunakan, khususnya untuk mendukung pengambilan keputusan strategis untuk keberlanjutan dan lingkungan [4].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan dua pendekatan utama, yaitu observasi langsung di lapangan dan studi literatur. Observasi dilakukan untuk memperoleh informasi aktual mengenai proses produksi di PT. XYZ, sedangkan studi literatur digunakan untuk mengumpulkan teori-teori pendukung serta referensi yang relevan terkait pengelolaan limbah, pengurangan emisi CO₂, efisiensi energi, dan penentuan strategi *Green Manufacturing*.

Tahapan berikutnya melibatkan proses pengumpulan data, baik data primer maupun sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara informal dengan pihak operasional, pengisian kuisioner oleh pihak expert terkait, serta pengamatan aktivitas produksi dan untuk data sekunder dikumpulkan dari dokumen perusahaan seperti laporan konsumsi energi, data produksi bulanan, serta catatan terkait emisi dan pengolahan limbah. Data yang telah diperoleh kemudian dianalisis secara bertahap, dimulai dari perhitungan efisiensi energi dan emisi karbon, analisis SWOT yang dilakukan untuk menentukan alternatif strategi berdasarkan faktor internal dan eksternal yang diolah menggunakan pendekatan *Internal Faktor Analysis Summary* (IFAS) dan *Eksternal Faktor Analysis Summary* (EFAS) di PT. XYZ, kemudian alternatif yang didapatkan dari SWOT di pilih menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk mendapatkan alternatif yang paling sesuai untuk diterapkan di PT. XYZ berdasarkan kriteria dan sub kriteria untuk menentukan strategi *Green Manufacturing*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dalam penelitian ini dilakukan di PT. XYZ menggunakan data historis perusahaan untuk pemakaian listrik dan gas selama periode Januari 2024 – Desember 2024. Data ini digunakan sebagai pendukung untuk perhitungan emisi karbon dan efisiensi pemakaian energi di PT. XYZ. Berikut adalah data untuk konsumsi energi dan emisi yang dihasilkan di PT. XYZ selama periode 2024.

Tabel 1. Konsumsi Energi dan Emisi CO₂ PT. XYZ

Bulan	Konsumsi Gas (sm ³)	Emisi CO ₂ /KG	Konsumsi Listrik (KWH)	Emisi CO ₂ /Kwh
Januari 2024	296.186	562.753	225.494	192.120
Februari 2024	267.818	508.854	211.392	180.106
Maret 2024	116.085	220.561	196.224	167.182
April 2024	121.882	231.575	202.656	172.662
Mei 2024	259.214	492.506	226.486	192.966
Juni 2024	257.668	489.569	200.712	171.006
Juli 2024	270.747	514.419	189.139	161.146
Agustus 2024	339.528	645.103	214.034	182.357
September 2024	415.48	789.412	219.376	186.908
Oktober 2024	448.48	852.112	265.758	226.425
November 2024	257.972	490.146	286.093	243.751
Desember 2024	271.228	515.333	191.668	163.301
Rata-Rata	276.857	526.028	219.086	186.661

Efisiensi dan Penghematan Konsumsi Energi

Produksi *carbon rod* di PT. XYZ menghasilkan dua energi utama pada proses produksinya yang menghasilkan emisi CO₂ yang besar. Energi yang digunakan terdiri dari listrik dan gas alam, yang keduanya memiliki kontribusi signifikan terhadap biaya oprasional dan potensi emisi lingkungan. Penghematan pemakaian energi yang dilakukan secara konsisten akan berpengaruh pada penghematan anggaran biaya pengeluaran konsumsi energi, serta mendukung program pemerintah dalam budaya hemat energi di masyarakat [5]. Hasil analisis konsumsi energi di PT. XYZ menunjukkan bahwa terdapat peluang signifikan untuk melakukan efisiensi di kedua indikator tersebut. Konsumsi listrik bulanan terdiri dari pemakaian LBWP (Luar Waktu Beban Puncak) dan WBP (Waktu Beban Puncak), di mana WBP memiliki tarif lebih tinggi sebesar Rp. 1.553,01. Diketahui dari data perusahaan bahwa biaya pemakaian listrik di PT. XYZ berada di rata-rata Rp.245.375.150. Oleh karena itu pendekatan efisiensi yang dapat dilakukan adalah dengan mengalihkan sebagian beban WBP ke LBWP untuk menekan biaya listrik. Pendekatan ini dapat berpotensi menghasilkan penghematan biaya listrik secara langsung tanpa mengganggu kontinuitas produksi. Berikut merupakan gambaran jika pengalihan beban WBP ke LBWP diterapkan di PT. XYZ.

Tabel 2. Penghematan Listrik

Efisiensi	Konsumsi	Biaya (Rata-Rata) (Rp)	Penghematan (Rp)
0% (Aktual)	219.086	245.375.150	-
5% Efisiensi	208.132	233.106.393	12.268.757
10% Efisiensi	197.177	220.837.635	24.537.515
15% Efisiensi	186.223	208.568.878	36.806.272

Dari tabel di atas, diketahui bahwa efisiensi konsumsi listrik sebesar 5%, 10% dan 15% akan membuat penghematan biaya yang lebih kecil pertahunnya.

Sumber energi utama lainnya di PT. XYZ adalah gas alam yang digunakan dalam proses pembakaran produksi *carbon rod*. Diketahui dari data perusahaan bahwa biaya pemakaian gas alam di PT. XYZ berada di rata-rata Rp.1.310.062.400. Dari biaya pemakaian yang cukup tinggi itu efisiensi pemakaian gas alam dapat dilakukan melalui optimalisasi sistem pembakaran, perawatan berkala burner, serta pengendalian waktu oprasi pada proses dengan konsumsi energi tinggi. Berikut merupakan gambaran jika penghematan gas alam diterapkan di PT. XYZ.

Tabel 3. Penghematan Gas Alam

Efisiensi	Konsumsi (Sm ³)	Biaya (Rp)	Penghematan (Rp)
0% (Aktual)	287.059	1.310.026.400	-
5% Efisiensi	272.706	1.224.525.080	65.501.320
10% Efisiensi	258.353	1.179.023.760	131.002.640
15% Efisiensi	244.00	1.113.522.440	196.503.960

Dari tabel di atas, diketahui bahwa efisiensi penghematan konsumsi gas alam sebesar 5%, 10% dan 15% akan membuat penghematan biaya yang lebih kecil pertahunnya.

Analisis SWOT dan IFAS - EFAS

Analisis SWOT dilakukan untuk mengidentifikasi kekuatan (*Strength*), Kelemahan (*Weakness*), Peluang (*Opportunities*), dan Ancaman (*Threats*) yang dimiliki oleh PT. XYZ. Penggunaan analisis SWOT dalam konteks *green manufacturing* membantu perusahaan memahami faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi keberhasilan penerapan strategi manufaktur ramah lingkungan, serta mengarahkan pengambilan keputusan strategis yang tepat [6]. Analisis dilakukan dengan observasi lapangan dan Wawancara dengan pihak perusahaan. Dalam analisis SWOT ini digunakan Matriks untuk menggambarkan posisi strategis utuk perusahaan yang dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan strategi pengolahan limbah dan emisi CO₂ hasil produksi. Berikut merupakan tabel untuk Matriks SWOT.

Tabel 4. Matriks SWOT

S (<i>Strength</i>)	W (<i>Weakness</i>)
[S1] Ketersediaan fasilitas pembakaran limbah karbon internal	[W1] Belum tersedia sistem daur ulang limbah karbon
[S2] Manajemen perusahaan mendukung prinsip <i>Green manufacturing</i>	[W2] Konsumsi energi listrik dan gas masih tinggi
[S3] Sistem pencatatan konsumsi energi dan limbah sudah terdokumentasi	[W3] Tidak ada sistem kontrol otomatisasi dari pembakaran
[S4] SDM produksi memiliki pengalaman yang cukup	[W4] Minim pelatihan teknis limbah
[S5] Perusahaan memiliki sertifikasi ISO lingkungan	[W5] Kurangnya dokumentasi efektivitas pengelolaan limbah
[S6] Proses Produksi yang Stabil	[W6] Belum ada evaluasi berkala terhadap efisiensi produksi
O [<i>Opportunities</i>]	T [<i>Threats</i>]
[O1] Regulasi pemerintah yang mendukung pengolahan limbah	[T1] Kenaikan harga energi listrik dan gas yang berkelanjutan
[O2] Adanya sertifikasi untuk industri ramah lingkungan	[T2] Potensi sanksi lingkungan akibat pengelolaan limbah yang tidak optimal
[O3] Peluang kolaborasi dengan pengelola limbah eksternal	[T3] Persaingan industri dengan produk ramah lingkungan lebih unggul
[O4] Tuntutan pasar terhadap produk ramah lingkungan	[T4] Perubahan kebijakan di masa depan
[O5] Program CSR yang membuka kolaborasi lingkungan	[T5] Ketergantungan bahan baku energi dari luar negeri
[O6] Perkembangan teknologi pemantauan emisi digital	[T6] Fluktuasi nilai tukar memengaruhi biaya oprasional

Internal Factor Analysis Summary (IFAS) adalah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi kekuatan dan kelemahan internal perusahaan dalam mencapai tujuan strategis. Dengan memberikan bobot dan rating pada setiap faktor, IFAS membantu dalam menyusun strategi yang paling sesuai dengan kondisi internal aktual organisasi [7]. Berikut merupakan tabel untuk IFAS.

Tabel 5. *Internal Factor Analysis Summary* (IFAS)

Faktor Internal	Bobot (0.0 – 1.0)	Rating (1 – 4)	Skor
[S1]	0.093	3	0.281
[S2]	0.093	3	0.281
[S3]	0.062	2	0.125
[S4]	0.093	3	0.281
[S5]	0.093	3	0.281
[S6]	0.093	3	0.281
[W1]	0.093	3	0.281
[W2]	0.125	4	0.500
[W3]	0.031	1	0.031
[W4]	0.062	2	0.125
[W5]	0.093	3	0.281
[W6]	0.062	2	0.125
Total	1.000	32	2.875

Diketahui skor total dari *Internal Factor Analysis Summary* adalah 2.875. Skor ini menunjukkan bahwa PT. XYZ memiliki kekuatan internal yang cukup dominan dibandingkan kelemahan.

External Factor Analysis Summary atau EFAS digunakan untuk mengidentifikasi dan menilai faktor-faktor eksternal yang berpengaruh terhadap perusahaan, seperti peluang dan ancaman dari lingkungan bisnis. EFAS memberikan bobot dan rating pada faktor eksternal untuk membantu mengantisipasi dan merancang strategi yang berkelanjutan. Berikut merupakan tabel untuk EFAS.

Tabel 6. *External Factor Analysis Summary* (EFAS)

Faktor Eksternal	Bobot (0.0 – 1.0)	Rating (1 – 4)	Skor
[O1]	0.117	4	0.470
[O2]	0.088	3	0.264
[O3]	0.088	3	0.264
[O4]	0.058	2	0.117
[O5]	0.088	3	0.264
[O6]	0.088	3	0.264
[T1]	0.088	3	0.264
[T2]	0.088	3	0.264
[T3]	0.058	2	0.117
[T4]	0.088	3	0.264
[T5]	0.058	2	0.117
[T6]	0.088	3	0.264
Total	1.000	34	2.941

Diketahui skor total dari *External Factor Analysis Summary* adalah 2.941. skor ini menunjukkan bahwa PT. XYZ cukup mampu menghadapi peluang dan ancaman external terkait pengolahan limbah dan emisi hasil produksi. Oleh karena itu, strategi yang dirumuskan perlu diarahkan untuk memaksimalkan peluang yang ada.

Penentuan Alternatif Strategi Pengolahan

Berdasarkan hasil analisis *Internal Factor Analysis Summary* (IFAS) dan *External Factor Analysis Summary* (EFAS), digunakan *Matriks Internal-Eksternal* (IE) sebagai alat analisis strategi untuk mengetahui posisi perusahaan berdasarkan skor IFAS dan EFAS. Penggunaan matriks IE membantu dalam merumuskan alternatif strategi yang paling sesuai, khususnya dalam penerapan *green manufacturing*, untuk menentukan langkah paling tepat berdasarkan kondisi lingkungan internal dan eksternal perusahaan [8]. Berikut adalah tabel Matriks internal-eksternal atau IE.

Tabel 7. Matriks Internal-Eksternal

	EFAS Rendah (1.0–1.99)	EFAS Sedang (2.0–2.99)	EFAS Tinggi (3.0–4.0)
IFAS Tinggi (3.0–4.0)	<i>Hold & Maintain</i>	<i>Grow & Build</i>	<i>Grow & Build</i>
IFAS Sedang (2.0–2.99)	<i>Harvest</i>	<i>Hold & Maintain</i>	<i>Grow & Build</i>
IFAS Rendah (1.0–1.99)	<i>Harvest</i>	<i>Harvest</i>	<i>Hold & Maintain</i>

Hasil analisis matriks IE berada di posisi kuadran V (*Hold & Maintain*), yang berarti perusahaan berada pada tahap mempertahankan kondisi saat ini. Strategi yang dipilih bersifat konservatif dan difokuskan untuk mempertahankan keunggulan internal perusahaan melalui perbaikan sistem dan efisiensi operasional. Di sisi eksternal, strategi ini menekankan untuk menjaga kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, mempertahankan relasi dengan pihak eksternal, serta memanfaatkan peluang secara selektif tanpa melakukan ekspansi agresif [9]. Berdasarkan pendekatan tersebut, matriks SWOT dapat digunakan PT. XYZ untuk mengembangkan berbagai alternatif strategi yang didasarkan pada kombinasi faktor internal dan eksternal, sehingga strategi yang dihasilkan lebih terarah dan efektif. Berikut merupakan Matriks SWOT untuk penentuan alternatif.

Tabel 8. Matriks SWOT Penentuan Alternatif

IFAS	Kekuatan (Strength)	Kelemahan (Weakness)
EFAS	1. Ketersediaan fasilitas pembakaran limbah karbon internal	1. Belum tersedia sistem daur ulang limbah karbon B3
	2. Manajemen perusahaan mendukung prinsip <i>Green Manufacturing</i>	2. Konsumsi energi listrik dan gas masih tinggi
	3. Sistem pencatatan konsumsi energi dan limbah sudah terdokumentasi	3. Tidak ada sistem kontrol otomatisasi dari pembakaran
	4. SDM produksi memiliki pengalaman yang cukup	4. Minim pelatihan teknis limbah. Kurangnya dokumentasi efektivitas pengelolaan limbah
	5. Perusahaan memiliki sertifikasi ISO lingkungan	5. Belum ada evaluasi berkala terhadap efisiensi produksi
	6. Proses Produksi yang Stabil	

Lanjutan Tabel 8. Matriks SWOT Penentuan Alternatif

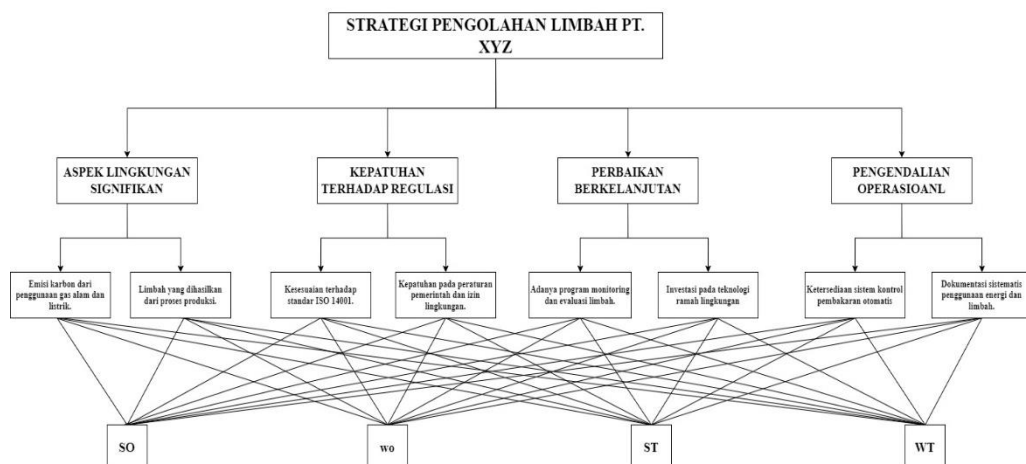
Peluang (Opportunities)	Strategi SO	Strategi WO
1. Regulasi pemerintah yang mendukung pengolahan limbah B3 2. Adanya sertifikasi untuk industri ramah lingkungan 3. Peluang kolaborasi dengan pengelola limbah eksternal 4. Tuntutan pasar terhadap produk ramah lingkungan 5. Program CSR yang membuka kolaborasi lingkungan 6. Perkembangan teknologi pemantauan emisi digital	1. Mengoptimalkan fasilitas pembakaran limbah karbon (S1) dan dukungan manajemen (S2) melalui kerja sama dengan mitra pengolah limbah tersertifikasi (O3) dan program CSR (O5). 2. Meningkatkan dokumentasi konsumsi energi dan pemantauan limbah (S3, S5) sebagai respon terhadap tuntutan pasar atas proses produksi yang ramah lingkungan (O4) dan regulasi lingkungan (O1). 3. Memanfaatkan stabilitas sistem produksi (S6) untuk menyerap perkembangan teknologi pemantauan emisi (O6) dan mendorong efisiensi melalui intensif ramah lingkungan (O2).	1. Membentuk sistem daur ulang limbah internal (W1) melalui kemitraan lingkungan dan teknologi digital pemantauan (O3, O6). 2. Menekan konsumsi energi (W2) dan meningkatkan pelatihan teknis (W4) melalui dukungan pelatihan dari intensif pemerintah (O2). 3. Menyusun sistem audit dan evaluasi berkala (W5, W6) yang sesuai dengan regulasi dan inisiatif <i>Green Manufacturing</i> nasional (O1).
Ancaman (Threats)	Strategi ST	Strategi WT
1. Kenaikan harga energi listrik dan gas yang berkelanjutan 2. Potensi sanksi lingkungan akibat pengelolaan limbah yang tidak optimal 3. Persaingan industri dengan produk ramah lingkungan lebih unggul 4. Perubahan kebijakan di masa depan 5. Ketergantungan bahan baku energi dari luar negeri 6. Fluktuasi nilai tukar memengaruhi biaya operasional	1. Menanggulangi kenaikan biaya energi (T1) dengan mengoptimalkan efisiensi pembakaran (S1) dan manajemen SDM teknis (S4). 2. Mengantisipasi sanksi (T2) dan ketidakpastian kebijakan (T4) dengan mengandalkan dokumentasi dan sertifikasi ISO (S3, S5). 3. Mengurangi efek ketergantungan energi (T5) dengan memperkuat sistem produksi stabil dan teknologi kontrol (S6, S3).	1. Merancang sistem pemantauan otomatis (W3) untuk menghindari sanksi pemerintah dan kebijakan tidak pasti (T2, T6). 2. Menurunkan konsumsi listrik dan gas (W2) agar tidak terlalu terpengaruh fluktuasi energi dan nilai tukar (T1, T6). 3. Meningkatkan efektivitas pelatihan dan evaluasi internal (W4, W5) untuk menjaga daya saing terhadap produk ramah lingkungan (T3).

Berdasarkan tabel Matriks SWOT di atas, didapatkan 4 alternatif yang dapat digunakan untuk strategi pengolahan limbah dan emisi CO di PT. XYZ yang menggunakan alternatif SO, WO, ST, dan WT.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Alternatif strategi yang telah ditetapkan di SWOT akan ditentukan melalui metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), metode AHP merupakan salah satu teknik pengambilan keputusan multikriteria yang efektif dalam mengurutkan prioritas alternatif berdasarkan pembobotan kriteria, terutama pada permasalahan yang melibatkan pertimbangan subjektif dan kuantitatif [10]. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan karena dinilai tepat dalam membantu pengambilan keputusan dalam menentukan alternatif terbaik dari empat pilihan yang sudah diperoleh dari metode SWOT.

Untuk melakukan AHP dilakukan penyusunan hirarki yang dimulai dari menentukan tujuan, kemudian penentuan kriteria dan sub kriteria, dan terakhir adalah penentuan alternatif strategi. Berikut adalah hirarki strategi pengolahan limbah dan emisi CO di PT. XYZ berdasarkan pada kriteria dan alternatif PT. XYZ.

Gambar 1. Hirarki *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Matriks Perbandingan Berpasangan

Nilai matriks perbandingan berpasangan ini diperoleh dari hasil kuisioner yang dilakukan oleh manajer dan staff K3L PT. XYZ. Dengan menggunakan perbandingan berpasangan meruapkan pemberian bobot masing-masing kriteria dan subkriteria berdasarkan dari skala tingkat kepentingan.

Tabel 9. Perbandingan Berpasangan AHP

	K1	K2	K3	K4
K1	1.00	3.56	4.22	5.28
K2	0.28	1.00	1.26	3.56
K3	0.24	0.79	1.00	4.22
K4	0.19	0.28	0.24	1.00
Total	1.71	5.63	6.72	14.06

Keterangan:

K1 = Aspek Lingkungan Signifikan.

K2 = Kepatuhan Regulasi.

K3 = Perbaikan Berkelanjutan.

K4 = Pengendalian Oprasional.

Pengujian Konsistensi Matriks Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria

Untuk mengetahui tingkat konsistensi matrik perbandingan berpasangan antar kriteria pada level tujuan yaitu dengan melakukan pengolahan data matrik perbandingan berpasangan hingga memperoleh nilai *Consistency Ratio* (CR). Berikut merupakan hasil pengujian konsistensi berdasarkan matriks perbandingan berpasangan antar kriteria.

Tabel 10. Pengujian Konsistensi Antar Kriteria

	K1	K2	K3	K4	Eigen Vektor	Eigen Value	λ maks	Consistency Ratio (CR)
K1	0.59	0.63	0.63	0.38	0.56	1.32	4.16	0.06
K2	0.16	0.18	0.19	0.25	0.20	0.16		
K3	0.14	0.14	0.15	0.30	0.18	0.14		
K4	0.11	0.05	0.04	0.07	0.07	0.02		
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			

Berdasarkan data di atas secara umum, tingkat konsistensi kriteria yaitu 0.06 sangat memuaskan yang berarti < 0.10 dimana kriteria ampuh pada pengambilan keputusan menggunakan AHP.

Bobot Alternatif Strategi dan Perangkingan

Setelah bobot untuk masing-masing kriteria dan sub kriteria diketahui maka langkah selanjutnya dapat dilakukan yaitu perhitungan bobot untuk masing-masing alternatif strategi. Tingkat kepentingan untuk masing-masing strategi diperoleh dengan menggunakan kuisioner yang diisi oleh expert yang mana di PT. XYZ diisi oleh manajer dan staff K3L.

Tabel 11. Perhitungan Bobot Alternatif Strategi

Kriteria	Eigen Vektor	Sub Kriteria	Eigen Vektor	Bobot Akhir	Tingkat Kepentingan			
					SO	WO	ST	WT
K1	0.56	SK 1	0.71	0.40	1.99	1.59	1.20	1.99
		SK 2	0.29	0.16	0.81	0.65	0.65	0.81
K2	0.20	SK 1	0.44	0.09	0.35	0.43	0.43	0.35
		SK 2	0.56	0.11	0.33	0.55	0.55	0.33
K3	0.18	SK 1	0.78	0.14	0.71	0.57	0.57	0.71
		SK 2	0.22	0.04	0.20	0.08	0.12	0.20
K4	0.07	SK 1	0.75	0.05	0.10	0.20	0.25	0.10
		SK 2	0.25	0.02	0.07	0.07	0.07	0.07
Total					4.62	4.55	4.13	3.83

Berdasarkan tabel di atas diketahui untuk total dari masing-masing alternatif yaitu untuk strategi SO berjumlah 4.62, strategi WO berjumlah 4.55, strategi ST berjumlah 4.13, dan strategi WT berjumlah 3.83.

Setelah dilakukan perhitungan pembobotan akan dilakukan perangkingan di setiap dari setiap prioritas yang mempertimbangkan nilai dari setiap alternatif strategi. Berikut merupakan ranking dari setiap strategi alternatif yang dapat dilihat pada tabel.

Tabel 12. Perangkingan Alternatif Strategi

Alternatif	Nilai Total	Prioritas
SO (Strength-Opportunities)	4.62	1
WO (Weakness-Opportunities)	4.55	2
ST (Strength-Threats)	4.13	3
WT (Weakness-Threats)	3.83	4

Berdasarkan perangkingan di atas maka nilai SO sebesar 4.62 menjadi strategi pertama yang diusulkan, nilai WO sebesar 4.55 menjadi strategi kedua yang diusulkan, nilai ST sebesar 4.13 menjadi strategi ketiga yang diusulkan, dan nilai WT sebesar 3.83 menjadi strategi terakhir yang diusulkan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penentuan alternatif strategi berdasarkan *Green Manufacturing* dapat disimpulkan sebagai berikut: 1) Dari hasil identifikasi faktor lingkungan signifikan yang mempengaruhi Penentuan strategi *Green Manufacturing* dalam proses produksi di PT. XYZ, yaitu konsumsi energi yang tinggi dari listrik dan gas alam, yang menjadi penyumbang utama emisi karbon CO₂, serta limbah padat berupa sisa powder dan batang karbon yang belum terkelola dengan optimal; 2) Dari hasil analisis emisi gas yang dihasilkan dari gas alam hasil proses *baking* dengan rata-rata emisi sebesar 526.028 kg/CO₂ dan konsumsi rata-rata 287.059 Sm³/bulan. Kemudian konsumsi listrik pada perusahaan juga menghasilkan emisi gas yang dihasilkan dari seluruh proses produksi sebesar 186.661 kg/CO₂ dengan konsumsi rata-rata 219.086 kwh/bulan; 3) Berdasarkan hasil analisis SWOT, diperoleh berbagai faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi pengelolaan limbah dan Penentuan *Green Manufacturing* di PT. XYZ. Terdiri dari 6 faktor *strength*, 6 faktor *weakness*, 6 faktor *opportunities*, dan 6 faktor *threats*; 4) Di peroleh 4 alternatif dalam pengelolaan limbah dan emisi gas di PT. XYZ berdasarkan hasil identifikasi faktor-faktor internal dan eksternal perusahaan, yaitu strategi *strength-opportunities* (SO), strategi *weakness-opportunities* (WO), strategi *strength-threats* (ST), dan strategi *weakness-threats* (WT). Kemudian hasil pengolahan data menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) strategi *strength-opportunities* (SO) dipilih sebagai usulan strategi utama dalam penentuan strategi *Green Manufacturing*. Alternatif strategi SO dipilih karena memiliki bobot tertinggi yaitu 4.62.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. D.H. Adam, Y.N. Supriyadi, Ende, and Z.M.E. Siregar "Green Manufacturing, Green Chemistry and Environmental Sustainability: A Review," *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 9, no. 4, pp. 2209-2211, 2020.
- [2]. I.D. Paul, G.P. Bhole, and J.R. Chaudhari, "A review on green manufacturing: it's important, methodology and its application," *Procedia Materials Science*, vol. 6, pp. 1644–1649, 2014.
- [3]. D. Noorcahyo and H. Ali, "Analisis SWOT IFAS, EFAS dan SPACE Matriks dalam Memperkuat Keunggulan Produk Sepatu Lokal di Era Digital pada Toko XYZ," *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan Nusantara*, vol. 3, no. 1, pp. 31-40, 2025.
- [4]. V.M.R. Rianghepat and T. Inayati, "Perumusan Strategi dengan Analisis SWOT (Studi pada Jasa Titip Barang Jastipsby_Nagi)," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan*, 2024.

- [5]. L. Indra, “Studi Mengenai Penghematan Energi Listrik di Area Umum Apartemen Eksekutif Menteng,” *SADE*, vol. 1, no.2, pp. 69-80, 2021
- [6]. A. Fole, K.N. Safitri, and N. Aini, “Evaluasi strategi green manufacturing dan green distribution terhadap peningkatan kinerja UMKM menggunakan regresi linier dan analisis SWOT,” *J. Liga Ilmu Serantau*, vol. 2, no. 1, pp. 39-52, 2025.
- [7]. A. Ridwan, P.F. Ferdinant, and N.A. Savitri, “Perancangan klaster industri hilir petrokimia dengan pendekatan sistem rantai pasok di Kota Cilegon,” *Journal Industrial Servicess*, vol. 6, no. 2, pp. 155-165, 2021.
- [8]. I. Ramdhani, “Pengukuran Sustainability Development Index untuk Strategi Pengembangan pada PT Rekayasa Putra Mandiri,” Skripsi Teknik Industri, Universitas Trisakti, 2021.
- [9]. M. Meliani, T.E. Astoeti, and Y. Yusra, “Balanced Scorecard Approach in Strategic Decision Making in Development of Executive Clinic Universitas Trisakti Academic Dental Hospital 2023–2027,” *Jurnal Administrasi Bisnis*, vol. 13, no. 1, pp. 45-59, 2024.
- [10]. W. Kosasih, V.Y. Triyani, A. Ahmad, and C.O. Doaly, “Multi Criteria Supplier Selection Using a Hybrid Fuzzy AHP–Taguchi Technique: The Case of Textile Industry,” *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, vol. 8, no. 2, pp. 79–89, 2020.