



Tersedia secara online di <https://journal.iteba.ac.id/index.php/jmrib>

JMRIB

Jurnal Manajemen Rekayasa dan Inovasi Bisnis



Pengaruh Dukungan eksternal, kepercayaan, dan hambatan terhadap teknologi digital UMKM dengan Structural Equation Modeling

Khairunnisa^{*1}, Ahmad Shalihin² Friska Juliana Hutaauruk³

¹runnieadinegara@gmail.com ²ahmad@usu.ac.id ³friska.industri88@outlook.com

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik & Ilmu Komputer, Universitas Potensi Utama

²Program Studi Teknik Logistik, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

³Program Studi Teknik Industri, Fakultas akultas Teknik dan Komputer, Universitas Putera Batam

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 02 – Januari – 2026
Revised : 03 – Februari – 2026
Accepted : 14 – Februari – 2026

Kata kunci :

Adoption Barriers
Digital Transformation
MSMEs
Structural Equation Modeling
(SEM)

Abstract

This study examines the effects of external support, trust, and barriers on digital technology adoption among micro, small, and medium enterprises (MSMEs). A quantitative method was employed by distributing a survey to 82 MSME participants selected from a population of 455 business units using a 10% margin of error. The data were analyzed using Partial Least Squares-based Structural Equation Modeling (SEM) to simultaneously evaluate the measurement and structural models. The results indicate that all constructs meet the required validity and reliability criteria. External support and trust have positive and significant effects on digital technology adoption, while barriers have a negative and significant effect. Collectively, the three variables explain 62% of the variance in MSMEs' digital technology adoption, with trust emerging as the most dominant factor influencing adoption decisions.

The study concludes that strengthening trust in digital systems, expanding assistance programs, and reducing cost and technical barriers are key drivers of MSME digital transformation. These findings are expected to serve as a foundation for policymakers and stakeholders in developing effective and sustainable strategies to accelerate MSME digitalization.

Abstrak

Pengaruh dukungan eksternal, kepercayaan, dan hambatan terhadap adopsi teknologi digital pada usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) adalah subjek penelitian ini. Metode kuantitatif digunakan survei dikirim ke 82 peserta UMKM yang dipilih dari 455 unit usaha, dengan tingkat kesalahan 10%. Untuk mengevaluasi model pengukuran dan model struktural secara bersamaan, data dianalisis menggunakan *Structural Equation Modeling* (SEM) berbasis *Partial Least Squares*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konstruksi secara

keseluruhan memenuhi validitas dan reliabilitas. Dukungan eksternal dan kepercayaan berdampak positif dan signifikan terhadap adopsi teknologi digital, sedangkan hambatan berdampak negatif dan signifikan. Secara keseluruhan, ketiga variabel tersebut dapat menjelaskan 62% variasi dalam adopsi teknologi digital UMKM. Ini dianggap sebagai faktor yang paling dominan dalam memengaruhi keputusan adopsi.

Penelitian ini menemukan bahwa beberapa faktor penting yang mendorong transformasi digital UMKM adalah peningkatan kepercayaan terhadap sistem digital, pengembangan program pendampingan, dan pengurangan hambatan biaya dan teknis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar untuk membuat kebijakan dan strategi praktis untuk mempercepat digitalisasi UMKM secara berkelanjutan.

1. Pendahuluan

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) di Indonesia menghadapi banyak tantangan dan peluang saat mengadopsi teknologi digital. Kota Medan memiliki banyak UMKM di tingkat lokal. Sebagai informasi yang dikumpulkan oleh Dinas Koperasi dan UKM Kota Medan, hingga tahun 2022 akan ada 38.343 UMKM yang terdaftar secara resmi dan berkontribusi signifikan terhadap penyerapan tenaga kerja, yang mencakup sekitar 1.266.079 orang dari total populasi 2.460.858 orang. Namun, skala UMKM tersebut belum sepenuhnya diikuti oleh pemanfaatan teknologi digital secara optimal dalam kegiatan usaha sehari-hari. Akibatnya, potensi digitalisasi untuk meningkatkan produktivitas belum terpenuhi sepenuhnya [1].

Secara nasional, Badan Pusat Statistik (BPS) menemukan bahwa jumlah unit usaha yang belum menggunakan internet masih lebih besar daripada yang telah menggunakannya pada sebagian besar sektor usaha yang diklasifikasikan oleh KBLI. Fenomena ini menunjukkan bahwa usaha kecil dan menengah (UMKM) di Indonesia masih menggunakan teknologi digital secara rendah dan tidak merata. Menurut data BPS Sumatera Utara, terdapat 239.832 pekerja berusaha sendiri, dengan 197.109 orang dalam kelompok usia produktif 25–64 tahun, 30.245 orang dalam kelompok usia muda 15–24 tahun, dan 9.772 orang dalam kelompok usia lanjut ≥ 65 tahun. Meskipun dominasi kelompok usia produktif ini menunjukkan peluang besar untuk percepatan digitalisasi UMKM, kehadiran kelompok usia lanjut juga dapat menjadi kendala karena jumlah pekerja yang berusia lebih dari 65 tahun [2].

Dalam sepuluh tahun terakhir, sejumlah penelitian telah mempelajari adopsi teknologi pada UMKM. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa faktor lingkungan, organisasi, dan karakteristik teknologi memengaruhi keputusan usaha untuk digitalisasi. Studi-studi

tersebut juga mengungkap peran penting dukungan pemerintah, biaya adopsi, dan kesiapan organisasi untuk menggunakan teknologi digital, termasuk dengan menggunakan metode modeling equation struktural [3]. Namun, sebagian besar penelitian masih memeriksa faktor-faktor tersebut secara parsial atau berfokus pada dampak adopsi terhadap kinerja usaha, tanpa memeriksa bagaimana dukungan eksternal, kepercayaan, dan hambatan biaya berinteraksi satu sama lain dalam model struktural yang komprehensif. Ini terutama berlaku untuk UMKM di kota-kota Indonesia [4].

Dengan demikian, masalah yang jelas dengan penelitian ini adalah bahwa penelitian empiris yang mengintegrasikan ketiga faktor utama tersebut dalam satu kerangka analisis berbasis SEM [5] mengaitkannya dengan kondisi demografis UMKM yang ditunjukkan dalam data statistik resmi BPS masih belum selesai. Akibatnya, fokus penelitian ini adalah membangun model struktural yang menguji secara bersamaan pengaruh dukungan eksternal, kepercayaan, dan hambatan yang dihadapi [6], [7].

Fokus penelitian ini adalah pelaku UMKM lintas sektor usaha yang masih menghadapi tantangan dalam pemanfaatan teknologi digital, meskipun memiliki potensi besar dari sisi jumlah dan struktur usia produktif. Berdasarkan literatur, UMKM memiliki keunggulan dalam fleksibilitas usaha dan kedekatan dengan pasar, tetapi sering terkendala oleh keterbatasan sumber daya, akses ke pelatihan, dan persepsi risiko teknologi. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis lebih mendalam dalam kerangka ilmiah [8].

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji "Pengaruh Dukungan Eksternal, Kepercayaan, dan Hambatan terhadap Adopsi Teknologi Digital UMKM dengan SEM (Structural Equation Modeling)." Keputusan untuk menggunakan metode SEM didasarkan pada fakta bahwa metode ini memiliki kemampuan untuk menguji hubungan kausal antara konstruk laten secara bersamaan dan memberikan gambaran menyeluruh tentang faktor-faktor yang menentukan digitalisasi UMKM. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi teoreti.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, menggunakan desain survei eksplanatori. Tujuannya adalah untuk menentukan pengaruh dukungan eksternal, kepercayaan, dan tantangan terhadap adopsi teknologi digital pada UMKM. Data dikumpulkan melalui kuesioner terstruktur, dan analisis data dilakukan melalui model persamaan struktural (SEM) [9].

Sebanyak 455 unit usaha kecil dan menengah (UMKM) yang terdaftar di wilayah penelitian adalah populasi penelitian. Jumlah sampel dihitung menggunakan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan 10%. Hasilnya adalah 82 responden.

Memastikan bahwa setiap anggota populasi memiliki peluang yang sama untuk terpilih, probabilitas pengambilan sampel digunakan dalam metode pengambilan sampel.

Tabel 1. Data Penggunaan Teknologi

Tingkat Penggunaan Teknologi	Jumlah pengguna teknologi
Belum menggunakan digital	170
Media sosial saja	145
Marketplace / pembayaran digital	105
Sistem digital lengkap	35
Total	455

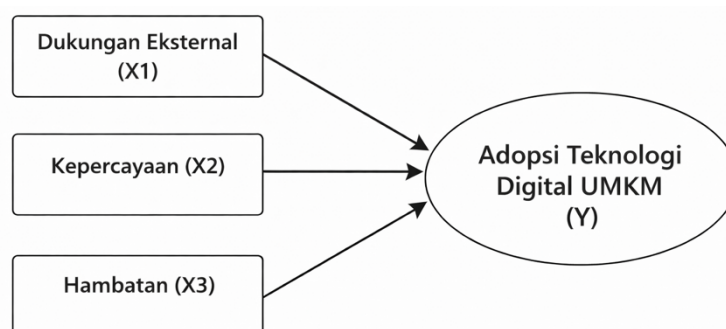
(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

Data utama dikumpulkan melalui kuesioner tertutup yang disebarakan baik secara langsung maupun melalui internet kepada pemilik atau pengelola UMKM. Poin dalam skala Likert berkisar dari satu hingga lima, yang menunjukkan ketidaksepakatan total. Semua informasi diperiksa secara kuantitatif.

Instrumen penelitian berupa kuesioner yang mengukur empat konstruk laten utama:

- Dukungan Eksternal (X1) : pelatihan digital, pendampingan, akses infrastruktur, bantuan pemerintah/komunitas[10].
- Kepercayaan (X2) : keamanan transaksi, perlindungan data, keandalan sistem digital[11].
- Hambatan (X3) : biaya implementasi, keterbatasan waktu, kesulitan teknis.[12]
- Adopsi Teknologi Digital (Y) : penggunaan internet bisnis, marketplace, pembayaran digital, aplikasi keuangan[2].

Kerangka Konseptual Penelitian:



Gambar 1. Kerangka Konseptual

(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

Perangkat lunak SmartPLS melakukan tiga tahap utama untuk melakukan analisis data menggunakan SEM berbasis Partial Least Squares:

Evaluasi Outer Model (Model Pengukuran):

1. Menguji validitas dan reliabilitas indikator melalui nilai outer loading ($>0,70$), Average Variance Extracted (AVE $>0,50$), Composite Reliability, dan Cronbach's Alpha.
2. Evaluasi Inner Model (Model Struktural):
Menilai hubungan antar konstruk menggunakan nilai koefisien jalur, R^2 , ukuran efek (f^2), serta predictive relevance (Q^2).
3. Uji Hipotesis:
Pengujian signifikansi pengaruh antar variabel dilakukan melalui prosedur bootstrapping dengan kriteria nilai t-statistic $>1,96$ dan p-value $<0,05$.

3. Hasil dan Pembahasan

Evaluasi Outer Model

- a. Validitas konvergen, juga dikenal sebagai validitas konvergen, diuji dengan memeriksa nilai beban luar masing-masing indikator terhadap konstruk laten [3]. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua indikator untuk variabel Dukungan Eksternal, Kepercayaan, Hambatan, dan Adopsi Teknologi Digital memiliki nilai pengisian luar di atas 0,70, dengan rentang nilai antara 0,71 dan 0,89. Seluruh indikator ditunjukkan valid secara konvergen, dan nilai tersebut memenuhi kriteria minimum yang disarankan. Akibatnya, indikator-indikator ini layak untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut.

Tabel 2. Uji validitas konvergen

Indikator	X1	X2	X3	Y
1	0,78	0,82	0,76	0,84
2	0,81	0,79	0,73	0,80
3	0,75	0,85	0,71	0,77
4	0,83	0,81	0,74	0,82

(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

- b. Untuk menguji reliabilitas konstruk, Cronbach's Alpha dan Composite Reliability (CR) digunakan. Hasilnya menunjukkan bahwa semua konstruk memiliki nilai Cronbach's Alpha di atas 0,70, dengan nilai Dukungan Eksternal sebesar 0,83, Kepercayaan sebesar 0,86, Hambatan sebesar 0,79, dan Adopsi Teknologi Digital

sebesar 0,88. Nilai Reliabilitas Komposit juga berada di atas batas minimum 0,70, dengan nilai Dukungan Eksternal sebesar 0,88, Kepercayaan sebesar 0,90 untuk Kepercayaan, 0,85 untuk Hambatan, dan 0,91 untuk Adopsi Teknologi Digital. Dengan demikian, seluruh konstruk dinyatakan reliabel.

- c. Nilai AVE digunakan untuk menentukan seberapa besar varians indikator yang dapat dijelaskan oleh konstruk laten. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap variabel memiliki nilai AVE di atas 0,50; Dukungan Eksternal sebesar 0,59, Kepercayaan sebesar 0,64, Hambatan sebesar 0,56, dan Adopsi Teknologi Digital sebesar 0,67. Ini menunjukkan bahwa setiap konstruksi memiliki validitas konvergen yang baik.

Tabel 3. Reliability & AVE

Variabel	Cronbach Alpha	Composite Reliability	AVE
Dukungan Eksternal (X1)	0,82	0,88	0,65
Kepercayaan (X2)	0,84	0,90	0,69
Hambatan (X3)	0,78	0,86	0,60
Adopsi Teknologi (Y)	0,87	0,92	0,71

(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

- d. Uji *Discriminant Validity* dilakukan dengan cross-loading dan kriteria Fornell–Larcker. Nilai akar kuadrat AVE pada semua bangunan lebih tinggi daripada korelasi antar bangunan [13]. Selain itu, setiap indikator menunjukkan tingkat pengaruh terbesar pada struktur yang diukur. Oleh karena itu, setiap konstruk yang dimasukkan ke dalam model memenuhi syarat validitas diskriminan.

Tabel 4. Discriminant Validity — Fornell-Larcker

Variabel	X1	X2	X3	Y
X1	0,81			
X2	0,53	0,83		
X3	0,47	0,44	0,77	
Y	0,58	0,61	0,42	0,84

(Sumber : Pengolahan Data, 2026)

Evaluasi Inner Model

- a. Koefisien Determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur kemampuan variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai R^2 untuk variabel Adopsi Teknologi Digital sebesar 0,62. Hal ini mengindikasikan bahwa Dukungan Eksternal, Kepercayaan, dan Hambatan secara simultan mampu menjelaskan 62% variasi dalam adopsi teknologi digital UMKM, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model.

Tabel 5. Koefisien Determinasi (R^2)

Variabel Endogen	R-Square
Adopsi Teknologi Digital (Y)	0,62

Sumber : Pengolahan Data, 2026)

- b. Ukuran kontribusi masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen dihitung dengan menggunakan efek nilai f^2 . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dukungan eksternal memiliki nilai f^2 sebesar 0,21 untuk kategori sedang; kepercayaan memiliki nilai f^2 sebesar 0,27 untuk kategori sedang hingga kuat; dan hambatan memiliki nilai f^2 sebesar 0,12 untuk kategori kecil hingga sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa kepercayaan adalah faktor terbesar yang mempengaruhi adopsi teknologi digital oleh UMKM.

Tabel 6. *Effect Size (f^2)*

Jalur	f^2	Kategori
X1 → Y	0,18	Sedang
X2 → Y	0,24	Sedang
X3 → Y	0,11	Kecil

Sumber : Pengolahan Data, 2026)

- c. Uji hipotesis dilakukan melalui prosedur bootstrapping dengan melihat nilai koefisien jalur (path coefficient), t-statistic, dan p-value.

Tabel 7. *Uji Hipotesis — Direct Effect*

Jalur	Koefisien	t-stat	p-value	Keputusan
X1 → Y	0,31	3,45	0,001	Diterima
X2 → Y	0,38	4,02	0,000	Diterima
X3 → Y	-0,21	2,87	0,004	Diterima

Sumber : Pengolahan Data, 2026)

Hasil evaluasi beban luar model menunjukkan bahwa semua indikator memiliki nilai beban luar di atas 0,70, yang menunjukkan bahwa perangkat penelitian telah memenuhi kriteria validitas konvergen. Untuk memastikan bahwa variabel dukungan eksternal, kepercayaan, hambatan, dan adopsi teknologi digital diukur secara konsisten dan reliabel, nilai Cronbach's Alpha, Composite Reliability, dan Average Variance Extracted (AVE) pada seluruh struktur berada di atas batas minimum yang disarankan. Selain itu, uji validitas diskriminan menggunakan kriteria Fornell–Larcker menunjukkan bahwa setiap konstruk memiliki fitur unik dan tidak saling tumpang tindih secara konseptual. Oleh karena itu, model pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini dapat diterima dengan baik.

Dalam evaluasi internal model, nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,62 menunjukkan bahwa hambatan, dukungan eksternal, dan kepercayaan secara bersamaan

dapat menjelaskan sebagian besar variasi dalam adopsi teknologi digital UMKM. Hasil ukuran efek (f^2) menunjukkan bahwa kepercayaan memberikan kontribusi terbesar terhadap adopsi teknologi, diikuti oleh dukungan eksternal, sementara hambatan memberikan kontribusi yang lebih kecil tetapi masih signifikan. Selain itu, uji hipotesis menunjukkan bahwa dukungan eksternal dan kepercayaan berdampak positif besar terhadap adopsi teknologi digital, sedangkan hambatan berdampak negatif besar.

Hasil menunjukkan bahwa ketersediaan teknologi bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi keberhasilan digitalisasi UMKM; tingkat kepercayaan pelaku usaha terhadap sistem digital dan dukungan lingkungan yang memadai juga sangat penting. Melalui kebijakan yang tepat, hambatan biaya dan teknis masih menjadi penghalang. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa strategi terintegrasi sangat penting untuk mendorong adopsi teknologi digital oleh UMKM, terutama melalui peningkatan kepercayaan, pengembangan program pendampingan, dan pengurangan hambatan implementasi teknologi.

Hasil evaluasi internal model menunjukkan bahwa variabel Kepercayaan (X_2) adalah faktor yang paling dominan dalam memengaruhi adopsi teknologi digital UMKM, seperti yang ditunjukkan oleh nilai koefisien jalur tertinggi sebesar 0,38 dibandingkan dengan Dukungan Eksternal (0,31) dan Hambatan (-0,21), serta nilai t-statistik tertinggi sebesar 4,02, yang menunjukkan signifikansi statistik yang lebih besar. Temuan ini diperkuat oleh hasil ukuran efek (f^2), di mana Kepercayaan memiliki nilai f^2 sebesar 0,24, lebih tinggi dibandingkan Dukungan Eksternal (0,18) dan Hambatan (0,11). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Kepercayaan memberikan kontribusi paling besar dalam menjelaskan variasi adopsi teknologi digital UMKM dalam model penelitian ini.

4. Kesimpulan

Penelitian ini melakukan analisis tentang pengaruh dukungan eksternal, kepercayaan, dan hambatan terhadap adopsi teknologi digital pada UMKM dengan menggunakan metode Structural Equation Modeling (SEM). Hasilnya menunjukkan bahwa model pengukuran memenuhi semua kriteria validitas dan kepercayaan, dan model struktural memiliki daya jelaskan yang kuat; ketiga variabel independen dapat secara bersamaan menjelaskan 62% variasi dalam adopsi teknologi digital di UMKM.

Dukungan eksternal dan kepercayaan berpengaruh positif secara parsial terhadap adopsi teknologi digital, sedangkan hambatan berpengaruh negatif secara signifikan. Kepercayaan

terbukti sebagai variabel paling dominan dari ketiga faktor tersebut, menunjukkan bahwa persepsi keamanan sistem digital, perlindungan data, dan keandalan teknologi menjadi faktor utama dalam keputusan UMKM untuk menggunakan teknologi.

Hasilnya menunjukkan bahwa kebijakan yang diperlukan untuk memperkuat program pendampingan digital UMKM dengan memberikan pelatihan berkelanjutan, meningkatkan pengetahuan tentang keamanan siber, dan memberikan insentif atau subsidi untuk menekan biaya adopsi teknologi. Diharapkan pemerintah daerah, lembaga pendamping, dan penyedia platform digital dapat bekerja sama untuk membangun ekosistem digital yang aman, terjangkau, dan mudah diakses bagi usaha kecil dan menengah (UMKM).

Disarankan agar penelitian selanjutnya melihat faktor tambahan seperti literasi digital, kesiapan organisasi, tekanan kompetitif, dan peran inovasi teknologi. Penelitian lanjutan juga dapat menggunakan pendekatan longitudinal atau cakupan wilayah yang lebih luas untuk mengamati dinamika adopsi teknologi UMKM dari waktu ke waktu. Ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang proses transformasi digital di industri ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Industries, “Profil Industri Mikro dan Kecil,” vol. 13, 2023.
- [2] A. Saihi, M. Ben-daya, M. Hariga, and R. As, “Computers and Education : Artificial Intelligence A Structural equation modeling analysis of generative AI chatbots adoption among students and educators in higher education,” *Comput. Educ. Artif. Intell.*, vol. 7, no. July, p. 100274, 2024, doi: 10.1016/j.caeai.2024.100274.
- [3] N. Ul and M. I. Khan, “Journal of Open Innovation : Technology , Market , and Complexity Factors influencing circular economy business model adoption: Evidence from NCA and PLS-SEM,” *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.*, vol. 12, no. 1, p. 100697, 2026, doi: 10.1016/j.joitmc.2025.100697.
- [4] K. Mulchandani, S. Singh, and K. Mulchandani, “Asia Pacific Management Review Determining supply chain effectiveness for Indian MSMEs : A structural equation modelling approach,” *Asia Pacific Manag. Rev.*, vol. 28, no. 2, pp. 90–98, 2023, doi: 10.1016/j.apmr.2022.04.001.
- [5] A. A. Dermawan, “Analisis Faktor-faktor Pengaruh Keputusan Pembelian Produk Kosmetik Skin Care melalui Offline dan Online,” 2020. [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/28331>
- [6] M. Muqimuddin, A. A. Darmawan, and B. N. Abdallah, “Prioritas Penyelesaian Akar Masalah Kualitas Palm Kernel Oil Dengan Memperhatikan Uncertain Information,” *J. Optimasi Tek. Ind.*, vol. 4, no. 2, p. 51, 2022, doi: 10.30998/joti.v4i2.13631.
- [7] A. Agung Dermawan, H. Nasution, and M. Haikal Sitepu, “The impact of branding on purchasing decision-making in mall shopping and online shopping,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 801, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/801/1/012146.
- [8] N. S. Lestari, D. Rosman, and I. Triana, “ScienceDirect ScienceDirect Analyzing Analyzing the the Effect Effect of of Innovation Innovation and and Strategic Strategic Planning Planning on on MSME Performance , Utilizing Technology Adoption as a MSME Performance , Utilizing Technology Adoption as a Moderator Moderator,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 245, pp. 500–507, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2024.10.276.
- [9] M. A. Hafish, I. Masudin, F. Zulfikarijah, T. Nasyiah, and D. P. Restuputri, “An integrated structural equation modeling and fuzzy qualitative comparative analysis model for examining green procurement adoption drivers,” *Decis. Anal. J.*, vol. 11, 2024, doi: 10.1016/j.dajour.2024.100469.
- [10] A. Mohaghar, R. Ghasemi, and M. Taghipour, “Supply Chain Analytics An empirical study on technology adoption and supply chain optimization using structural modeling,” *Supply Chain Anal.*, vol. 13, no. May 2025, p. 100181, 2026, doi: 10.1016/j.sca.2025.100181.
- [11] D. Tbaishat, O. Alfandi, F. Hamad, S. Muhammad, S. Bukhari, and S. Al, “Computers and Education : Artificial Intelligence Modeling generative AI adoption in higher education : An integrated TAM – TPB – SDT framework with SEM validation,” *Comput. Educ. Artif. Intell.*, vol. 10, no. January, p. 100541, 2026, doi: 10.1016/j.caeai.2026.100541.
- [12] O. S. Taha, A. Alshibani, A. S. Alturaik, M. A. Mahmoud, A. Mohammed, and M.

A. Hassanain, “Results in Engineering Digital technologies and sustainability barriers in heavy construction: A structural equation modeling study on triple-bottom-line outcomes,” *Results Eng.*, vol. 28, no. August, p. 107808, 2025, doi: 10.1016/j.rineng.2025.107808.

[13] N. Abdulaziz, S. Norul, and H. Sheikh, “Heliyon Geographic information systems adoption model: A partial least square-structural equation modeling analysis approach,” *Heliyon*, vol. 10, no. 15, p. e35039, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e35039.