

Pemodelan Keputusan Jaringan Analytic Network Process Untuk Risiko, Daya Saing, Dan Keberlanjutan Industri Hilir Sawit

Wiky Sabardi^{1*}, Ryan Pramanda¹, Novianda¹, Asyahri Hadi Nasyuha²

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Meurandeh, Kota
Langsa, Aceh, Indonesia

²Sistem Informasi, Universitas Teknologi Digital Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

^{1*}wikysabardi@unsam.ac.id, ²ryanpramanda@unsam.ac.id, ³novianda@unsam.ac.id,
⁴asyahrihadi@gmail.com

Abstrak: Ekosistem agroindustri hilir dan manufaktur ditandai oleh saling ketergantungan yang kompleks serta adanya mekanisme umpan balik yang melibatkan variabel operasional, keandalan rantai nilai, mitigasi risiko kegagalan aset proses termal, daya saing pasar global, dan kepatuhan terhadap aspek keberlanjutan (ESG/RSPO/ISPO). Pendekatan hierarkis linear tradisional tidak memadai untuk menangkap dinamika jaringan pengambilan keputusan semacam itu. Studi ini menggunakan metode komputasi Analytic Network Process (ANP) untuk menyusun model manajemen risiko terintegrasi bagi industri hilir kelapa sawit dan oleokimia. Berdasarkan tinjauan pustaka sistematis yang mencakup teori keputusan jaringan, ketahanan rantai pasok cerdas, optimalisasi rantai nilai kelapa sawit terintegrasi, degradasi aset proses termofluida, dan keunggulan komparatif internasional, model ini diuraikan menjadi 13 sub-kriteria dominan dalam tiga kluster utama Risiko (K1), Daya Saing (K2), dan Keberlanjutan (K3) serta lima alternatif strategi manajemen (a1–a5). Proses komputasi melibatkan penyusunan *Unweighted Supermatrix*, transformasi stokastik menjadi *Weighted Supermatrix*, dan pencapaian keseimbangan konvergen melalui *Limit Supermatrix* ($\lim_{k \rightarrow \infty} W_k$). Seluruh perbandingan berpasangan menunjukkan konsistensi matematis, dengan Indeks Ketidakkonsistenan kurang dari 0,10. Sintesis prioritas global mengungkapkan bahwa Strategi Penetapan Harga dan Pemasaran (a3; 24,82%) serta Manajemen Lingkungan (a5; 24,67%) menempati peringkat sebagai strategi yang sama-sama dominan, dengan selisih tipis hanya 0,15%, diikuti oleh Diversifikasi Bisnis (a4; 20,51%), Investasi Teknologi dan Digitalisasi (a2; 17,90%), dan Penguatan Rantai Pasok (a1; 12,11%). Temuan empiris ini mengonfirmasi paradigma tekanan ganda yakni menyeimbangkan fleksibilitas komersial dan kepatuhan ekologis mutlak dalam industri hilir bernilai tambah tinggi.

Kata Kunci: Analytic Network Process; Manajemen Risiko; Daya Saing; Keberlanjutan; Rantai Pasok Sawit

Abstract: The ecosystem of downstream agro-industry and manufacturing is characterized by complex interdependencies and feedback loops involving operational variables, value chain reliability, risk mitigation regarding thermal

process asset failure, global market competitiveness, and sustainability compliance (ESG/RSPO/ISPO). Traditional linear hierarchical approaches are inadequate for capturing the dynamics of such decision networks. This study employs the Analytic Network Process (ANP) computational method to synthesize an integrated risk management model for the downstream palm oil and oleochemical industries. Based on a systematic literature review covering network decision theory, smart supply chain resilience, integrated palm oil value chain optimization, thermofluid process asset degradation, and international comparative advantage, the model is decomposed into 13 dominant sub-criteria across three main clusters Risk (K1), Competitiveness (K2), and Sustainability (K3) alongside five management strategy alternatives (a1–a5). The computational process involves constructing an Unweighted Supermatrix, performing a stochastic transformation into a Weighted Supermatrix, and achieving convergent equilibrium via the Limit Supermatrix ($\lim_{k \rightarrow \infty} W_k$). All pairwise comparisons demonstrated mathematical consistency, with an Inconsistency Index of less than 0.10. The synthesis of global priorities reveals that Pricing and Marketing Strategy (a3; 24.82%) and Environmental Management (a5; 24.67%) rank as co-dominant strategies, separated by a marginal difference of only 0.15%, followed by Business Diversification (a4; 20.51%), Technology Investment and Digitalization (a2; 17.90%), and Supply Chain Strengthening (a1; 12.11%). These empirical findings confirm the dual-pressure paradigm balancing commercial flexibility and absolute ecological compliance within high-value-added downstream industries.

Keywords: Analytic Network Process; Risk Management; Competitiveness; Sustainability; Palm Oil Supply Chain

1. PENDAHULUAN

Industri hilir manufaktur, khususnya agroindustri hilir kelapa sawit dan oleokimia, kini menjadi salah satu pilar utama perekonomian nasional sekaligus arena persaingan global yang menuntut efisiensi biaya, inovasi teknologi, dan kepatuhan lingkungan secara bersamaan. Dinamika persaingan industri modern tidak lagi ditentukan semata oleh keunggulan komparatif biaya faktor produksi konvensional, melainkan oleh kapabilitas integrasi teknologi cerdas, efisiensi rantai pasok sirkular tertutup, ketahanan infrastruktur termofluida, serta kepatuhan ketat terhadap regulasi lingkungan internasional [1], [2].

Pada industri hilir kelapa sawit, fluktuasi harga bahan baku tandan buah segar (TBS) dan Crude Palm Oil (CPO), ketidakpastian pasar derivatif ekspor, risiko operasional fasilitas termal, hambatan tarif-nontarif keberlanjutan, serta adopsi digitalisasi manufaktur saling terikat dalam jejaring umpan balik (feedback loops) non-linier [3], [4]. Keandalan fasilitas pemrosesan biodiesel dan pengolahan limbah cair (POME) juga sangat rentan terhadap degradasi material akibat erosi-korosi pada katup kendali uap dan kebocoran pipa termal, yang dapat memicu gangguan proses berantai (ripple effects) [6], [7]. Kompleksitas ini diperparah oleh disrupsi pasokan dan hambatan logistik global, sehingga resiliensi rantai pasok terintegrasi berbasis analitik data menjadi kebutuhan mendesak [8], [9].

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan pendekatan multikriteria untuk memetakan persoalan ini. Sipahi & Timor [15] serta Saaty & Vargas [14] menunjukkan bahwa Analytic Network Process (ANP) unggul dalam mengakomodasi interaksi kausal dan umpan balik antar-komponen dibandingkan model hierarki klasik. Studi Bicen & Celik [11] dan Krstić et al. [12] membuktikan bahwa ANP mampu memetakan interdependensi laten antar-faktor risiko melalui struktur supermatriks jaringan, sementara Shekarabi et al. [8] dan Ghanbari et al. [9] menegaskan pentingnya resiliensi rantai pasok berbasis teknologi digital dalam memitigasi dampak riak (ripple effects). Di sisi daya saing, Tan & Zhao [1] dan Chen & Wang [3] menunjukkan bahwa manufaktur cerdas dan input servitization

menjadi mediator utama keunggulan kompetitif industri global, sedangkan Adwiyah et al. [19] dan Hamdouna & Khmelyarchuk [4] menegaskan bahwa keberlanjutan lingkungan (ESG/SSCM) telah menjadi paspor wajib bagi produk hilir sawit untuk menembus pasar ekspor bernilai tinggi.

Meskipun literatur di atas telah banyak mengkaji risiko, daya saing, dan keberlanjutan secara terpisah, penelitian yang mengintegrasikan ketiga dimensi tersebut dalam satu kerangka keputusan jaringan yang eksplisit masih terbatas. Pengambilan keputusan dalam sistem multidimensi seperti ini rentan mengalami bias apabila dianalisis dengan model hierarki linier klasik seperti Analytic Hierarchy Process (AHP) [10], karena AHP mengasumsikan independensi struktural searah antar-kriteria sehingga mengabaikan pengaruh timbal balik horizontal maupun vertikal [11], [12]. Kesenjangan inilah yang mendasari perlunya kerangka komputasi yang mampu memodelkan ketergantungan internal dan eksternal antar-klastr risiko, daya saing, dan keberlanjutan secara simultan.

Untuk mengisi kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan pemodelan keputusan jaringan berbasis Analytic Network Process (ANP) yang dikembangkan oleh Saaty [13], yang unggul dalam mengakomodasi ketergantungan internal (inner dependence) dan eksternal (outer dependence) melalui struktur supermatriks terpadu. Kebaruan penelitian ini terletak pada formalisasi pipeline komputasi ANP secara komprehensif untuk menyintesis model pengelolaan risiko yang secara eksplisit menautkan klastr risiko, daya saing, dan keberlanjutan industri hilir kelapa sawit ke dalam satu struktur jaringan tunggal, alih-alih mengkaji ketiganya secara terpisah sebagaimana lazim pada penelitian sebelumnya.

Artikel ini bertujuan memformalisasikan pipeline komputasi ANP secara komprehensif untuk menyintesis model pengelolaan risiko pengaruh daya saing terhadap keberlanjutan industri hilir kelapa sawit. Tahapan komputasi mencakup: (1) konstruksi Unweighted Supermatrix dari preferensi pakar, (2) normalisasi stokastik kolom menjadi Weighted Supermatrix, (3) komputasi pemangkatan batas konvergen pada Limit Supermatrix, serta (4) penentuan prioritas global sintesis strategi mitigasi. Kontribusi penelitian ini bersifat metodologis, yaitu menyediakan kerangka kuantitatif yang dapat direplikasi, sekaligus praktis, yaitu memberikan basis objektif bagi pengambil kebijakan dan pelaku industri dalam menyusun strategi pengelolaan risiko industri hilir sawit.

2. METODE PENELITIAN

Kerangka komputasi ANP memetakan relasi keputusan ke dalam struktur graf berarah berbobot $G = (V, E, W)$. Penelitian ini menggunakan data preferensi dari lima pakar industri dan rantai pasok yang diolah menggunakan perangkat lunak Super Decisions, mengikuti tahapan matriks perbandingan berpasangan, pipeline supermatriks, dan dekomposisi sistem keputusan sebagaimana diuraikan pada subbab berikut.

2.1. Matriks Perbandingan Berpasangan dan Konsistensi

Untuk setiap elemen pengendali dalam jaringan, matriks perbandingan berpasangan $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ dibentuk menggunakan skala preferensi Saaty (1-9). Vektor bobot lokal w diperoleh melalui penyelesaian persamaan nilai eigen dominan [10], [13]:

$$A w = \lambda_{max} w \quad (1)$$

dengan syarat normalisasi $\sum w_i = 1$. Validitas logis penilaian diverifikasi melalui rasio konsistensi (CR):

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1), CR = CI / RI_n < 0,10 \quad (2)$$

2.2. Pipeline Supermatriks ANP

Pemrosesan jaringan ANP berlangsung melalui tiga tahapan supermatriks komputasional. Pertama, Unweighted Supermatrix (W) memuat vektor prioritas lokal murni hasil perbandingan berpasangan [11], [12]:

$$W = [W_{ij}]m \times m \quad (3)$$

Kedua, Weighted Supermatrix (W) merupakan matriks terbobot hasil perkalian dengan matriks kluster ($C = [c_{ij}]$), yang menjamin kondisi stokastik kolom [13], [18]:

$$W_{ij} = c_{ij} \times W_{ij}, \sum_i = 1..N w_{ij} = 1,0 \quad (4)$$

Ketiga, Limit Supermatrix (W^∞) diperoleh melalui pemangkatan berulang matriks terbobot hingga mencapai keadaan konvergen stasioner [13], [14]:

$$W^\infty = \lim_{k \rightarrow \infty} (W)^{2k+1} \quad (5)$$

2.3. Dekomposisi Sistem Keputusan

Berdasarkan sintesis telaah pustaka dan validasi lima pakar industri dan rantai pasok, model ANP disusun ke dalam 13 sub-kriteria dominan serta 5 alternatif strategi pengelolaan risiko, sebagai berikut. Kluster Risiko (K1): ketersediaan bahan baku (k11), kualitas bahan baku (k12), harga bahan baku (k13), ketidakpastian harga produk (k14), kondisi persaingan (k15), kondisi pasar (k16). Kluster Daya Saing (K2): kebijakan perusahaan (k21), teknologi (k22), volume produksi (k23), harga jual minimum (k24). Kluster Keberlanjutan (K3): kondisi lingkungan (k31), pengolahan limbah (k32), menjaga reputasi (k33). Kluster Alternatif Strategi (A): penguatan rantai pasok (a1), investasi teknologi & digitalisasi (a2), strategi harga dan pemasaran (a3), diversifikasi bisnis (a4), pengelolaan lingkungan (a5).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil komputasi model Analytic Network Process (ANP) yang diperoleh dari elisitasi preferensi lima pakar industri dan rantai pasok menggunakan perangkat lunak Super Decisions, mencakup tahapan Unweighted Supermatrix, Weighted Supermatrix, hingga Limit Supermatrix.

Pembahasan pada bagian ini menginterpretasikan makna substantif dari bobot-bobot yang diperoleh, membandingkan pengaruh antar-kluster kriteria, serta mengaitkan temuan komputasional dengan implikasi manajerial bagi pengelolaan risiko, daya saing, dan keberlanjutan industri hilir kelapa sawit.

3.1. Analisis Unweighted Supermatrix

Elisitasi preferensi pakar pada software Super Decisions menghasilkan bobot pengaruh lokal pada Unweighted Supermatrix (Tabel 1).

Tabel 1. Ekstrak Interaksi Unweighted Supermatrix

Nodes	Goal	K1	K2	K3	k11	k31
a1	0,000	0,200	0,200	0,200	0,291	0,097
a2	0,000	0,200	0,200	0,200	0,104	0,194
a3	0,000	0,200	0,200	0,200	0,248	0,099
a4	0,000	0,200	0,200	0,200	0,189	0,158
a5	0,000	0,200	0,200	0,200	0,167	0,452
K1	0,221	0,000	0,200	0,750	1,000	0,000
K2	0,460	0,250	0,000	0,250	0,000	0,000
K3	0,319	0,750	0,800	0,000	0,000	1,000
k11	0,000	0,167	0,000	0,000	0,000	0,000
k21	0,000	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000
k31	0,000	0,000	0,000	0,333	0,000	0,000

Berdasarkan Tabel 1, terhadap Goal utama, kluster Daya Saing (K2: 0,45996) memiliki bobot pengaruh tertinggi, diikuti Keberlanjutan (K3: 0,31892), dan Risiko (K1: 0,22113). Ketergantungan internal (inner dependence) memperlihatkan bahwa Keberlanjutan mendominasi pengaruh terhadap Risiko (0,7500) dan Daya Saing (0,8000).

3.2. Analisis Weighted Supermatrix

Pada Weighted Supermatrix, perkalian bobot kluster memastikan kondisi stokastik kolom dengan total tepat 1,000000 (Tabel 2).

Tabel 2. Ekstrak Matriks Terbobot (Weighted Supermatrix)

Nodes	Goal	K1	K2	k11	k13	k32
a1	0,000	0,067	0,067	0,097	0,082	0,032
a2	0,000	0,067	0,067	0,035	0,104	0,049
a3	0,000	0,067	0,067	0,083	0,062	0,031
a4	0,000	0,067	0,067	0,063	0,051	0,068
a5	0,000	0,067	0,067	0,056	0,036	0,154
K1	0,221	0,000	0,067	0,333	0,333	0,000
K2	0,460	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000
K3	0,319	0,250	0,267	0,000	0,000	0,333
k11	0,000	0,056	0,000	0,083	0,000	0,000
k21	0,000	0,000	0,083	0,000	0,000	0,000
k32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

3.3. Analisis Limit Supermatrix dan Sintesis Prioritas

Melalui proses iterasi hingga konvergen (W_{∞}), seluruh efek interdependensi melebur menjadi bobot mutlak ekuilibrium. Karena alternatif bertindak sebagai sink cluster, baris kriteria bernilai 0,000000 dan bobot global terakumulasi pada kelima alternatif strategi (Tabel 3).

Tabel 3. Sintesis Prioritas Global dan Peringkat Alternatif

Kode	Alternatif Strategi	Limiting Priority	Normalized Priority	Ranking
a3	Strategi harga dan pemasaran	0,248188	24,82%	1
a5	Pengelolaan lingkungan	0,246679	24,67%	2
a4	Diversifikasi bisnis	0,205103	20,51%	3
a2	Investasi teknologi & digitalisasi	0,178972	17,90%	4
a1	Penguatan rantai pasok	0,121058	12,11%	5

Uji Konsistensi Global (Overall Inconsistency Index): $CR = 0,041 < 0,10$ (Valid).

3.4. Pembahasan Temuan Komputasional dan Validasi Empiris

Hasil sintesis ANP mengonfirmasi bahwa interdependensi antarelemen memiliki kontribusi fundamental dalam mengubah postur keputusan strategis. Sebagaimana tercermin dalam perbandingan Unweighted Supermatrix (Tabel 1) dan Weighted Supermatrix (Tabel 2), pembobotan kluster memberikan proporsi yang realistis terhadap pengaruh horizontal. Dalam kluster kriteria, ketergantungan internal membuktikan bahwa Keberlanjutan (K3) menyumbang bobot pengaruh lebih dari 75% terhadap pembentukan risiko operasional dan profil daya saing industri hilir kelapa sawit.

Fenomena ini membuktikan bahwa risiko industri hilir tidak dapat dipisahkan dari kepatuhan ekologis dan dinamika pasar komoditas global. Pada tingkat sub-kriteria, mitigasi risiko pasokan bahan baku (k11) sangat bergantung pada strategi penguatan rantai pasok (a1) dan strategi harga (a3). Sebaliknya, penanganan risiko volatilitas harga bahan baku (k13) paling efektif diselesaikan melalui investasi teknologi dan digitalisasi proses (a2) guna menciptakan efisiensi konversi internal.

Pada sub-kriteria keberlanjutan (k31 dan k32), strategi pengelolaan lingkungan (a5) mendominasi secara mutlak dengan bobot lokal melebihi 0,452. Setelah melalui proses iterasi pemangkatan Limit Supermatrix, kluster kriteria bertindak sebagai sink cluster di mana seluruh nilai prioritas terserap secara sempurna ke dalam alternatif strategi. Ekuilibrium ini menghasilkan bobot limiting konvergen yang menempatkan a3 (24,82%) dan a5 (24,67%) pada posisi puncak dengan selisih hanya 0,15%, menegaskan bahwa industri hilir tidak boleh memprioritaskan profitabilitas jangka pendek dengan mengorbankan kepatuhan sertifikasi hijau.

3.5. Implikasi Manajerial

Berdasarkan hasil pemodelan keputusan jaringan ANP, sejumlah implikasi manajerial strategis dirumuskan bagi pembuat kebijakan dan eksekutif industri agroindustri hilir. Pertama, agilitas komersial dan fleksibilitas penetapan harga (a3, 24,82%) menjadi prioritas utama; industri hilir dituntut menerapkan model penetapan harga yang dinamis dan kontrak lindung nilai (hedging) pasar komoditas, karena agilitas pemasaran bertindak sebagai bantalan arus kas (cash flow buffer) utama untuk meredam dampak volatilitas harga bahan baku CPO global.

Kedua, kepatuhan standar lingkungan dan sertifikasi hijau (a5, 24,67%) bersifat mutlak; pengelolaan limbah industri terpadu, pemanfaatan POME menjadi bioenergi terbarukan, serta pemenuhan sertifikasi internasional (RSPO, ISPO, dan regulasi deforestasi EUDR) merupakan paspor wajib penembus pasar ekspor bernilai tinggi. Kepatuhan lingkungan bukan lagi beban biaya, melainkan instrumen defensif penentu akses pasar.

Ketiga, diversifikasi portofolio produk derivatif (a4, 20,51%) menempati peringkat ketiga; strategi diversifikasi hilirisasi menuju produk oleokimia bernilai tambah tinggi (seperti surfaktan, biolubrikan, dan specialty fats) berfungsi sebagai peredam risiko ketergantungan pada produk komoditas curah mentah. Keempat, investasi teknologi cerdas (a2, 17,90%) dan penguatan rantai pasok (a1, 12,11%) beroperasi sebagai fondasi infrastruktur operasional (enablers). Dalam jaringan ANP, kedua strategi ini mentransmisikan nilainya secara sistemik guna mendorong efisiensi produksi dan kepatuhan ekologis secara berkelanjutan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membangun model keputusan multikriteria berbasis Analytic Network Process (ANP) untuk memetakan keterkaitan kompleks antara risiko, daya saing, dan keberlanjutan pada industri hilir kelapa sawit. Integrasi ketergantungan internal dan eksternal melalui Unweighted Supermatrix, Weighted Supermatrix, hingga Limit Supermatrix terbukti menghasilkan bobot prioritas keputusan yang konvergen, objektif, dan terbebas dari bias hierarki linier.

Prioritas akhir menempatkan Strategi Harga & Pemasaran (a3; 24,82%) dan Pengelolaan Lingkungan (a5; 24,67%) sebagai dua pilar strategis utama yang harus dijalankan secara paralel. Model ini memiliki validitas matematis yang tinggi dengan nilai inkonsistensi yang memenuhi standar ilmiah ($CR = 0,041 < 0,10$). Keterbatasan penelitian ini terletak pada jumlah pakar yang terlibat dalam elisitasi preferensi dan sifat statis bobot yang dihasilkan. Pengembangan lebih lanjut dapat mengintegrasikan pendekatan Fuzzy ANP atau pemodelan keputusan dinamis berbasis analitik waktu nyata guna merespons ketidakpastian data operasional industri secara adaptif.

REFERENCES

- [1] B. Tan and N. Zhao, "Does intelligent manufacturing enhance industrial international competitiveness? Evidence from China," *Finance Research Letters*, vol. 85, p. 108084, 2025.
- [2] X. Li and R. Adam, "Promoting sustainable manufacturing growth through foreign direct investment and foreign trade: Evidence from China's 28 sub-industries," *Sustainability*, vol. 17, no. 20, p. 9059, 2025.
- [3] F. Chen and S. Wang, "How to reshape the international competitive advantage of Chinese manufacturing enterprises: A perspective of input servitization," *Economic Analysis and Policy*, vol. 85, pp. 1197–1215, 2025.
- [4] M. Hamdouna and M. Khmelyarchuk, "Technological innovations shaping sustainable competitiveness: A systematic review," *Sustainability*, vol. 17, no. 5, p. 1953, 2025.
- [5] S. Z. Y. Foong and D. K. S. Ng, "A systematic approach for synthesis and optimisation of sustainable oil palm value chain (OPVC)," *South African Journal of Chemical Engineering*, vol. 41, pp. 65–78, 2022.
- [6] A. D. Burmana, R. Tambun, Taslim, B. Ernst, Y. Benguerba, and Iriany, "Corrosion effects on a leakage steam control valve: Analysis and risk assessment on the biodiesel plant case study," *International Journal of Thermofluids*, vol. 32, p. 101554, 2026.
- [7] M. N. I. Salehmin, S. K. Tiong, H. Mohamed, B. S. Zainal, S. S. Lim, N. H. M. Yasin, and Z. Zakaria, "Sustainable bioenergy from palm oil mill effluent: Advancements in upstream and downstream engineering with techno-economic and environmental assessment," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 133, pp. 122–147, 2024.
- [8] S. A. H. Shekarabi, R. K. Mavi, and F. R. Macau, "Supply chain resilience: A critical review of risk mitigation, robust optimisation, and technological solutions and future research directions," *Global Journal of Flexible Systems Management*, vol. 26, no. 3, pp. 681–735, 2025.
- [9] H. Ghanbari, M. Shabani, E. Mohammadi, and H. Seiti, "A comprehensive bibliometric review of digitalization impacts on supply chain risk management," *Supply Chain Analytics*, vol. 12, p. 100165, 2025.
- [10] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [11] S. Bicen and M. Celik, "A hybrid approach to near-miss report investigation towards next-generation safety solutions on-board ships," *Ocean Engineering*, vol. 266, p. 112768, 2022.
- [12] M. Krstić, G. P. Agnusdei, P. P. Miglietta, and S. Tadić, "Evaluation of the smart reverse logistics development scenarios using a novel MCDM model," *Cleaner Environmental Systems*, vol. 7, p. 100099, 2022.
- [13] T. L. Saaty, *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications, 1996.
- [14] T. L. Saaty and L. G. Vargas, *Decision Making with the Analytic Network Process*. New York: Springer, 2006.
- [15] S. Sipahi and M. Timor, "The analytic hierarchy process and analytic network process: An overview of applications," *Management Decision*, vol. 48, no. 5, pp. 775–808, 2010.
- [16] J. Guo, P. Xiang, X. Wang, and Y. Lee, "Predicting and managing megaproject gray rhino risks with IF-ANP and DEMATEL based on panel data," *Expert Systems with Applications*, vol. 208, p. 118243, 2022.
- [17] S. N. Shorabeh, M. Argany, J. Rabiei, H. K. Firozjaei, and O. Nematollahi, "Potential assessment of multi-renewable energy farms establishment using spatial multi-

criteria decision analysis: A case study and mapping in Iran," *Journal of Cleaner Production*, vol. 295, p. 126318, 2021.

- [18] A. Gamal, M. Abdel-Basset, and R. K. Chakraborty, "Intelligent model for contemporary supply chain barriers in manufacturing sectors under the impact of the COVID-19 pandemic," *Expert Systems with Applications*, vol. 205, p. 117711, 2022.
- [19] R. Adwiyah, Y. Syaikat, D. Indrawan, and H. Mulyati, "Examining sustainable supply chain management (SSCM) performance in the palm oil industry with the triple bottom line approach," *Sustainability*, vol. 15, no. 18, p. 13362, 2023.
- [20] V. F. Yu, A. Bahauddin, C.-L. Yang, Y. J. Wu, and R. Ekawati, "A combined approach for green supply chain management performance measurement in a steel manufacturing company: An Indonesian case," *Journal of Sustainable Metallurgy*, vol. 8, pp. 1140–1153, 2022.