

Model Pengambilan Keputusan Untuk Analisis Hambatan Manufaktur Berkelanjutan pada Industri Kecil dan Menengah

Hary Fandeli¹, Muhammad Thoriq Habibi Lubis², Aulia Rizki³

^{1,2,3} Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

Jl. Dr. Mohammad Hatta, Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25175

Email: haryfandeli@eng.unand.ac.id, habibilubis@gmail.com, aularizki@gmail.com

ABSTRAK

Industri kecil dan menengah (IKM) memiliki peran strategis dalam perekonomian Indonesia melalui kontribusinya terhadap PDB dan penyerapan tenaga kerja. Namun, meningkatnya tuntutan global terhadap keberlanjutan mendorong IKM untuk menerapkan *sustainable manufacturing*, yaitu praktik produksi yang efisien, ramah lingkungan, dan bertanggung jawab secara sosial. Implementasi konsep ini belum optimal karena keterbatasan modal, teknologi, kapasitas sumber daya manusia, serta lemahnya dukungan eksternal. Hambatan tersebut saling berkaitan dan membentuk sistem yang kompleks sehingga diperlukan analisis yang menyeluruh untuk menentukan strategi penanganan yang tepat. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi hambatan utama, memetakan hubungan antarhambatan, serta menentukan prioritas penanganannya pada IKM di Kota Padang. Metode yang digunakan adalah *Interpretive Structural Modelling* (ISM) untuk menganalisis keterkaitan hierarkis antarhambatan, serta *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan bobot prioritasnya. Hasil penelitian mengidentifikasi sepuluh hambatan dalam empat kategori, yaitu manajerial, finansial, teknologi, dan eksternal. Melalui ISM, kurangnya dukungan pemerintah teridentifikasi sebagai akar hambatan, sedangkan lemahnya dukungan manajemen, tingginya biaya investasi awal, dan sulitnya akses pendanaan menjadi hambatan penggerak. Selanjutnya, hasil AHP menunjukkan bahwa hambatan manajerial dan finansial merupakan hambatan paling krusial yang perlu diprioritaskan penanganannya dibanding hambatan eksternal dan teknologi. Temuan ini memberikan dasar strategis bagi pelaku IKM dan pemangku kepentingan dalam merumuskan langkah percepatan implementasi manufaktur berkelanjutan.

Kata kunci: *Analytical hierarchy process*, Hambatan, *Interpretive Structural Modelling*, Industri kecil dan menengah, Manufaktur berkelanjutan

ABSTRACT

Small and medium enterprises (SMEs) play a strategic role in Indonesia's economy through their contribution to GDP and employment absorption. However, increasing global pressure on sustainability requires SMEs to adopt sustainable manufacturing, defined as production practices that are efficient, environmentally friendly, and socially responsible. The implementation of this concept remains suboptimal due to limitations in capital, technology, human resource capabilities, and weak external support. These barriers are interconnected and form a complex system that requires systematic analysis to formulate effective handling strategies. This study aims to identify key barriers, map their relationships, and determine their handling priorities for implementing sustainable manufacturing in SMEs in Padang City. The research employs Interpretive Structural Modelling (ISM) to analyze hierarchical relationships among barriers and the Analytical Hierarchy Process (AHP) to determine their priority weights. The results identify ten barriers grouped into four categories: managerial, financial, technological, and external. ISM analysis indicates that the lack of government support is the root barrier, while weak managerial commitment, high initial investment costs, and limited access to financing act as driving barriers. Furthermore, AHP results show that managerial and financial barriers are the most critical and should be prioritized over external and technological barriers. These findings provide a strategic foundation for SMEs and policymakers in formulate efforts to accelerate the implementation of sustainable manufacturing.

Keywords: *Analytical Hierarchy Process*, Barriers, *Interpretive Structural Modelling*, *Small and Medium Enterprises*, *Sustainable Manufacturing*.

Pendahuluan

Perkembangan industri manufaktur merupakan salah satu pilar utama dalam pembangunan ekonomi nasional. Di Indonesia, sektor industri telah menjadi kontributor utama terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar, serta mendukung pertumbuhan ekspor nasional. Menurut *Asian Development Bank* (2022), Indonesia termasuk negara yang memiliki potensi besar dalam pengembangan sektor industri berbasis sumber daya alam dan tenaga kerja yang melimpah. Di antara berbagai skala usaha dalam sektor industri, industri kecil dan menengah (IKM) memegang

peranan yang sangat penting, baik secara ekonomi maupun sosial. IKM menjadi tulang punggung perekonomian nasional karena mampu menciptakan lapangan kerja dalam jumlah besar, mendorong pertumbuhan ekonomi daerah, serta meningkatkan nilai tambah produk lokal [1]. Berdasarkan data Kementerian Koperasi dan UKM (2022), lebih dari 99% unit usaha di Indonesia merupakan usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), dan sekitar 60% di antaranya bergerak di sektor manufaktur.

Pertumbuhan IKM di Indonesia cukup signifikan. Berbagai sektor industri muncul dan berkembang secara bertahap dengan dukungan dan kontribusi dari semua pemangku kepentingan, mulai dari pemerintah, sektor swasta, investor, dan akademisi. Seiring dengan meningkatnya jumlah dan peran IKM di berbagai daerah, muncul kebutuhan untuk memastikan bahwa pertumbuhan tersebut tidak hanya berfokus pada aspek ekonomi, tetapi juga mempertimbangkan aspek lingkungan dan sosial [2]. Pertumbuhan IKM yang tidak dikelola secara berkelanjutan berpotensi menimbulkan tekanan terhadap lingkungan, peningkatan limbah industri, serta penggunaan sumber daya yang tidak efisien. Oleh karena itu, penting bagi sektor IKM untuk mulai mengintegrasikan prinsip-prinsip keberlanjutan dalam proses produksinya guna menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan [3].

Dalam beberapa dekade terakhir, isu keberlanjutan telah menjadi perhatian utama dalam berbagai sektor industri, termasuk sektor manufaktur [4]. Perubahan iklim, degradasi lingkungan, dan keterbatasan sumber daya alam mendorong dunia industri untuk bertransformasi menuju praktik yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan [5]. *Sustainable manufacturing* atau manufaktur berkelanjutan merupakan pendekatan strategis yang mengintegrasikan efisiensi proses produksi, pengurangan dampak lingkungan, dan peningkatan kesejahteraan sosial dalam seluruh siklus hidup produk [6]. IKM dituntut untuk mengadopsi praktik manufaktur berkelanjutan yang mencakup efisiensi energi, pengurangan limbah, penggunaan bahan ramah lingkungan, dan peningkatan kesejahteraan sosial [7].

Melihat pentingnya peran industri kecil dan menengah (IKM) dalam struktur ekonomi nasional, serta berbagai tantangan yang dihadapi dalam proses industrialisasi berkelanjutan, penerapan manufaktur berkelanjutan menjadi suatu kebutuhan yang mendesak [8]. Hal ini sejalan dengan dinamika global yang menempatkan isu keberlanjutan sebagai prioritas utama dalam agenda pembangunan masa depan. Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) telah merumuskan *The 2030 Agenda for Sustainable Development* sebagai upaya kolektif global untuk menciptakan dunia yang lebih berkelanjutan. Salah satu elemen penting dalam agenda tersebut adalah menjamin tercapainya sistem manufaktur yang berkelanjutan.

Penerapan manufaktur berkelanjutan di IKM cenderung lebih sulit dibandingkan dengan industri besar karena berbagai keterbatasan yang dihadapi. Hambatan utama meliputi minimnya modal usaha, keterbatasan akses terhadap teknologi hijau, dan rendahnya pemahaman tentang praktik produksi ramah lingkungan. Selain itu, banyak IKM yang belum memiliki kemampuan manajerial yang memadai dan kesulitan mengakses pembiayaan [9]. Minimnya pengetahuan dan kesadaran mengenai pentingnya keberlanjutan di kalangan IKM merupakan tantangan lainnya. Banyak pemilik IKM yang masih berfokus pada keuntungan jangka pendek tanpa menyadari manfaat jangka panjang dari keberlanjutan, baik dalam meningkatkan efisiensi operasional maupun memperkuat daya saing di pasar global [10]. Di tengah keterbatasan tersebut, IKM dihadapkan pada tekanan eksternal berupa meningkatnya permintaan pasar terhadap produk berkelanjutan serta regulasi pemerintah yang semakin ketat terkait standar lingkungan dan keberlanjutan [11].

Pemahaman yang komprehensif terhadap hambatan implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM dan keterkaitannya dalam struktur pengambilan keputusan menjadi penting sebagai dasar perumusan intervensi yang efektif dan kontekstual. Meskipun penelitian terdahulu telah mengidentifikasi berbagai hambatan, sebagian besar masih bersifat parsial dan terbatas pada penyusunan daftar hambatan tanpa analisis hubungan struktural yang sistematis. Pendekatan tersebut belum mampu menjelaskan posisi hierarkis maupun peran relatif hambatan sebagai akar penyebab, pemicu, atau dampak dalam sistem keputusan yang terintegrasi. Selain itu, kajian yang mengombinasikan pemodelan struktural dan penentuan prioritas secara simultan, khususnya melalui integrasi ISM dan AHP, masih terbatas pada konteks IKM di tingkat kota di Indonesia.

Penelitian ini berkontribusi melalui pengembangan model pengambilan keputusan berbasis integrasi ISM dan AHP untuk menganalisis hambatan manufaktur berkelanjutan pada IKM secara sistematis dan kuantitatif. Integrasi ini memungkinkan pemetaan struktur hierarkis hubungan antarhambatan sekaligus penentuan prioritas penanganannya dalam satu kerangka analitis yang utuh. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya menerapkan ISM atau AHP secara terpisah, pendekatan terpadu yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan dukungan pengambilan keputusan yang lebih aplikatif dan relevan dengan karakteristik IKM di tingkat kota. Berdasarkan pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi dan mengklasifikasikan hambatan implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM, (2) menganalisis struktur hubungan antar hambatan menggunakan ISM, dan (3) menentukan tingkat prioritas hambatan menggunakan AHP dalam konteks implementasi manufaktur berkelanjutan di IKM.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif deskriptif sehingga mampu memberikan pemahaman mendalam terhadap fenomena yang kompleks, yaitu hambatan dalam implementasi manufaktur berkelanjutan pada industri kecil dan menengah (IKM). Penelitian dilakukan pada beberapa IKM yang berlokasi di Kota Padang Sumatera Barat. Pemilihan dilakukan secara purposif berdasarkan kriteria keterlibatan aktif dalam proses produksi dan kesediaan untuk berpartisipasi dalam penelitian. Subjek penelitian terdiri beberapa pihak dengan kriteria berikut:

1. Pemilik atau manajer IKM yang telah beroperasi secara aktif minimal lima tahun dan memiliki pengetahuan langsung mengenai proses produksi serta kebijakan internal perusahaan.
2. Tenaga ahli atau akademisi yang memiliki pengalaman yang relevan minimal 5 tahun dalam bidang industri atau manajemen keberlanjutan.
3. Pemangku kepentingan lain seperti perwakilan dinas terkait atau lembaga pendamping IKM

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa teknik yang saling melengkapi untuk memastikan validitas dan kedalaman informasi yang diperoleh. Teknik-teknik tersebut meliputi studi literatur, wawancara mendalam, dan penyebaran kuesioner, yang masing-masing memiliki peran penting dalam mendukung proses analisis menggunakan metode *Interpretive Structural Modelling* (ISM) dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP).

Metode ISM dan AHP dipilih karena karakteristik permasalahan hambatan manufaktur berkelanjutan pada IKM bersifat kompleks, saling terkait, dan melibatkan ketergantungan antar faktor. ISM digunakan untuk memetakan struktur hierarkis hubungan antar hambatan secara sistematis, sehingga mampu mengidentifikasi peran masing-masing hambatan sebagai akar penyebab, penggerak, maupun dampak. Dibandingkan dengan metode seperti DEMATEL yang lebih menekankan intensitas hubungan sebab-akibat, ISM lebih sesuai untuk tujuan penelitian ini karena menghasilkan struktur level hierarki yang jelas dan mudah diinterpretasikan sebagai dasar pengambilan keputusan strategis [12]. Selanjutnya, AHP digunakan untuk menentukan prioritas hambatan secara kuantitatif berdasarkan struktur yang telah dibangun oleh ISM. Dibandingkan metode lain seperti *Best Worst Method* (BWM) atau *Analytic Network Process* (ANP), AHP dipilih karena lebih stabil pada jumlah kriteria yang terbatas, memiliki prosedur konsistensi yang jelas, serta lebih mudah diterapkan oleh pakar dengan latar belakang beragam [13]. Kombinasi ISM-AHP memungkinkan integrasi antara pemodelan struktural dan penentuan prioritas dalam satu kerangka analitis yang koheren, sehingga relevan untuk mendukung pengambilan keputusan pada konteks IKM. Kedua metode ini diintegrasikan untuk menghasilkan model pengambilan keputusan yang komprehensif dalam menangani hambatan manufaktur berkelanjutan pada IKM.

1. Tahapan Analisis ISM

Metode ISM digunakan untuk memetakan hubungan antarahambatan secara hierarkis. Prosedur analisis ISM meliputi:

- a) **Identifikasi Hambatan**
Hambatan-hambatan yang relevan dikumpulkan dari studi literatur dan hasil wawancara dengan informan kunci.
- b) **Penyusunan *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM)**
SSIM disusun berdasarkan penilaian pakar mengenai hubungan antar hambatan, menggunakan symbol untuk menunjukkan arah dan kekuatan pengaruh.
- c) **Konversi ke *Reachability Matrix***
SSIM dikonversi menjadi matriks keterjangkauan biner untuk menunjukkan hubungan langsung antar hambatan.
- d) ***Level Partitioning***
Proses ini digunakan untuk menentukan level hierarki masing-masing hambatan, dari yang paling mendasar hingga yang paling bergantung.
- e) **Penyusunan Model Hierarki**
Hasil akhir berupa diagram struktur hierarki hambatan yang menunjukkan urutan dan pengaruh antarelemen.

2. Tahapan Analisis AHP

Setelah struktur hambatan diperoleh dari ISM, metode AHP digunakan untuk menentukan bobot prioritas masing-masing hambatan. Prosedur AHP meliputi:

- a) **Penyusunan Hierarki Keputusan**
Hambatan-hambatan yang telah dipetakan dijadikan elemen dalam struktur hierarki AHP.
- b) **Penilaian Pairwise Comparison**
Responden diminta membandingkan hambatan secara berpasangan berdasarkan tingkat kepentingan relatif.
- c) **Perhitungan Bobot dan Konsistensi**
Data hasil perbandingan diolah untuk menghasilkan bobot prioritas dan nilai rasio konsistensi. Rasio konsistensi $\leq 0,1$ menunjukkan bahwa penilaian responden dapat diterima.
- d) **Penentuan Prioritas Hambatan**
Hambatan dengan bobot tertinggi dianggap paling kritis dan menjadi fokus utama dalam strategi penanganan.

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Hambatan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi hambatan yang relevan melalui tinjauan pustaka dan wawancara dengan informan kunci. Dari hasil tinjauan pustaka, ditemukan 21 hambatan yang dianggap berpotensi menjadi kendala bagi IKM dalam penerapakan manufaktur berkelanjutan. Selanjutnya, dilakukan analisis untuk mengidentifikasi hambatan yang bersifat redundan atau memiliki makna yang serupa. Hasilnya terdapat pengurangan menjadi 15 hambatan yang lebih spesifik. Proses

validasi terhadap hambatan-hambatan tersebut dilakukan oleh pakar dari kalangan praktisi dan akademisi, dengan menggunakan skala Likert 1-5 untuk mengukur tingkat kesesuaian dan relevansi hambatan.

Penilaian validasi hambatan melibatkan 12 orang pakar yang dipilih secara purposif untuk merepresentasikan berbagai perspektif dalam implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM. Komposisi pakar terdiri dari tujuh praktisi IKM yang memiliki pengalaman operasional minimal lima tahun, tiga akademisi di bidang teknik industri serta dua perwakilan pemerintah daerah/lembaga pendamping IKM. Keterlibatan pakar dengan latar belakang yang beragam ini bertujuan untuk meningkatkan validitas penilaian, mengurangi bias persepsi, serta memastikan bahwa struktur hubungan dan prioritas hambatan yang dihasilkan mencerminkan kondisi nyata di lapangan.

Validitas setiap hambatan dievaluasi menggunakan Item Content Validity Index (I-CVI), yaitu proporsi pakar yang memberikan penilaian relevan (skor 4 atau 5) terhadap total jumlah pakar. Hambatan dinyatakan valid dan dipertahankan dalam analisis lanjutan apabila memiliki nilai $I-CVI \geq 0,78$, sesuai dengan rekomendasi standar validasi konten untuk jumlah pakar yang terbatas [14]. Berdasarkan kriteria tersebut, diperoleh 10 hambatan yang dinilai paling relevan dan layak dianalisis lebih lanjut menggunakan metode ISM dan AHP.

Hambatan-hambatan yang telah diidentifikasi dan divalidasi kemudian dikelompokkan ke dalam empat kategori utama, yaitu manajemen, finansial, teknologi dan eksternal (Tabel 1). Pembagian ini bertujuan untuk memudahkan analisis lebih lanjut dan mengidentifikasi area-area yang membutuhkan perhatian lebih dalam pengembangan.

Tabel 1. Hambatan penerapan manufaktur berkelanjutan di IKM

Kategori	Kode	Hambatan	Referensi
Manajemen	M1	Dukungan <i>top management</i> yang tidak memadai	[15], [16], [17]
	M2	Kurangnya kompetensi manajerial dan karyawan	[16],[18],[15],[19],[16],[20],
	M3	Kekurangan sumber daya manusia	[16],[17]
Finansial	F1	Biaya awal investasi yang tinggi	[20], [21],[22], [23]
	F2	Sulit mendapatkan pinjaman atau pendanaan	[16], [21], [24]
Teknologi	T1	Keterbatasan infrastruktur teknologi	[25], [22], [26]
	T2	Kekhawatiran terhadap keamanan sistem teknologi	[15], [23]
Eksternal	E1	Rantai pasok yang kompleks	[21], [24]
	E2	Sulit mendapatkan pelatihan atau bantuan teknis dari luar	[27], [26]
	E3	Kurangnya dukungan dari pemerintah	[17], [24], [28], [29]

Model Interpretive Structural Modeling

Metode *Interpretive Structural Modeling* (ISM) digunakan untuk memetakan hubungan antar hambatan secara hierarkis. Prosedur analisis ISM meliputi [12]:

1. Penyusunan *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM)

Structural Self-Interaction Matrix (SSIM) disusun untuk menggambarkan hubungan timbal balik antar variabel dalam suatu sistem yang sedang dianalisis. Matriks ini berfungsi sebagai dasar dalam membangun struktur hierarkis antareleman menggunakan metode ISM. Dalam SSIM, setiap pasangan variabel dievaluasi untuk menentukan arah dan sifat hubungan antara keduanya. *Structural self-interaction matrix* untuk hambatan manufaktur berkelanjutan pada IKM dapat dilihat pada Tabel 2. Hubungan tersebut dinyatakan menggunakan empat simbol utama sebagai berikut:

- V : Hambatan i mempengaruhi hambatan j
- A : Hambatan j mempengaruhi hambatan i
- X : Hambatan i dan j saling mempengaruhi
- O : Tidak ada hubungan di antara i dan j

2. *Reachability Matrix*

Reachability matrix dikembangkan dari *Structural Self-Interaction Matrix* (SSIM). Tujuannya adalah untuk mengubah hubungan kualitatif antarvariabel (yang dinyatakan dengan simbol V, A, X, dan O) menjadi bentuk kuantitatif berupa angka biner (1 dan 0). *Matriks keterjangkauan* untuk hambatan manufaktur berkelanjutan pada IKM dapat dilihat pada Tabel 3. Proses konversi dilakukan berdasarkan simbol hubungan pada SSIM dengan aturan berikut:

1. Jika hubungan (i, j) pada SSIM adalah V, maka nilai (i, j) pada *reachability matrix* = 1, dan nilai (j, i) = 0.
2. Jika hubungan (i, j) pada SSIM adalah A, maka nilai (i, j) pada *reachability matrix* = 0, dan nilai (j, i) = 1
3. Jika hubungan (i, j) pada SSIM adalah X, maka nilai (i, j) = 1 dan nilai (j, i) = 1
4. Jika hubungan (i, j) pada SSIM adalah O, maka nilai (i, j) = 0 dan nilai (j, i) = 0.

3. *Penyusunan Conical Matrix*

Penyusunan *conical matrix* dilakukan dengan cara melihat nilai *driven power* dan *dependence power* pada *reachability matrix*. Nilai pada *driven power* akan diurutkan berdasarkan dari nilai yang terbesar. Peringkat tertinggi pada *conical matrix* mempunyai nilai *driven power* yang lebih besar yang berarti mempunyai pengaruh kekuatan yang besar antara subkriteria. Hasil pembuatan *conical matrix* dapat dilihat pada Tabel 4.

4. *Model Interpretive Structural Modelling*

Pembuatan model ISM dilakukan dengan cara mengubah hasil ranking hambatan ke dalam bentuk diagraph ISM. Hambatan dengan nilai *driven power* tertinggi ditempatkan pada level paling akhir. Hal tersebut menunjukkan bahwa hambatan tersebut memiliki kekuatan untuk mempengaruhi subkriteria lain. Model ISM dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2. *Structural self-interaction matrix*

Kode	M1	M2	M3	F1	F2	T1	T2	E1	E2	E3
M1		X	V	X	X	V	V	A	X	A
M2			A	A	A	O	V	O	A	A
M3				A	A	O	O	O	O	A
F1					X	V	O	A	V	A
F2						V	O	A	V	A
T1							X	V	O	A
T2								A	A	A
E1									O	A
E2										A
E3										

Tabel 3. *Reachability matrix*

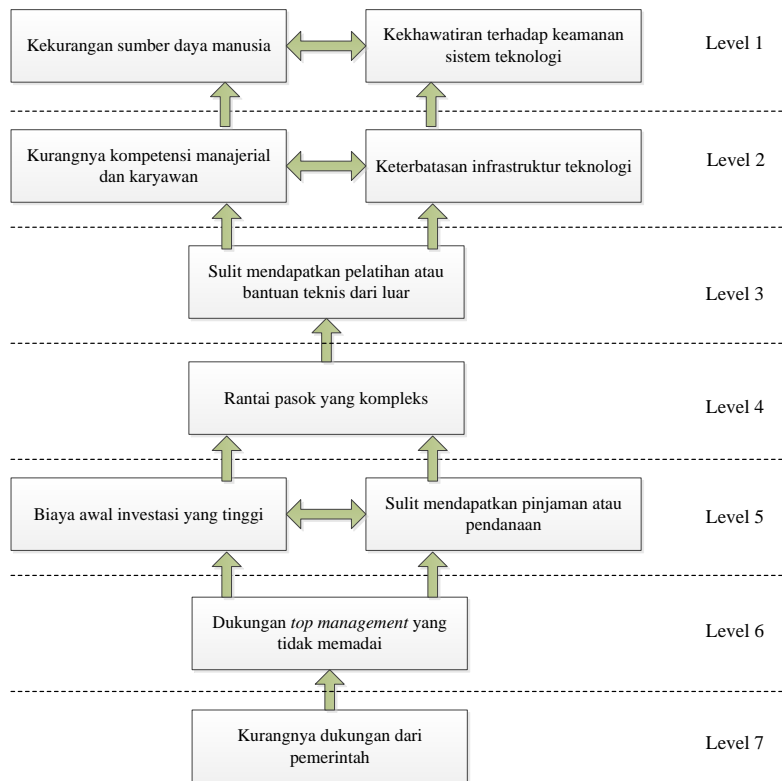
Kode	M1	M2	M3	F1	F2	T1	T2	E1	E2	E3	<i>Driven Power</i>
M1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	8
M2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
M3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2
F1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	7
F2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	7
T1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3
T2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2
E1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	5
E2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	4
E3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
<i>Dependence Power</i>	7	7	5	5	5	6	7	3	5	1	

Tabel 4. *Conical matrix*

Kode	M1	M2	M3	F1	F2	T1	T2	E1	E2	E3	<i>Driven Power</i>	<i>Ranking</i>
M1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	8	2
M2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	6
M3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	7
F1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	7	3
F2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	7	3
T1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	3	6
T2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	7
E1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	5	4
E2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	4	5
E3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1
<i>Dependence Power</i>	7	7	5	5	5	6	7	3	5	1		

Hasil pemodelan ISM menunjukkan bahwa hambatan implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM membentuk struktur hierarkis yang saling terkait dari level fundamental hingga operasional. Kurangnya dukungan pemerintah menjadi akar masalah yang memengaruhi hambatan lain, sehingga menegaskan pentingnya kebijakan dan insentif eksternal dalam ekosistem keberlanjutan IKM. Pada level menengah, lemahnya komitmen top management, tingginya biaya investasi awal, dan keterbatasan akses pendanaan berfungsi sebagai penggerak utama kesiapan internal, sementara keterbatasan kompetensi SDM dan infrastruktur teknologi menjadi hambatan yang konsekuensial.

Struktur ini menegaskan bahwa hambatan manufaktur berkelanjutan pada IKM membentuk hubungan sebab-akibat yang memengaruhi efektivitas intervensi. Oleh karena itu, strategi percepatan perlu diawali dengan penguatan kebijakan dan komitmen manajerial, sebelum diarahkan pada pengembangan kapasitas operasional dan teknologi agar dampaknya optimal dan berkelanjutan.



Gambar 1. Model hambatan manufaktur berkelanjutan

Analytical Hierarchy Process

Metode *analytical hierarchy process* (AHP) digunakan untuk menyelesaikan masalah kompleks dan tidak terstruktur dengan cara menyederhanakannya ke dalam bentuk hierarki, kemudian memberikan penilaian secara berpasangan (*pairwise comparison*) untuk menentukan prioritas atau bobot dari setiap kriteria. Prosedur AHP meliputi:

1. Penyusunan Hierarki

Hambatan-hambatan yang telah dipetakan dijadikan elemen dalam struktur hierarki AHP seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hierarki Hambatan Manufaktur Berkelanjutan

2. Penyusunan Matriks Perbandingan Berpasangan (*Pairwise Comparison*)

Pada tahap ini, setiap kriteria dibandingkan secara berpasangan untuk menilai tingkat kepentingannya relatif terhadap pencapaian tujuan. Penilaian dilakukan menggunakan skala Saaty (1–9), di mana nilai 1 menunjukkan tingkat kepentingan yang sama dan nilai 9 menunjukkan tingkat kepentingan yang sangat dominan. Hasil penilaian pakar dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penilaian *pairwise comparison*

Hambatan	Manajemen	Finansial	Teknologi	Eksternal
Manajemen		5	7	6
Finansial			6	5
Teknologi				1/7
Eksternal				

3. Perhitungan Bobot Prioritas (*Priority Vector*)

Matriks perbandingan yang telah disusun kemudian dinormalisasi untuk memperoleh bobot prioritas setiap kriteria. Bobot tersebut menjadi dasar untuk menentukan kontribusi masing-masing kriteria. Tabel 6 menunjukkan bobot setiap hambatan yang menjadi kendala utama dalam implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM.

Tabel 6. Bobot prioritas hambatan

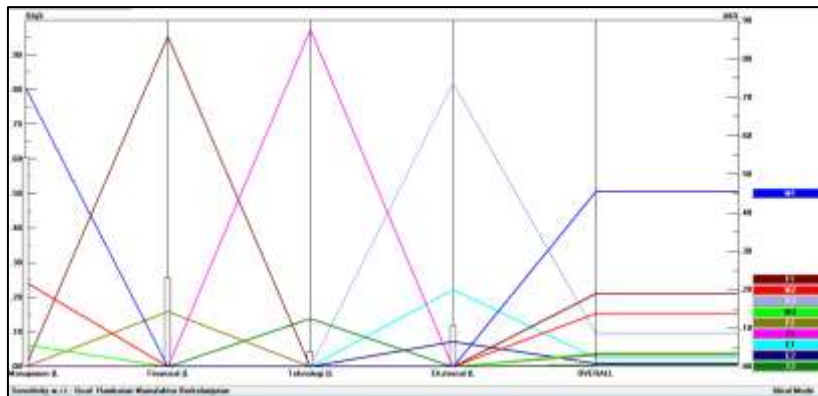
Kategori (Bobot)	Kode	Hambatan	Bobot
Manajemen (0,597)	M1	Dukungan <i>top management</i> yang tidak memadai	0.724
	M2	Kurangnya kompetensi manajerial dan karyawan	0.219
	M3	Kekurangan sumber daya manusia	0.057
Finansial (0.250)	F1	Biaya awal investasi yang tinggi	0.857
	F2	Sulit mendapatkan pinjaman atau pendanaan	0.143
Teknologi (0.039)	T1	Keterbatasan infrastruktur teknologi	0.875
	T2	Kekhawatiran terhadap keamanan sistem teknologi	0.125
Eksternal (0.114)	E1	Rantai pasok yang kompleks	0.199
	E2	Sulit mendapatkan pelatihan atau bantuan teknis dari luar	0.065
	E3	Kurangnya dukungan dari pemerintah	0.736

4. Pengujian Konsistensi (*Consistency Test*)

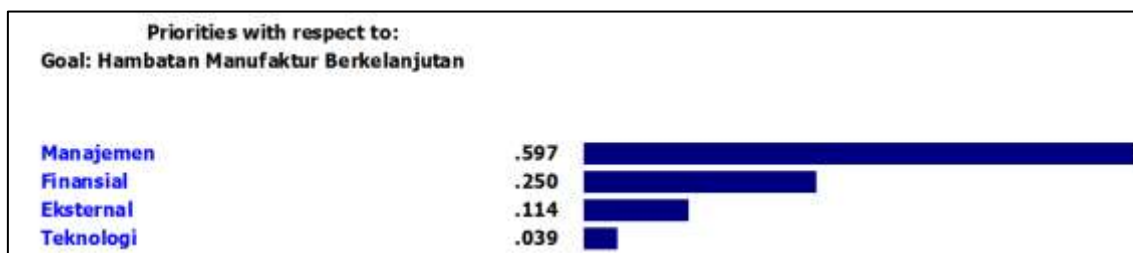
Tahap berikutnya adalah mengukur tingkat konsistensi penilaian responden melalui *Consistency Index (CI)* dan *Consistency Ratio (CR)*. Keputusan dianggap konsisten apabila nilai $CR \leq 0,1$. Jika nilai $CR > 0,1$, penilaian perlu diperbaiki karena dianggap tidak logis atau inkonsisten.

5. Penentuan Prioritas Hambatan

Setelah bobot kriteria dinyatakan konsisten, bobot tersebut dikombinasikan dengan penilaian alternatif pada setiap kriteria. Tahap sintesis ini menghasilkan skor total untuk masing-masing hambatan, sehingga hambatan dengan bobot tertinggi dianggap paling kritis dan menjadi fokus utama dalam strategi penanganan atau intervensi. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan urutan prioritas hambatan yang perlu ditinjaulanjuti segera.



Gambar 3. Bobot hambatan manufaktur berkelanjutan



Gambar 4. Bobot setiap kategori hambatan manufaktur berkelanjutan

Temuan ini menunjukkan bahwa hambatan terbesar dalam implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM berasal dari aspek manajerial dengan bobot kategori 0,597, diikuti hambatan finansial (0,250), eksternal (0,114), dan teknologi (0,039). Pada kategori manajemen, faktor yang paling dominan adalah M1 – dukungan *top management* yang tidak memadai (0,724), menegaskan bahwa komitmen pimpinan merupakan penentu utama keberhasilan penerapan keberlanjutan, dibanding hambatan kompetensi (M2: 0,219) maupun keterbatasan SDM (M3: 0,057). Pada aspek finansial, hambatan terbesar adalah F1 – tingginya biaya investasi awal (0,857), menunjukkan bahwa persepsi beban biaya masih menjadi penghalang utama. Pada hambatan teknologi, yang paling berpengaruh adalah T1 – keterbatasan infrastruktur teknologi (0,875). Sementara pada aspek eksternal, hambatan dominan adalah E3 – kurangnya dukungan pemerintah (0,736), menunjukkan bahwa ekosistem kebijakan belum sepenuhnya mendorong implementasi keberlanjutan pada IKM. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa tantangan utama bersifat internal, terutama pada komitmen manajemen, bukan pada kesiapan teknologi maupun faktor eksternal. Artinya, keberhasilan manufaktur berkelanjutan di IKM lebih membutuhkan penguatan kapasitas organisasi dan kepemimpinan dibandingkan sekadar intervensi teknis.

Temuan ini sejalan dengan studi terdahulu, seperti Jamwal [30] dan Estébanez [31], yang menegaskan bahwa komitmen *top management* merupakan faktor utama dalam keberhasilan implementasi keberlanjutan di sektor manufaktur. Tingginya bobot M1 menunjukkan bahwa implementasi manufaktur berkelanjutan masih dipersepsikan sebagai beban dan bukan sebagai strategi peningkatan daya saing jangka panjang. Sebaliknya, temuan ini tidak sepenuhnya sejalan dengan penelitian Prasad [25], yang menempatkan hambatan teknologi sebagai faktor tertinggi pada negara berkembang. Ketidaksamaan ini dapat dijelaskan oleh karakteristik IKM di Indonesia yang masih padat karya, sehingga permasalahan kebijakan internal lebih krusial dibanding adopsi teknologi. Dominasi hambatan finansial (khususnya biaya awal investasi) juga konsisten dengan literatur seperti Omowole [32] yang menyatakan bahwa keterbatasan finansial menjadi salah satu alasan rendahnya adopsi teknologi hijau pada usaha kecil. Sedangkan pada sisi eksternal, tingginya hambatan E3 menunjukkan bahwa IKM masih sangat bergantung pada insentif, program, dan kebijakan pemerintah, yang menandakan bahwa ekosistem keberlanjutan belum berjalan secara mandiri di tingkat pelaku industri.

Secara praktis, temuan ini memberikan tiga implikasi utama. Pertama, bagi pelaku IKM diperlukan peningkatan komitmen manajerial melalui *alignment leadership*, pelatihan pengambilan keputusan strategis, serta internalisasi perspektif keberlanjutan dalam rencana jangka panjang perusahaan. Kedua, bagi pemerintah, hasil ini menegaskan urgensi penyusunan kebijakan yang lebih kuat, seperti insentif pajak, subsidi investasi awal, kemudahan akses teknologi, dan program asistensi teknis yang terstruktur untuk mendukung adopsi manufaktur berkelanjutan. Ketiga, bagi peneliti dan lembaga pendukung industri, fokus pendampingan perlu diarahkan pada perbaikan kapasitas manajerial, bukan hanya aspek teknologi atau operasional.

Implikasi Penelitian

Integrasi ISM dan AHP dalam penelitian ini memungkinkan pengambilan keputusan yang terstruktur, di mana ISM memetakan hubungan hierarkis antarhambatan dan AHP mengkuantifikasi tingkat kepentingannya. Pendekatan ini tidak hanya mengidentifikasi hambatan prioritas, tetapi juga menjelaskan peran strategisnya dalam sistem keputusan, sehingga penanganan hambatan pada level fundamental dan menengah memberikan efek pengungkit yang lebih besar dibandingkan intervensi operasional.

Hasil ISM dan AHP menunjukkan konsensus bahwa hambatan utama implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM bersifat internal dan strategis, namun sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal berupa dukungan pemerintah. ISM menempatkan kurangnya dukungan pemerintah sebagai elemen dasar yang memengaruhi hambatan lain, sementara AHP memprioritaskan hambatan manajerial dan finansial. Temuan ini menegaskan bahwa komitmen pimpinan dan keberanian investasi memerlukan ekosistem kebijakan dan insentif yang kondusif. Strategi implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM perlu dilakukan secara bertahap dan terpadu, dimulai dari penguatan kebijakan dan peran pemerintah, peningkatan komitmen serta kapasitas manajerial internal, dan dilanjutkan dengan penguatan dukungan finansial serta kesiapan operasional, termasuk pengembangan SDM dan adopsi teknologi yang sesuai.

Dibandingkan dengan studi internasional, temuan penelitian ini menunjukkan perbedaan konteks yang signifikan. Pada banyak negara maju, hambatan utama manufaktur berkelanjutan pada usaha kecil dan menengah umumnya berkaitan dengan adopsi teknologi, kesiapan sumber daya manusia, dan integrasi rantai pasok karena dukungan kebijakan dan infrastruktur yang relatif mapan [33]. Sebaliknya, pada konteks IKM di Indonesia, hambatan fundamental seperti dukungan pemerintah, insentif kebijakan, dan akses pendanaan muncul sebagai faktor penentu utama, yang mencerminkan karakteristik IKM yang masih berorientasi pada keberlangsungan usaha jangka pendek dan beroperasi dalam lingkungan kelembagaan yang belum sepenuhnya mendukung transformasi keberlanjutan.

Simpulan

Penelitian ini mengidentifikasi sepuluh hambatan utama dalam implementasi manufaktur berkelanjutan pada IKM yang dikelompokkan ke dalam empat kategori, yaitu manajerial, finansial, teknologi, dan eksternal, sehingga memberikan gambaran sistematis mengenai sumber-sumber tantangan keberlanjutan. Hasil analisis ISM menunjukkan adanya keterkaitan hierarkis antarhambatan, dengan kurangnya dukungan pemerintah sebagai akar masalah yang memengaruhi hambatan lain, sementara hambatan manajerial dan finansial berperan sebagai penggerak utama, dan hambatan SDM serta teknologi muncul sebagai dampak. Selanjutnya, hasil AHP menegaskan bahwa hambatan manajerial dan finansial menjadi prioritas utama untuk ditangani, sehingga penguatan komitmen manajemen dan dukungan pendanaan merupakan langkah strategis awal sebelum intervensi teknis dilakukan.

Implikasi kebijakan penelitian ini menekankan pentingnya penguatan dukungan pemerintah melalui insentif investasi dan kemudahan regulasi, peningkatan kapasitas manajerial melalui pelatihan keberlanjutan dan pengambilan keputusan strategis, serta pengembangan skema pendanaan yang mudah diakses oleh IKM. Setelah hambatan fundamental dan manajerial dapat diatasi, intervensi selanjutnya dapat difokuskan pada penguatan kapasitas teknis dan adopsi teknologi ramah lingkungan agar implementasi manufaktur berkelanjutan berjalan lebih efektif. Meskipun penelitian ini berhasil mengembangkan model pengambilan keputusan berbasis integrasi ISM-AHP, masih terdapat keterbatasan pada ruang lingkup wilayah yang terbatas dan ketergantungan pada penilaian subjektif pakar. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya

disarankan untuk memperluas cakupan wilayah dan sektor, melibatkan responden yang lebih besar, serta mengombinasikan pendekatan berbasis pakar dengan data kuantitatif empiris guna meningkatkan validitas dan generalisasi hasil.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terimakasih atas pendanaan Kegiatan Penelitian Dosen Teknik Industri melalui Dana RKAT Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Andalas tahun anggaran 2025 dengan nomor surat perjanjian pelaksanaan penelitian: B/74/UN16.09/SPK/PT.01.03/RKAT-UNAND/2025.

Daftar Pustaka

- [1] N. Matei-Ètefan, "The Development Of The Sme Sector In The European And Global Spectrum," *Bus. Excell. Manag.*, vol. 14, pp. 36–42, 2024, Accessed: Jul. 30, 2025. [Online]. Available: <https://ideas.repec.org/a/rom/bemann/v14y2024i4p36-42.html>
- [2] L. Jaroensombut, A. Yiengthaisong, T. Promsaka, and N. Sakolnakorn, "Corporate social responsibility management for sustainable development: A systematic literature review," *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 172–183, 2025, doi: 10.21833/ijaas.2025.01.017.
- [3] D. P. Sari, S. Hartini, F. Alkaisi, and T. R. Naufal, "Sustainable Manufacturing Dan Circular Economy: a Systematic Literature Review," *J@ti Undip J. Tek. Ind.*, vol. 17, no. 3, pp. 191–201, 2022, doi: 10.14710/jati.17.3.191-201.
- [4] A. Setyadi, S. Soekotjo, S. D. Lestari, S. Pawirosumarto, and A. Damaris, "Trends and Opportunities in Sustainable Manufacturing: A Systematic Review of Key Dimensions from 2019 to 2024," *Sustain. 2025*, vol. 17, no. 789, pp. 1–34, Jan. 2025, doi: 10.3390/SU17020789.
- [5] G. Narkhede, S. Chinchankar, R. Narkhede, and T. Chaudhari, "Role of Industry 5.0 for driving sustainability in the manufacturing sector: an emerging research agenda," *J. Strateg. Manag.*, vol. ahead-of-print, no. ahead-of-print, 2024, doi: 10.1108/JSMA-06-2023-0144/FULL/XML.
- [6] F. Espinoza-Castro, A. Lara-Ramírez, and J. Buele, "Environmental Sustainability in Industrial Operations: A Comprehensive Review," *ETCM 2024 - 8th Ecuador Tech. Chapters Meet.*, 2024, doi: 10.1109/ETCM63562.2024.10746185.
- [7] H. Fandeli, N. Jamarun, R. Amani, J. Putri, and F. F. Alvendri, "Pengaruh turbulensi dan keberlanjutan lingkungan terhadap kinerja finansial IKM di kota padang," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 1254–1265, 2025.
- [8] C. Yolanda, "Peran Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah (UMKM) Dalam Pengembangan Ekonomi Indonesia," *J. Manaj. Dan Bisnis*, vol. 2, no. 3, pp. 170–186, 2024, doi: 10.36490/jmdb.v2i3.1147.
- [9] I. D. Mangkau, "Green Environmental Practices in SMEs," *Int. J. Acad. Res. Bus. Soc. Sci.*, vol. 14, no. 6, pp. 529–542, 2024.
- [10] A. Madrid-Guijarro and A. Duréndez, "Sustainable development barriers and pressures in SMEs: The mediating effect of management commitment to environmental practices," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 33, no. 2, pp. 949–967, 2024.
- [11] Afifahtus Syaleha and Muhammad Yasin, "Pola IKM dan UMKM di Bali," *J. Ekon. dan Pembang. Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 09–16, 2024, doi: 10.61132/jepi.v2i2.482.
- [12] R. Attri, N. Dev, and V. Sharma, "Interpretive structural modelling (ISM) approach: an overview," *Res. J. Manag. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 3–8, 2013.
- [13] T. L. Saaty, "Decision making with analytic hierarchy process," *Int. J. Serv. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 83–98, 2008.
- [14] M. R. Lynn, "Determination and quantification of content validity," *Nurs. Res.*, vol. 35, no. 6, pp. 382–386, 1986.
- [15] S. Abdul Basit, B. Gharleggi, K. Batool, S. S. Hassan, A. A. Jahanshahi, and M. E. Kliem, "Review of enablers and barriers of sustainable business practices in SMEs," *J. Econ. Technol.*, vol. 2, pp. 79–94, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.JECT.2024.03.005.
- [16] S. Kumar, R. D. Raut, E. Aktas, B. E. Narkhede, and V. V. Gedam, "Barriers to adoption of industry 4.0 and sustainability: a case study with SMEs," *Int. J. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 36, no. 5, pp. 657–677, May 2023, doi: 10.1080/0951192X.2022.2128217.
- [17] C. H. Dasanayaka, N. Gunarathne, D. F. Murphy, and P. Nagirikandalage, "Triggers for and barriers to the adoption of environmental management practices by small and medium-sized enterprises: A critical review," *Corp. Soc. Responsib. Environ. Manag.*, vol. 29, no. 4, pp. 749–764, Jul. 2022, doi: 10.1002/CSR.2244.
- [18] R. S. Sakataven, S. A. Helmi, and M. Hisjam, "Lean implementation barriers and their contextual relationship in contract manufacturing machining company," *Evergreen*, vol. 8, no. 2, pp. 499–508, 2021, doi: 10.5109/4480735.

- [19] G. C. de O. Junior, J. de S. Pinto, I. S. Rampasso, W. L. Filho, M. P. Serafim, and R. Anholon, "Insertion of Sustainable Practices in Small and Medium-Sized Companies: Analysis of the Main Barriers in the Brazilian Metalworking Sector," *Sustainability*, vol. 13, no. 20, pp. 1–10, 2021, Accessed: Oct. 16, 2025. [Online]. Available: <https://ideas.repec.org/a/gam/jsusta/v13y2021i20p11488-d658796.html>
- [20] J. Álvarez Jaramillo, J. W. Zartha Sossa, and G. L. Orozco Mendoza, "Barriers to sustainability for small and medium enterprises in the framework of sustainable development—Literature review," *Bus. Strateg. Environ.*, vol. 28, no. 4, pp. 512–524, May 2019, doi: 10.1002/BSE.2261.
- [21] A. Chenari, "Understanding Barriers to Sustainable Resource Practices in Small and Medium Enterprises," *J. Resour. Manag. Decis. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 32–38, 2023, doi: 10.61838/KMAN.JRMDE.2.2.6.
- [22] M. Sharma, R. D. Raut, R. Sehrawat, and A. Ishizaka, "Digitalisation of manufacturing operations: The influential role of organisational, social, environmental, and technological impediments," *Expert Syst. Appl.*, vol. 211, p. 118501, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.ESWA.2022.118501.
- [23] H. Gonçalves, V. S. M. Magalhães, L. M. D. F. Ferreira, and A. Arantes, "Overcoming Barriers to Sustainable Supply Chain Management in Small and Medium-Sized Enterprises: A Multi-Criteria Decision-Making Approach," *Sustain.*, vol. 16, no. 2, p. 506, Jan. 2024, doi: 10.3390/SU16020506/S1.
- [24] M. M. Aziz Khan, M. J. Alam, S. Saha, and A. Sayem, "Critical barriers to adopt sustainable manufacturing practices in medium-sized ready-made garment manufacturing enterprises and their mitigation strategies," *Heliyon*, vol. 10, no. 20, p. e39195, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.HELIYON.2024.E39195.
- [25] S. Prasad, A. N. Rao, and K. Lanka, "Analysing the Barriers for Implementation of Lean-led Sustainable Manufacturing and Potential of Blockchain Technology to Overcome these Barriers: A Conceptual Framework," *Int. J. Math. Eng. Manag. Sci.*, vol. 7, no. 6, pp. 791–819, 2022, doi: 10.33889/IJMEMS.2022.7.6.051.
- [26] J. Malek and T. N. Desai, "Prioritization of sustainable manufacturing barriers using Best Worst Method," *J. Clean. Prod.*, vol. 226, pp. 589–600, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.056.
- [27] C. L. Alayón, K. Säfssten, and G. Johansson, "Barriers and Enablers for the Adoption of Sustainable Manufacturing by Manufacturing SMEs," *Sustain.*, vol. 14, no. 4, pp. 1–34, 2022, doi: 10.3390/su14042364.
- [28] S. K. Patra, T. Raj, and B. B. Arora, "An Analysis And Modeling of Selected Barriers For Sustainable Manufacturing System Using ISM Technique," *Int. J. Oper. Res.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.1504/IJOR.2021.10019638.
- [29] A. F. Vasconcelos, I. Antonio, R. González, M. A. Fernández, A. Z. Santiago, and G. Ramage, "Applying a Delphi Method to Assess The Sustainability In Smes : An Approach ff Triple Bottom Line," *Rev. Gestão - RGSA*, vol. 18(11), no. 11, pp. 1–21, 2024.
- [30] A. Jamwal, R. Agrawal, M. Sharma, and A. Giallanza, "Industry 4.0 technologies for manufacturing sustainability: A systematic review and future research directions," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 5725, Jun. 2021, doi: 10.3390/APP11125725.
- [31] R. Pérez Estébanez and F. J. Sevillano Martín, "Business Sustainability and Its Effect on Performance Measures: A Comprehensive Analysis," *Sustain. 2025, Vol. 17, Page 297*, vol. 17, no. 1, p. 297, Jan. 2025, doi: 10.3390/SU17010297.
- [32] Bamidele Micheal Omowole, A. Q. Olufemi-Phillips, Onyeka Chrisanctus Ofodile, Nsisong Louis Eyo-Udo, and Somto Emmanuel Ewim, "Conceptualizing green business practices in SMEs for sustainable development," *Int. J. Manag. Entrep. Res.*, vol. 6, no. 11, pp. 3778–3805, 2024, doi: 10.51594/ijmer.v6i11.1719.
- [33] D. Hariyani, P. Hariyani, and S. Mishra, "A literature review on enablers for the adoption of integrated sustainable green lean six sigma agile manufacturing system (ISGLSAMS)," *Next Res.*, vol. 2, no. 4, p. 100814, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100814>.