

Model Optimasi Keputusan *Sourcing Spare Parts* Alat Berat Berbasis ERP Menggunakan MCDM dan *Split Sourcing*

Hafiz Husyairi^{1*}, dan Timotius FCW Sutrisno²

^{1,2} Universitas Ciputra Surabaya, Indonesia

Journal of Economics and Management Sciences is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



ARTICLE HISTORY

Received: 19 September 26

Final Revision: 01 October 26

Accepted: 09 October 26

Online Publication: 31 December 26

KEYWORDS

Sourcing Decision, Lead Time, MCDM, OTIF, Gross Margin

KATA KUNCI

Keputusan *Sourcing*, *Lead Time*, MCDM, OTIF, *Gross Margin*

CORRESPONDING AUTHOR

hhusyairi@magister.ciputra.ac.id

DOI

10.37034/jems.v9i1.572

ABSTRACT

The heavy equipment industry faces challenges in spare parts sourcing decisions under stock-out conditions, while operational decisions at PT XYZ still tend to rely on heuristic judgment and the individual experience of Operational staff orders. This study aims to design and evaluate an Enterprise Resource Planning (ERP)-based spare parts sourcing optimization model using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) and split sourcing approaches. A prescriptive quantitative approach was employed using secondary transactional data from the ERP system for companies' system for the period of 1 April–30 June 2026. Of 12,003 transactions analyzed, 3,083 transactions involving Internal Transfer (IT), Stock Order (SO), Semi Emergency Order (SEO), and Emergency Order (EO) were used as the profiling basis. The model evaluates sourcing alternatives based on lead time, Moving Average Price (MAP), non-OTIF risk, and gross margin loss through descriptive statistics, min-max normalization, Analytic Hierarchy Process (AHP) weighting, a weighted penalty function, split sourcing simulation, and sensitivity analysis. The results indicate trade-offs among the criteria, with no single alternative being superior across all aspects. At the aggregate level, IT obtained the lowest penalty score and remained the top-ranked alternative across all eight $\pm 20\%$ weight-change scenarios. Operational validation using separate transaction data over three working days showed that the model recommendations generated a gross margin of 17% compared with 5.2% under actual operational staff order decisions, while potential OTIF reached 62% compared with 90%. These findings indicate a potential improvement in profitability at the expense of service level and should be interpreted cautiously due to limited counterfactual data. The model provides a basis for developing an ERP-based Decision Support System for more structured and measurable sourcing decisions.

ABSTRAK

Industri alat berat menghadapi tantangan dalam pengadaan suku cadang saat *stock-out*, sementara PT XYZ masih mengandalkan heuristik dan pengalaman personal staf operasional order. Studi ini merancang dan mengevaluasi model optimasi pengadaan berbasis Enterprise Resource Planning (ERP) menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) dan *split sourcing*. Pendekatan kuantitatif preskriptif menggunakan data sekunder sistem ERP perusahaan periode 1 April–30 Juni 2026. Dari 12.003 transaksi, sebanyak 3.083 transaksi meliputi *Internal Transfer* (IT), *Stock Order* (SO), *Semi Emergency Order* (SEO), dan *Emergency Order* (EO) digunakan sebagai basis profil. Evaluasi alternatif *sourcing* didasarkan pada *lead time*, *Moving Average Price* (MAP), risiko non-OTIF, dan *gross margin loss* melalui statistik deskriptif, normalisasi *min-max*, pembobotan AHP, fungsi penalti terbobot, simulasi *split sourcing*, dan analisis sensitivitas. Hasilnya menunjukkan adanya *trade-off* tanpa alternatif tunggal yang superior di semua aspek. Secara agregat, IT memperoleh skor penalti terendah dan tetap menjadi alternatif peringkat teratas dalam seluruh skenario perubahan bobot $\pm 20\%$. Validasi operasional menggunakan data transaksi terpisah selama tiga hari kerja menunjukkan rekomendasi model menghasilkan *gross margin* 17% dibandingkan 5.2% dari aktual staf operasional order, sementara potensi OTIF mencapai 62% dibandingkan 90%. Temuan ini menunjukkan potensi peningkatan profitabilitas dengan konsekuensi penurunan tingkat layanan, sehingga hasil perlu ditafsirkan secara hati-hati karena keterbatasan data kontrafaktual. Model ini menyediakan dasar untuk pengembangan *Decision Support System* (DSS) berbasis ERP dalam mendukung keputusan *sourcing* yang lebih objektif dan terukur.

1. Pendahuluan

Industri alat berat menghadapi tantangan dalam pengelolaan *supply chain spare parts* yang bersifat kritis

dan sensitif terhadap waktu, terutama pada sektor pertambangan, konstruksi, dan perkebunan. Ketersediaan *spare parts* tepat waktu menjadi aspek penting dalam mendukung kelancaran proses

operasional *customer* yang memiliki kebutuhan berbasis waktu [1], [2], [3]. Data internal PT XYZ menunjukkan bahwa tingkat *stock-out* pada transaksi *sourcing spare parts* mencapai angka 26% dari keseluruhan transaksi selama periode April – Juni 2026. Kondisi *stock-out* yang berulang semacam ini berpotensi mengganggu kelancaran operasional *customer* secara langsung [4]. Hal tersebut menjadikan kapabilitas perusahaan dalam memenuhi kebutuhan *spare parts* secara cepat dan akurat sebagai determinan utama dalam mempertahankan kepuasan pelanggan sekaligus profitabilitas perusahaan [1], [2].

Secara operasional, apabila *stock on hand* (SOH) tidak tersedia, staf operasional order harus memilih di antara beberapa alternatif *sourcing*, yaitu *internal transfer* (IT) antar cabang, *Stock Order* (SO), *Semi Emergency Order* (SEO), serta *Emergency Order* (EO) melalui *principal*. Berdasarkan data operasional PT XYZ, pemilihan di antara keempat alternatif tersebut bukan sekadar keputusan logistik semata, melainkan keputusan yang secara langsung menentukan dua indikator kinerja krusial, yaitu kecepatan pemenuhan yang direpresentasikan oleh OTIF (*On Time In Full*) *customer*, dan konsekuensi biaya yang tercermin dalam *Moving Average Price* (MAP), yang pada gilirannya dapat memengaruhi *gross margin* perusahaan secara substansial. Sebagai ilustrasi, pengadaan melalui jalur EO yang menjanjikan *lead time* tersingkat namun dengan biaya tertinggi dapat menurunkan *gross margin* hingga 12%, sementara jalur SO yang lebih ekonomis cenderung meningkatkan *gross margin* meski dengan *lead time* yang relatif lebih panjang [5], [6].

Persoalan mendasar yang dihadapi PT XYZ terletak pada karakter keputusan *sourcing* yang masih bersifat heuristik, yakni sangat bergantung pada pengalaman individual staf operasional order serta kondisi situasional, tanpa ditopang oleh analisis data historis yang sistematis. Implikasinya, pemilihan alternatif *sourcing* belum tentu merefleksikan keseimbangan optimal antara kecepatan layanan dan efisiensi biaya. Kondisi ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan bahwa pengambilan keputusan *sourcing* yang tidak berbasis data dapat menghasilkan keputusan yang dibatasi oleh rasionalitas terbatas (*bounded rationality*) [7]. Selain itu, penelitian berbeda mengonfirmasi bahwa *lead time* yang tidak dikelola dengan baik dapat berdampak signifikan terhadap penurunan performa OTIF [8]. Dua temuan tersebut menegaskan urgensi tersedianya sebuah model pengambilan keputusan yang bersifat preskriptif dan berbasis data, yang dapat melampaui batasan pendekatan heuristik selama ini [9].

Dalam ranah *operations research* dan manajemen *supply chain*, persoalan pemilihan alternatif *sourcing* yang melibatkan lebih dari satu kriteria kinerja secara simultan seperti *lead time*, biaya, tingkat layanan, dan profitabilitas dikategorikan sebagai persoalan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) [10]. Pendekatan

MCDM telah terbukti mampu menghasilkan rekomendasi keputusan yang lebih seimbang dan terukur dibandingkan pendekatan kriteria tunggal maupun keputusan yang bersandar pada intuisi semata [11], [12]. Meskipun demikian, penerapan MCDM dalam konteks keputusan *sourcing spare parts* alat berat yang bertumpu pada data transaksional *Enterprise Resource Planning* (ERP) secara *real-time* masih sangat terbatas dijumpai dalam literatur yang ada [13], [14], [15].

Persoalan keputusan *sourcing* pada dasarnya dapat dipandang sebagai persoalan penyeimbangan beberapa kriteria kinerja yang saling berkaitan dan kerap bertentangan arah optimasinya. Pemilihan alternatif *sourcing* membawa konsekuensi langsung terhadap *lead time* pemenuhan, yang selanjutnya menjadi salah satu penentu tercapainya OTIF *customer*. Pada sisi lain, setiap alternatif *sourcing* juga membawa konsekuensi finansial yang terealisasi dalam bentuk MAP, yang berkaitan erat dengan capaian *gross margin* perusahaan. Dengan demikian, dapat diidentifikasi empat kriteria utama yang membentuk struktur *trade-off* dalam keputusan *sourcing*, yaitu *lead time*, MAP, risiko ketidaktercapaian OTIF (non-OTIF), dan potensi penurunan *gross margin* (*gross margin loss*). Keempat kriteria ini tidak berdiri secara independen, melainkan saling berkaitan dalam satu ruang keputusan yang sama: alternatif *sourcing* yang unggul pada satu kriteria misalnya EO yang superior pada *lead time* cenderung memiliki performa yang kurang menguntungkan pada kriteria lain, seperti MAP dan *gross margin*. Sebaliknya, alternatif SO yang unggul pada efisiensi biaya berpotensi memiliki *lead time* yang lebih panjang sehingga berisiko terhadap pencapaian OTIF [16].

Karakteristik saling berkaitan dan saling bertentangan inilah yang menjadi dasar argumentasi bahwa keputusan *sourcing* memerlukan kerangka pengambilan keputusan multi-kriteria yang mampu mengevaluasi setiap alternatif secara simultan pada keempat dimensi tersebut, alih-alih mengandalkan pertimbangan parsial terhadap satu atau dua kriteria saja sebagaimana yang terjadi pada praktik heuristik staf operasional order selama ini. Dari sisi akademis, sebagian besar literatur dalam bidang *supply chain management* berfokus pada optimasi persediaan, *forecasting*, *safety stock*, atau *supplier selection*, serta cenderung menganalisis aspek biaya dan tingkat pelayanan secara terpisah satu sama lain [17]. Terdapat gap penelitian pada level pengambilan keputusan operasional harian (*operational decision level*) yang mengintegrasikan kedua dimensi tersebut secara simultan, khususnya dalam konteks distribusi *spare parts* alat berat di Indonesia. Penelitian ini berupaya mengisi gap tersebut dengan memanfaatkan data transaksional aktual yang diperoleh dari sistem ERP perusahaan PT XYZ [18].

Secara lebih spesifik, terdapat tiga celah literatur yang belum terjawab secara memadai. Pertama, belum

ditemukan penelitian yang secara eksplisit merancang model optimasi keputusan *sourcing spare parts* berbasis data historis ERP dengan mempertimbangkan empat kriteria kinerja secara simultan dalam satu fungsi objektif terbobot. Kedua, literatur terkait *spare parts optimization* umumnya lebih menitikberatkan pada penetapan *reorder point* dan *safety stock*, bukan pada pemilihan alternatif *sourcing* ketika kondisi *stock-out* telah terjadi. Ketiga, potensi sistem ERP sebagai basis *Decision Support System* (DSS) untuk menghasilkan rekomendasi *sourcing* secara operasional belum banyak dieksplorasi, padahal data transaksional ERP memiliki keunggulan dari sisi validitas, kelengkapan, dan relevansi praktis dibandingkan data survei maupun simulasi.

Penelitian ini merespons ketiga celah tersebut melalui perancangan model optimasi berbasis MCDM yang memanfaatkan data sekunder sistem ERP perusahaan sebagai fondasi pengambilan keputusan *sourcing* yang lebih objektif, terukur, dan dapat direplikasi dalam praktik operasional [19], [20]. Berdasarkan uraian di atas, pertanyaan penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- a) Bagaimana karakteristik *trade-off* antara *lead time*, MAP, OTIF *customer*, dan *gross margin* dalam keputusan *sourcing spare parts*?
- b) Bagaimana merancang model optimasi keputusan *sourcing* berbasis MCDM dengan alternatif IT, SO, SEO, dan EO?
- c) Bagaimana penerapan *split sourcing* berbasis urutan rekomendasi dan ketersediaan stok dapat menghasilkan alokasi kebutuhan *spare parts* yang *feasible* dan terukur?
- d) Bagaimana performa rekomendasi model dibandingkan dengan keputusan aktual staf operasional order berdasarkan nilai penalti total, OTIF, dan *gross margin*?

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi model rekomendasi keputusan *sourcing spare parts* berbasis pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) dan *split sourcing*, yang mampu memberikan alternatif pemilihan *sourcing* yang lebih objektif dan terukur bagi staf operasional order di PT XYZ dibandingkan pendekatan heuristik yang berlaku saat ini. Lebih jauh, model yang dirancang diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan sistem pendukung keputusan (DSS) berbasis ERP yang mampu menyeimbangkan *trade-off* antara kecepatan layanan dan efisiensi biaya dalam pengelolaan *supply chain spare parts* alat berat di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif preskriptif berbasis data sekunder transaksional untuk merancang model rekomendasi keputusan *sourcing spare parts*. Pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) digunakan untuk mengevaluasi alternatif *sourcing* berdasarkan empat kriteria, yaitu *lead time*, *Moving Average Price* (MAP), risiko non-OTIF, dan *gross margin loss*. *Analytic Hierarchy Process* (AHP) digunakan secara khusus untuk menentukan bobot kepentingan setiap kriteria berdasarkan penilaian para ahli. Bobot tersebut selanjutnya digunakan dalam fungsi penalti terbobot untuk menghitung dan mengurutkan alternatif terbaik antara *Internal Transfer* (IT), *Stock Order* (SO), *Semi Emergency Order* (SEO), dan *Emergency Order* (EO) yang bertujuan merancang model rekomendasi keputusan *sourcing spare parts* yang lebih objektif dibandingkan pendekatan heuristik yang selama ini diterapkan oleh staf operasional order. Pendekatan ini dikategorikan sebagai riset preskriptif karena tidak sekadar mendeskripsikan atau menjelaskan fenomena, melainkan menghasilkan model yang dapat merekomendasikan tindakan optimal berdasarkan data historis sistem ERP perusahaan [17], [21].

Populasi penelitian adalah seluruh transaksi *sourcing spare parts* di PT XYZ yang meliputi alternatif IT, SO, SEO, atau EO pada periode April hingga Juni 2026. Teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *total sampling* (sensus), yaitu seluruh transaksi yang memenuhi kriteria kelengkapan data kriteria digunakan sebagai sampel. Kriteria inklusi meliputi: (1) transaksi yang memiliki data lengkap untuk seluruh Kriteria Model, dan (2) transaksi yang terjadi dalam periode penelitian. Kriteria eksklusi meliputi transaksi dengan data tidak lengkap atau anomali ekstrem yang tidak dapat diverifikasi. jumlah sampel adalah 3.083 transaksi [22].

Penelitian ini menggunakan dua bentuk data berdasarkan fungsinya. Data historis sistem ERP perusahaan periode April hingga Juni 2026 digunakan untuk membentuk *profiling* karakteristik IT, SO, SEO, dan EO pada kriteria *lead time*, MAP, risiko non-OTIF, dan *gross margin loss*. *Profiling* tersebut digunakan untuk menggambarkan pola kinerja dan *trade-off* setiap alternatif *sourcing*. Sementara itu, pada tahap pengoperasian *tool*, nilai keempat kriteria untuk setiap alternatif diperoleh secara dinamis dari sistem ERP perusahaan atau data *matrix* operasional yang berlaku. Data dinamis tersebut menjadi *input* dalam Microsoft Excel untuk menghitung nilai penalti terbobot dan menghasilkan urutan rekomendasi alternatif *sourcing*.

Tabel 1. Operasionalisasi Kriteria Model Optimasi *Sourcing*

Komponen Model	Definisi Konseptual	Definisi Operasional	Pengukuran
<i>Alternatif Sourcing</i>	Pilihan metode pengadaan <i>spare parts</i> ketika stok tidak tersedia [17]	Alternatif keputusan yang dievaluasi dalam model, meliputi IT, SO, SEO, dan EO	Kategori nominal: IT, SO, SEO, EO
<i>Lead time</i>	Waktu sejak keputusan <i>sourcing</i> hingga barang siap dipenuhi [17]	Selisih hari antara tanggal keputusan <i>sourcing</i> dan tanggal barang tersedia	Rasio (hari)
MAP	Nilai biaya rata-rata bergerak persediaan yang terbentuk dari akumulasi transaksi [23]	Nilai MAP aktual atau estimasi MAP per alternatif <i>sourcing</i> sebagai proksi biaya persediaan per item	Rasio (Rupiah per item)
Risiko Non-OTIF	Risiko pesanan tidak terpenuhi secara tepat waktu dan lengkap [24]	Status ketidaktercapaian OTIF pada transaksi <i>sourcing</i>	Dummy: 1 = non-OTIF, 0 = OTIF
<i>Gross Margin loss</i>	Potensi penurunan margin kotor dengan dasar perhitungan <i>gross margin</i> sebagai selisih antara pendapatan dan HPP dibagi pendapatan [25]	Selisih antara batas minimum <i>gross margin</i> dan <i>gross margin</i> aktual, jika <i>gross margin</i> aktual berada di bawah batas minimum	Rasio (%)

Tabel 1 menjelaskan operasionalisasi komponen dalam model optimasi keputusan *sourcing*. Komponen tersebut tidak diposisikan sebagai variabel independen maupun dependen dalam hubungan kausal, karena penelitian ini tidak bertujuan menguji pengaruh antarvariabel, melainkan merancang model rekomendasi keputusan berbasis *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM). Alternatif *sourcing*, yaitu IT, SO, SEO, dan EO, berperan sebagai alternatif keputusan yang dievaluasi dalam model. Adapun *lead time*, MAP, risiko non-OTIF, dan *gross margin loss* berperan sebagai kriteria evaluasi yang digunakan untuk menilai setiap alternatif *sourcing*. Keempat kriteria tersebut menjadi dasar pembentukan fungsi objektif terbobot setelah melalui proses normalisasi dan pembobotan AHP. Dengan demikian, alternatif *sourcing* dengan nilai Z_i terendah ditetapkan sebagai prioritas rekomendasi pertama. Apabila ketersediaan stok pada alternatif tersebut tidak mencukupi kebutuhan, sisa kuantitas dialokasikan kepada alternatif pada peringkat berikutnya berdasarkan urutan nilai Z_i , sejalan dengan struktur dasar persoalan MCDM dan pembobotan AHP [26], [27].

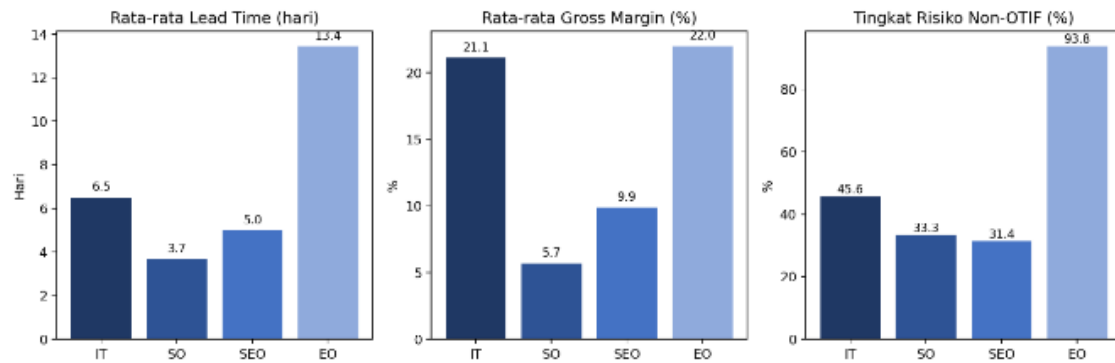
Untuk mengatasi potensi penggandaan perhitungan kriteria evaluasi, studi ini secara operasional mendefinisikan setiap dimensi berdasarkan definisi operasionalnya. *Lead time* didefinisikan sebagai periode waktu yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan. Risiko non-OTIF adalah probabilitas gagal menyediakan layanan yang disepakati. MAP didefinisikan sebagai biaya persediaan, dan *gross margin loss* adalah konsekuensi finansial akibat keputusan *sourcing*. Dengan pemisahan konsep, serta mendefinisikan dan mengukur suatu konsep dengan cara yang berbeda, himpunan kriteria diperkaya untuk memungkinkan evaluasi berbagai aspek alternatif dalam MCDM.

3. Hasil dan Pembahasan

Data transaksi ERP yang dianalisis mencakup 12.003 baris transaksi *invoice spare parts* pada periode 1 April–30 Juni 2026, dengan enam kategori pemenuhan yaitu *Ready Stock* (8.903 transaksi), *Semi Emergency Order*/SEO (1.895), *Inter Branch*/IT (1.120), *Emergency Order*/EO (65), *Remanufacturing* (17), dan *Stock Order*/SO (3). Sesuai definisi model pada proposal, hanya transaksi dengan status pemenuhan IT, SO, SEO, dan EO yang relevan sebagai objek keputusan *sourcing* (*Remanufacturing* dikeluarkan karena bukan bagian dari empat alternatif model), sehingga diperoleh 3.083 transaksi sebagai basis *profiling*.

3.1. Statistik Deskriptif dan *Profiling* Alternatif *Sourcing*

Profil deskriptif pada Gambar 1 memperlihatkan tiga pola yang penting untuk pembacaan lebih lanjut pada bagian Pembahasan. Pertama, *Inter Branch* (IT) menghasilkan *gross margin* rata-rata tertinggi selama kuartal 2 yaitu berkisar 21,1% dengan MAP per unit terendah di antara keempat alternatif, konsisten dengan sifatnya sebagai transfer antar cabang yang tidak melalui *markup* harga jalur *emergency*. Kedua, *Semi Emergency Order* (SEO) menghasilkan *gross margin* rata-rata selama kuartal 2 yaitu berkisar 9,9% dengan *lead time* rata-rata terpendek (4,99 hari). Ketiga, dan paling perlu digarisbawahi, *Emergency Order* (EO) yang secara konseptual dirancang sebagai jalur tercepat dengan *trade-off* biaya tertinggi pada data empiris justru memiliki *lead time* rata-rata terpanjang (13,45 hari), sekaligus menghasilkan *gross margin* rata-rata tertinggi selama kuartal 2 yaitu berkisar 22% dan yang terakhir *Stock Order* (SO) menghasilkan *gross margin* rata-rata selama kuartal 2 yaitu berkisar 5,7%. Temuan ini bertentangan dengan asumsi normatif pada teori *trade-off* yang mendasari penelitian ini dan akan didiskusikan lebih lanjut pada bagian pembahasan [28], [29], [30].



Gambar 1. Profiling Kriteria per Sourcing

Perlu untuk diperhatikan bahwa alternatif *Stock Order* (SO) memiliki jumlah observasi transaksi yang relatif terbatas dibandingkan dengan alternatif lainnya yaitu hanya berjumlah tiga transaksi pada periode penelitian. Keterbatasan pada jumlah observasi ini dapat menyebabkan karakteristik deskriptif SO memiliki tingkat sensitivitas yang relatif lebih tinggi terhadap nilai individu dibanding dengan alternatif lainnya. Oleh sebab itu, hasil *profiling* SO dalam penelitian ini diinterpretasikan sebagai gambaran empiris pada periode pengamatan yang dilakukan pada kuartal dua dan bukan sebagai representasi pola performa jangka panjang. Namun demikian, SO tetap dipertahankan dalam model karena merupakan salah satu alternatif *sourcing* yang tersedia dan dapat dipilih ketika terjadi

situasi *stock-out* dan tetap di evaluasi menggunakan kerangka *multi-kriteria* yang sama dengan alternatif lainnya.

3.2. Normalisasi Min-Max

Nilai rata-rata setiap kriteria dinormalisasi menggunakan rumus $x' = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$ sehingga seluruh kriteria berada pada rentang [0,1] dengan orientasi 'semakin tinggi semakin buruk' (semakin besar nilai ternormalisasi, semakin besar penalti bagi alternatif tersebut). *Gross margin loss* dihitung terlebih dahulu menggunakan ambang skenario konservatif ($GM_{\min} = 12\%$) sebelum dinormalisasi. Hasil normalisasi *Min-Max* dapat dilihat pada Tabel 2.

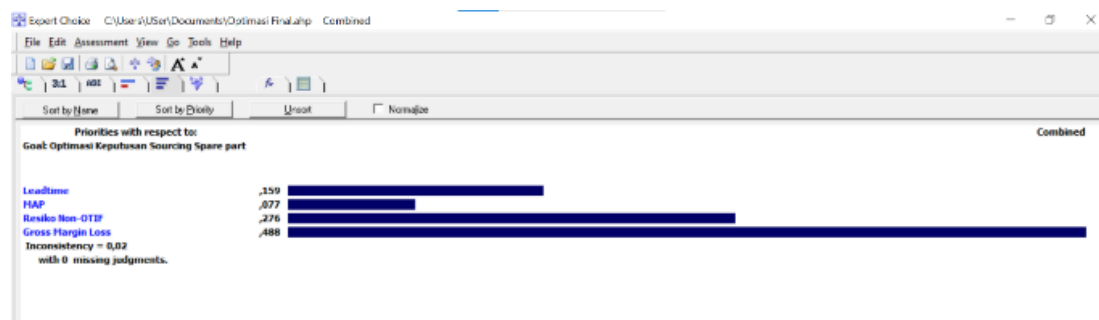
Tabel 2. Hasil Normalisasi Min-Max Kriteria Model (Skenario Konservatif, $GM_{\min} = 12\%$)

Alternatif	Lead Time'	MAP'	Risiko Non-OTIF'	Gross Margin Loss'
Inter Branch (IT)	0,2905	0,0000	0,2277	0,3904
Stock Order (SO)*	0,0000	1,0000	0,0309	0,6173
Semi Emergency Order (SEO)	0,1355	0,1603	0,0000	1,0000
Emergency Order (EO)	1,0000	0,2645	1,0000	0,0000

3.3. Pembobotan Kriteria dengan Analytic Hierarchy Process

Bobot kriteria diperoleh dari pengolahan *pairwise comparison* delapan pakar (2 *Part Supply Chain*, 3 staf

operasional order senior, 3 konsultan layanan purna jual perusahaan) menggunakan *Expert Choice versi 11*, sebagaimana ditunjukkan pada hasil sintesis gabungan (*combined priorities*) terhadap tujuan 'Optimasi Keputusan Sourcing Spare Part' pada Gambar 2.



Gambar 2. Bobot Prioritas Kriteria Hasil Pengolahan AHP dengan Expert Choice 11

3.4. Transparansi Proses Pembobotan: Profil Pakar dan Konsistensi Individual

Kedelapan pakar yang dilibatkan dalam proses *pairwise comparison* terdiri atas 2 orang *part supply chain*, 3 orang staf operasional order senior, dan 3 orang

konsultan layanan purna jual perusahaan PT XYZ, dipilih karena memiliki pengalaman operasional langsung pada proses keputusan *sourcing spare parts* alat berat. Setiap pakar mengisi kuesioner *pairwise comparison* secara independen menggunakan skala perbandingan 1–9 terhadap keempat kriteria model

melalui aplikasi *Expert Choice 11* [27]. Bobot gabungan (*combined priorities*) diperoleh melalui prosedur *Aggregation of Individual Judgments* (AIJ), yaitu penggabungan matriks *pairwise comparison* seluruh pakar menggunakan rata-rata geometrik (*geometric mean*) sebelum dilakukan sintesis prioritas,

sebagaimana direkomendasikan sebagai satu-satunya metode agregasi yang menjaga aksioma resiprositas pada matriks AHP gabungan [31]. Metode ini merupakan pengaturan baku (*default*) pada *Expert Choice 11* ketika beberapa pakar menilai satu hierarki keputusan yang sama.

Tabel 3. Bobot Kriteria Hasil AHP

Kriteria Sourcing	Simbol Kriteria	Bobot Global (w_j)	Peringkat Prioritas	Status Validitas
Gross Margin Loss	W_4	0,488	1	Konsisten / Valid
Risiko Non-OTIF	W_3	0,276	2	Konsisten / Valid
Lead Time	W_1	0,159	3	Konsisten / Valid
Moving Average Price (MAP)	W_2	0,077	4	Konsisten / Valid

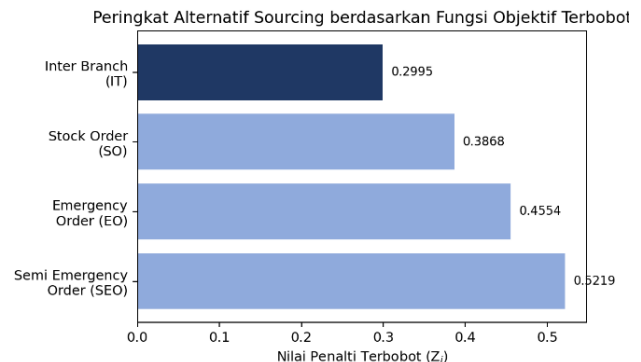
Nilai *Inconsistency* yang ditampilkan *Expert Choice* adalah 0,02, jauh di bawah ambang batas *Consistency Ratio* (CR) $\leq 0,10$ yang disyaratkan [27]. Dengan demikian, penilaian *pairwise comparison* para pakar dinyatakan konsisten secara logis dan bobot w_1 – w_4 pada Tabel 3 layak digunakan sebagai parameter fungsi objektif. Pola bobot yang dihasilkan menunjukkan bahwa preferensi strategis manajemen PT XYZ paling menekankan pengendalian *gross margin loss* ($w_4 = 0,488$) dan risiko non-OTIF ($w_3 = 0,276$), jauh melebihi bobot *lead time* ($w_1 = 0,159$) dan MAP ($w_2 = 0,077$). Pola ini mengindikasikan bahwa dalam pengambilan keputusan *sourcing*, para pakar menilai risiko finansial dan risiko layanan pelanggan sebagai pertimbangan yang lebih dominan dibandingkan kecepatan proses atau efisiensi biaya.

3.5. Fungsi Objektif Terbobot dan Peringkat Alternatif

Nilai penalti terbobot $Z_i = w_1(\text{Lead Time}') + w_2(\text{MAP}') + w_3(\text{Risiko Non-OTIF}') + w_4(\text{Gross Margin Loss}')$ dihitung untuk keempat alternatif menggunakan hasil normalisasi pada Tabel 2 dan bobot AHP pada Tabel 3. Alternatif dengan nilai Z_i terendah merupakan alternatif dengan performa gabungan terbaik (rekomendasi prioritas pertama). Nilai penalti dan peringkat alternatifnya dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Nilai Penalty Terbobot (Z_i) dan Peringkat Alternatif Sourcing

Peringkat	Alternatif	Z_i (skenario konservatif)	Interpretasi
1	Inter Branch (IT)	0,2995	Rekomendasi utama
2	Stock Order (SO)*	0,3868	Alternatif ke-2
3	Emergency Order (EO)	0,4554	Alternatif ke-3
4	Semi Emergency Order (SEO)	0,5219	Alternatif ke-4

Gambar 3. Peringkat Alternatif Sourcing berdasarkan Nilai Z_i

Secara agregat kuartalan, model merekomendasikan *Inter Branch* (IT) sebagai alternatif dengan performa gabungan terbaik, terutama karena kombinasi MAP terendah dan *gross margin loss* yang relatif kecil, meskipun risiko non-OTIF-nya berada pada level menengah. Perlu ditegaskan bahwa Z_i pada Tabel 2 merupakan skor tingkat-agregat (rata-rata karakteristik tiga bulan) dan berfungsi untuk menggambarkan kecenderungan umum keempat alternatif, bukan rekomendasi transaksi-per-transaksi. Pada praktiknya, sebagaimana dirancang dalam *tool* operasional, nilai keempat kriteria termasuk *lead time* IT yang sangat bergantung pada jarak antar cabang bersifat spesifik untuk setiap item dan setiap kejadian *stock-out*, sehingga peringkat aktual dapat berbeda dari peringkat agregat ini.

3.6. Ilustrasi Penerapan pada Tingkat Transaksi dan Skema Split Sourcing

Untuk menggambarkan bagaimana fungsi objektif beroperasi pada tingkat item individual sebagaimana dirancang pada *tool* Microsoft Excel berikut disajikan satu contoh kasus nyata dari data *tool* untuk Material X (HOSE) yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Contoh Perhitungan Tool Operasional pada Item MATERIAL A

Kriteria	SO	SEO	EO	IT
Lead time (hari)	14	2	1	2
Gross margin	27%	16%	9%	48%
Status kelayakan	LAYAK - TERLAMBAT	LAYAK - ON TARGET	LAYAK - ON TARGET	LAYAK - ON TARGET
Skor penalti (Score)	0,4971	0,0940	0,0884	0,0669
Status rekomendasi	ALTERNATIF	ALTERNATIF	ALTERNATIF	REKOMENDASI

Pada contoh ini, IT memperoleh skor penalti terendah (0,0669) karena unggul pada *gross margin* sekaligus memiliki *lead time* yang kompetitif, sehingga ditetapkan sebagai rekomendasi utama, sedangkan SO, SEO, dan EO ditempatkan sebagai alternatif cadangan sesuai urutan skor. Dalam skema *split sourcing*, apabila stok pada IT tidak mencukupi kebutuhan, sisa kebutuhan akan dialokasikan berturut-turut pada contoh di atas dapat di alokasikan kekurangannya pada EO, SEO ataupun SO. Contoh ini juga menegaskan pentingnya perhitungan dinamis per transaksi dan bukan semata-mata mengandalkan profil rata-rata historis.

3.7. Perbandingan Skenario *Single Sourcing*, *Split Sourcing*, dan Keputusan Aktual Staf Operasional Order

Untuk membuktikan secara lebih eksplisit manfaat *split sourcing* dibandingkan hanya memilih satu sumber, penelitian ini membandingkan tiga skenario keputusan pada level operasional: (1) *single sourcing*, yaitu seluruh kebutuhan dialokasikan pada satu alternatif dengan skor

penalti terendah dengan memperhatikan batas ketersediaan stok; (2) *split sourcing*, yaitu kebutuhan dialokasikan secara berurutan kepada alternatif berikutnya apabila stok pada alternatif prioritas pertama tidak mencukupi, sebagaimana dirancang pada proposisi P3; dan (3) keputusan aktual staf operasional order sebagai *baseline* pembandingan [32].

Pada level item individual, contoh material material A pada Tabel 6 menjadi bukti konkret bahwa skema *split sourcing* bekerja secara operasional: apabila stok pada IT (skor penalti 0,0669) tidak mencukupi kebutuhan, sisa kebutuhan dialokasikan secara berurutan kepada EO (0,0884), SEO (0,0940), dan SO (0,4971) sesuai peringkat skor, bukan secara acak atau berdasarkan intuisi. Pola alokasi berurutan ini memastikan bahwa setiap unit kebutuhan yang tidak dapat dipenuhi oleh alternatif terbaik tetap dialokasikan kepada alternatif terbaik berikutnya yang tersedia, alih-alih beralih langsung ke alternatif dengan skor penalti terburuk.

Tabel 6. Perbandingan Skenario *Single Sourcing*, *Split Sourcing*, dan Keputusan Aktual Staf Operasional Order pada Item Material A (SHAFT)

Skenario	Rata-rata <i>Gross Margin</i>	Potensi OTIF	Rata-rata <i>Lead Time</i> (hari)	Score
Model – <i>Single sourcing</i> (SEO)	21,85%	OTIF	2,0	0,0884
<i>Split sourcing</i> (IT & SEO)	35,40%	OTIF	2,5	0,0858 & 0,0884
Keputusan aktual staf operasional order (SEO)	21,85%	OTIF	2,0	0,0884

Perbandingan menunjukkan pola yang konsisten: *split sourcing* secara mekanistik mewarisi keunggulan skema *single sourcing* pada alternatif prioritas pertama, bahkan dapat sekaligus mencegah kegagalan pemenuhan kebutuhan yang mungkin terjadi apabila stok pada alternatif tersebut tidak mencukupi. Dengan demikian, pembuktian manfaat *split sourcing* pada penelitian ini bersifat *proof-of-concept* pada level item, sedangkan pengujian pada skala populasi transaksi menjadi salah satu arah pengembangan lanjutan yang disampaikan pada bagian Saran.

3.8. Sensitivity Analysis

Untuk menguji ketahanan peringkat pada Tabel 7, bobot w_1 – w_4 divariasikan satu per satu sebesar $\pm 20\%$ dari nilai AHP awal (delapan skenario), dengan bobot lain dinormalisasi ulang agar tetap berjumlah 1. Alternatif dengan Zi terendah dicatat pada setiap skenario.

Tabel 7. Hasil *Sensitivity Analysis* terhadap Bobot Kriteria

Skenario	Perubahan Bobot	Alternatif Peringkat 1
1	<i>Lead time</i> –20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
2	<i>Lead time</i> +20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
3	MAP –20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
4	MAP +20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
5	Risiko Non-OTIF –20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
6	Risiko Non-OTIF +20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
7	<i>Gross Margin Loss</i> –20%	<i>Inter Branch</i> (IT)
8	<i>Gross Margin Loss</i> +20%	<i>Inter Branch</i> (IT)

Rekomendasi utama (*Inter Branch*/IT) tetap stabil pada 8 dari 8 skenario (100%), melampaui ambang batas 80%

yang ditetapkan kriteria stabilitas operasional penelitian pada bagian Metode untuk mengategorikan model sebagai stabil. Stabilitas ini mengindikasikan bahwa keunggulan IT pada level agregat kuartal ini cukup kokoh, tidak semata-mata bergantung pada satu kombinasi bobot tertentu, meskipun keunggulan tersebut tidak serta-merta berlaku pada setiap transaksi individual.

3.9. Analisis Skenario Bobot Strategis (*Service-Oriented*, *Cost-Oriented*, dan *Balanced*)

Selain pengujian $\pm 20\%$ satu-per-satu pada Tabel 7, penelitian ini menambahkan tiga skenario pembobotan strategis yang merepresentasikan arah kebijakan manajemen yang berbeda, guna memperjelas interpretasi bisnis dari perubahan prioritas. Skenario *Service-Oriented* menaikkan bobot *lead time* dan risiko non-OTIF (dimensi layanan) menjadi $w_1=0,30$ dan $w_3=0,40$, sementara bobot MAP dan *gross margin loss* (dimensi biaya) diturunkan menjadi $w_2=0,10$ dan $w_4=0,20$. Skenario *Cost-Oriented* menaikkan bobot MAP dan *gross margin loss* menjadi $w_2=0,30$ dan $w_4=0,40$, sementara bobot *lead time* dan risiko non-OTIF diturunkan menjadi $w_1=0,15$ dan $w_3=0,15$. Skenario *Balanced* memberi bobot yang sama pada keempat kriteria ($w_1=w_2=w_3=w_4=0,25$). Ketiga skenario ini bersifat ilustratif untuk menguji sensitivitas model terhadap pergeseran strategis, berbeda dari bobot w_1 – w_4 hasil AHP yang digunakan sebagai bobot utama model. Analisis skenario menunjukkan bahwa *Inter*

Branch (IT) tetap menjadi rekomendasi utama dalam skenario yang berorientasi pada biaya (*Cost-Oriented*) dan skenario seimbang (*Balanced*), sedangkan dalam skenario yang berorientasi pada layanan (*Service-Oriented*), *Stock Order* (SO) dapat menggeser IT sebagai alternatif prioritas. Temuan ini sejalan dengan *trade-off* antar-kriteria serta anomali kinerja alternatif pengadaan yang telah kita bahas sebelumnya.

3.10. Perbandingan Keputusan Aktual Staf Operasional Order dengan Tool Optimasi

Hasil perbandingan antara keputusan aktual staf operasional order dan rekomendasi model optimasi menunjukkan adanya perbedaan kinerja pada aspek *gross margin* dan potensi pencapaian OTIF. Berdasarkan keputusan aktual staf operasional order, dapat di estimasikan perusahaan memperoleh *gross margin* sebesar 5,2% dengan potensi pencapaian OTIF sebesar 90%. Sementara itu, rekomendasi model optimasi secara estimasi dapat menghasilkan *gross margin* sebesar 17% dengan potensi pencapaian OTIF sebesar 62%. Selain itu, rata-rata *lead time* pada rekomendasi model tercatat 23,4 hari, lebih panjang dibandingkan 13,7 hari pada keputusan aktual staf operasional order, sejalan dengan arah *trade-off* yang sama pada OTIF. Dengan demikian, penerapan rekomendasi model optimasi mengindikasikan potensi peningkatan (*indicative/simulated improvement*) *gross margin* sebesar 11,8 poin persentase, sedangkan potensi pencapaian OTIF mengalami penurunan sebesar 28 poin persentase dibandingkan keputusan aktual staf operasional order. Hasil tersebut mengindikasikan potensi perbaikan kinerja simulatif yang lebih besar pada aspek profitabilitas, dengan konsekuensi berupa penurunan pada potensi pencapaian OTIF. Perlu ditegaskan bahwa hasil ini merupakan indikasi potensi dan bukan bukti kausal.

3.11. Pembahasan

3.11.1. Karakteristik *Trade-off* antara *Lead Time*, MAP, Risiko Non-OTIF, dan *Gross Margin*

Hasil *profiling* pada hasil penelitian secara umum mendukung proposisi P2 bahwa tidak terdapat satu alternatif *sourcing* yang unggul mutlak pada seluruh kriteria. IT unggul pada *Gross Margin* dan efisiensi MAP namun berada pada level menengah untuk risiko non-OTIF; SEO unggul pada risiko non-OTIF dan *lead time* namun rendah pada *gross margin*. Pola ini sejalan dengan *grand theory trade-off* [21] dan literatur *dual/split sourcing* [33], [34] yang menegaskan bahwa peningkatan kecepatan layanan pada umumnya disertai konsekuensi biaya.

Namun, temuan pada EO memperlihatkan bentuk *trade-off* yang berbeda dari yang diasumsikan dalam *grand theory*. EO seharusnya berada pada kuadran '*lead time* tersingkat, biaya tertinggi, tetapi data empiris menunjukkan EO memiliki *lead time* rata-rata terpanjang (13,45 hari) sekaligus menghasilkan rata rata

gross margin di angka 22%. Dengan kata lain, EO pada data kuartal 2 tidak menunjukkan *trade-off* yang 'sehat' (cepat tapi mahal), melainkan sebuah anomali kinerja, hal ini dikarenakan EO kerap kali diambil untuk mempercepat *lead time* pada *part* yang berstatus *backorder* atau yang posisinya berada di luar Indonesia, sehingga terjadi penurunan *lead time* namun tetap tidak mencapai ambang batas yang diharapkan; di sisi lain, *Gross margin* tergolong masih cukup sehat karena *cost* MAP yang mahal berimbang dengan harga jual ke *customer*. Pola sebaliknya berlaku pada SO, yang sering kali dipilih dalam upaya mengurangi potensi *gross margin loss* dengan mengorbankan *lead time* yang tinggi dan risiko non-OTIF.

3.11.2. Model Optimasi Berbasis MCDM/AHP

Bobot AHP (CR = 0,02) menunjukkan preferensi pakar PT XYZ yang paling menekankan pengendalian *gross margin loss* ($w_4 = 0,488$) dan risiko non-OTIF ($w_3 = 0,276$), melebihi bobot *lead time* dan MAP. Urutan prioritas ini konsisten dengan pandangan yang menyatakan bahwa keputusan *sourcing* merupakan komponen strategis yang mempertimbangkan biaya, waktu, dan ketersediaan barang secara simultan, namun secara spesifik menegaskan bahwa dalam konteks industri alat berat, risiko finansial (margin) dan risiko layanan (non-OTIF) dinilai pakar sebagai konsekuensi yang lebih kritis dibandingkan sekadar kecepatan proses [17].

Fungsi objektif terbobot yang dikonstruksi menghasilkan *Inter Branch* (IT) sebagai rekomendasi teratas, sekaligus menunjukkan stabilitas tinggi pada *sensitivity analysis*. Stabilitas ini memperkuat validitas struktural model dalam menjawab RQ2, yaitu bahwa rekomendasi keputusan *sourcing* berbasis MCDM dapat dirumuskan secara terukur dan tidak sensitif terhadap variasi kecil pembobotan pakar. Contoh kasus PN Material X HOSE menunjukkan IT menjadi pilihan dengan skor penalti tertinggi, hal ini menegaskan bahwa nilai tambah utama model bukan pada penetapan satu alternatif 'terbaik secara umum', melainkan pada kapasitasnya mengevaluasi keempat kriteria secara dinamis dan spesifik untuk setiap item pada setiap kejadian *stock-out*, sesuai rancangan *tool* operasional.

3.11.3. Skema *Split Sourcing* Berbasis Urutan Prioritas

Hasil memperlihatkan bahwa skema *split sourcing* berbasis peringkat Zi dan ketersediaan stok, sebagaimana dirumuskan pada proposisi P3, dapat diimplementasikan secara operasional melalui *tool* Microsoft Excel: kebutuhan dialokasikan terlebih dahulu ke alternatif dengan skor penalti terendah (IT pada contoh ini) dengan *score* terendah yaitu 0,0858, dan kemudian beralih memilih ke alternatif berikutnya SEO dengan *score* 0,0884 dikarenakan stok pada alternatif sebelumnya tidak mencukupi, skema ini mampu meningkatkan estimasi *gross margin* yang semula 21,8% menjadi 35,4%. Skema ini *feasible* secara

komputasional dan sejalan dengan pendekatan alokasi berurutan pada literatur *dual sourcing* [33], [35].

3.11.4. Kesenjangan antara Rekomendasi Model dan Praktik Aktual Staf operasional order

Hasil perbandingan tersebut menunjukkan adanya *trade-off* antara profitabilitas dan tingkat pelayanan dalam keputusan *sourcing spare parts*. Rekomendasi model optimasi mengindikasikan potensi peningkatan (*indicative/simulated improvement*) *gross margin* dari 5,2% menjadi 17%, meskipun diikuti penurunan potensi pencapaian OTIF dari 90% menjadi 62%. Dalam konteks penelitian ini, kondisi tersebut dapat dipandang sebagai *trade-off* yang dapat diterima karena peningkatan *gross margin* mencapai 11,8 poin persentase, sedangkan penurunan potensi OTIF 28 poin persentase. Hasil ini juga sejalan dengan pembobotan AHP yang menempatkan *gross margin loss* sebagai kriteria dengan prioritas tertinggi dalam pengambilan keputusan *sourcing*. Dengan demikian, model cenderung menghasilkan rekomendasi yang lebih sesuai dengan prioritas strategis perusahaan, yaitu menjaga dan meningkatkan profitabilitas tanpa sepenuhnya mengabaikan aspek pelayanan kepada *customer*.

Temuan ini menunjukkan bahwa model optimasi tidak hanya berorientasi pada satu indikator kinerja, tetapi berupaya menyeimbangkan aspek finansial dan *service level* sesuai dengan struktur prioritas yang telah ditetapkan melalui AHP. Pola ini selaras dengan argumen yang menyatakan bahwa keputusan *sourcing* yang tidak berbasis data cenderung dibatasi oleh *bounded rationality* staf operasional order kemungkinan memilih SEO karena kemudahan proses atau kebiasaan operasional, bukan karena SEO optimal pada keempat kriteria secara simultan [7]. Penelitian berbeda juga mencatat bahwa keputusan *sourcing* paralel tanpa kerangka *multi-kriteria* formal rentan terhadap pola keputusan semacam ini [36].

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang model optimasi keputusan *sourcing spare parts* berbasis *Enterprise Resource Planning* (ERP) menggunakan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), pembobotan *Analytic Hierarchy Process* (AHP), dan skema *split sourcing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif *sourcing* memiliki karakteristik *trade-off* pada aspek *lead time*, *Moving Average Price* (MAP), risiko non-OTIF, dan *gross margin loss*, sehingga tidak terdapat satu alternatif yang unggul secara mutlak pada seluruh kriteria. Pada tingkat agregat, *Inter Branch* (IT) memperoleh nilai penalti terendah dan tetap stabil pada seluruh skenario *sensitivity analysis* $\pm 20\%$. Implementasi *split sourcing* juga menunjukkan kemampuan model dalam mengalokasikan kebutuhan berdasarkan prioritas alternatif dan ketersediaan stok. Validasi operasional menunjukkan bahwa model berpotensi meningkatkan *gross margin* dibandingkan

keputusan aktual, namun dengan konsekuensi penurunan potensi tingkat layanan OTIF. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena validasi masih menggunakan data uji coba terbatas dan belum melakukan implementasi langsung pada sistem ERP secara *real-time*. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan integrasi model ke dalam *Decision Support System* (DSS) berbasis ERP, memperluas periode pengujian, serta melakukan evaluasi menggunakan data operasional yang lebih besar.

Daftar Rujukan

- [1] Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Harlow, UK: Pearson Education Limited.
- [2] Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management* (13th ed.). Harlow, UK: Pearson
- [3] Prameswari, A., Trisninawati, T., & Endrawan, I. B. (2026). Human resource competence, spare part procurement lead time, and operational smoothness at PT Wahana Bara Sentosa. *Nusantara Journal of Community Service*, 2(1), 33–39.
- [4] Raaymann, S., & Spinler, S. (2024). Measuring supply chain resilience along the automotive value chain: A comparative research on literature and industry. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 192, 103792. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2024.103792>
- [5] Bahiyyah, R. N., & Nisah, F. A. (2025). Correlation between parts readiness and on time in full (OTIF) performance. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 24(1), 42–50. <https://doi.org/10.20961/performa.24.1.85191>
- [6] Maesazshandy, D., & Tohir, M. (2025). The effect of delivery time on customer satisfaction in cargo services. *Siber Journal of Transportation and Logistics*, 2(3), 87–91. <https://doi.org/10.38035/sjtl.v2i3.389>
- [7] Ali, W. W., Ibua, M., & Ongisa, F. (2024). Effect of supply chain agility on supply chain performance of manufacturing firms in Mombasa County, Kenya. *South Sahara Multidisciplinary Journal*, 2(1), 49–60. <https://doi.org/10.61250/ssmj/v1.i2.4>
- [8] Chen, Y., Chen, G., Xu, J., & Duan, H. (2023). Sourcing diversification: Strategy selection, sourcing allocation and brand power. *Computers & Industrial Engineering*, 181, 109307. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109307>
- [9] Kimwaki, B. M. (2024). Supply chain performance in the manufacturing sector: The role of lead-time management strategies. *Journal Integration of Social Studies and Business Development*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.58229/jissbd.v2i1.142>
- [10] Luangpantao, K., & Chiadamrong, N. (2013). Multi-sourcing multi-product supplier selection: An integrated fuzzy multi-objective linear model. In *Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Project, and Production Management (EPPM 2013)* (571–585). Bangkok, Thailand.
- [11] Fatih, M. D., Pariyadi, Rachmawati, A., & Anzari, Y. (2025). Sistem pendukung keputusan pemilihan vendor bahan baku strategis dengan metode analytical hierarchy proses (AHP) dan TOPSIS. *Jurnal Akademika*, 18(1), 15–28. <https://doi.org/10.53564/g7wc3t46>
- [12] Gidiagba, J. O., Okwu, M., & Tartibu, L. (2025). Multi-criteria decision support for sustainable supplier evaluation in mining SMEs: A fuzzy logic and TOPSIS approach. *Logistics*, 9(3), 132. <https://doi.org/10.3390/logistics9030132>

- [13] Hakim, A. N., & Setiawan, D. (2025). Analisis multi-criteria decision making (MCDM) pada pengambilan keputusan pemilihan vendor dengan metode analytical hierarchy process (AHP). *Qomaruna: Journal of Multidisciplinary Studies*, 2(2), 10–21. <https://doi.org/10.62048/qjms.v2i2.89>
- [14] Ramadhani, R., & Suparno, S. (2025). Selection of coal terminal port spare parts suppliers using the AHP-TOPSIS method. *Journal Research of Social Science, Economics, and Management*, 4(11), 1729–1738. <https://doi.org/10.59141/jrssem.v4i11.864>
- [15] Sanni, A. D., Olifia, J., & Nisa, A. (2023). The determining criteria in the selection of spare parts suppliers at PT. XYZ using the analytical hierarchy process (AHP) method. In *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Economics and Social Science (ICAESS 2023)*. Batam, Indonesia. <https://doi.org/10.4108/eai.7-11-2023.2342400>
- [16] Chasanah, N. I., & Hermawan, A. (2024). Pengaruh biaya operasional terhadap laba bersih UMKM Kopikar Coffee di Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Komputerisasi Akuntansi*, 17(2), 366–373. <https://doi.org/10.51903/kompak.v17i2.2142>
- [17] Chopra, S. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Harlow, UK: Pearson Education Limited.
- [18] Purwanto, A., & Simamora, B. H. (2025). Lean procurement strategy in the service industry: Its impact on customer satisfaction. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(42s), 1–11. <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i42s.8214>
- [19] Manousiadou, A. (2024). Behavioral theories in inventory management and forecasting: Driving supply chain resilience. *Journal of Supply Chain Management Science*, 5(3–4), 143–158. <https://doi.org/10.59490/jscms.2024.7758>
- [20] Turban, E., Sharda, R., & Delen, D. (2011). *Decision support and business intelligence systems* (9th ed.). Boston, MA: Prentice Hall.
- [21] Lewis, M., & Slack, N. (2017). *Operations strategy* (5th ed.). Harlow, UK: Pearson Education Limited.
- [22] Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed.). New York, NY: McGraw-Hill/Irwin.
- [23] Sistem ERP Perusahaan. (2026). *Sistem Erp Perusahaan ERP system documentation: Moving average price (MAP) module*. Jakarta: PT United Tractors.
- [24] United Tractors. (2024). *Internal operational documentation: On-Time-In-Full (OTIF) measurement and standard operating procedure*. PT United Tractors internal documentation.
- [25] Brigham, E. F., & Houston, J. F. (2019). *Fundamentals of financial management* (15th ed.). Boston, MA: Cengage Learning.
- [26] Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple attribute decision making: Methods and applications: A state-of-the-art survey*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- [27] Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York, NY: McGraw-Hill International Book Company.
- [28] Andarsita, N., & Erdkhadifa, R. (2024). Pengaruh modal kerja dan biaya operasional terhadap laba bersih PT Matahari Putra Prima, Tbk. *Al-Kharaj: Jurnal Ekonomi, Keuangan & Bisnis Syariah*, 6(4), 4770–4787. <https://doi.org/10.47467/alkharaj.v6i4.1035>
- [29] Noviyanti, H., Samanto, H., & Ma'ruf, M. H. (2025). Pengaruh biaya produksi, biaya operasional dan volume penjualan terhadap laba bersih perusahaan manufaktur sektor aneka industri yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia tahun 2021–2024. *Jurnal Ilmiah Manajemen dan Akuntansi*, 2(4), 111–119. <https://doi.org/10.69714/ckfenw53>
- [30] Bilqis, N. M., & Muhammad, M. (2025). Pengaruh biaya produksi, biaya operasional dan volume penjualan terhadap laba bersih perusahaan manufaktur. *Jurnal Bisnis dan Akuntansi Unsuraya*, 10(2), 190–203.
- [31] Forman, E., & Peniwati, K. (1998). Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 108(1), 165–169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0)
- [32] Nugroho, A., Supriadi, A., Soleh, M., Dermawan, B., & Prasetyo, Y. (2025). Analisis efisiensi pengiriman multiple supplier: Dampak pada waktu tunggu dan biaya logistik dengan metode critical success factors (CSF) (Studi kasus PT. XYZ). *Journal of Management and Innovation Entrepreneurship*, 3(1), 9–12. <https://doi.org/10.70248/jmie.v3i1.2445>
- [33] Hamdouch, Y., Boulaksil, Y., & Ghoudi, K. (2023). Dual sourcing inventory management with nonconsecutive lead times from a supply chain perspective: A numerical study. *OR Spectrum*, 45(3), 1013–1041. <https://doi.org/10.1007/s00291-023-00720-4>
- [34] Chen, Z., & Chen, C. (2024). Optimal procurement decisions based on smoothing strategy for dual sourcing with different lead times. *Computers & Industrial Engineering*, 196, 110490. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110490>
- [35] Rodrigues, M., Šírová, E., & Mugurusi, G. (2022). A supplier selection decision model using multi-criteria decision analysis in a small manufacturing company. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 2773–2778. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.149>
- [36] Cassidey, T. B., Freeman, N. K., Melouk, S. H., & Narayanan, A. (2026). Concurrent sourcing behavior and bounded rationality under capacity constraints. *European Journal of Operational Research*, 331(1), 229–241. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2025.09.037>