

## Pengukuran Kinerja Gudang Bahan Baku Industri Semen Menggunakan *Frazelle Model* dan *Best-Worst Method*

Lailatul Salva<sup>1</sup>, Syarif Hidayatulloh<sup>2</sup>, Miftahol Arifin<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Logistik Kampus Kabupaten Banyumas, Universitas Telkom, Indonesia

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 02 Desember 2025

Revised: 23 Desember 2025

Accepted: 26 Desember 2025

#### Keywords:

Warehouse Performance Measurement; *Frazelle Model*; *Best-Worst Method*; **Cement Industry**; **Improvement Priority**.

#### Published by

Impressio: Jurnal Teknologi dan Informasi

Copyright © 2025 by the Author(s) | This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



### ABSTRACT

Gudang bahan baku memiliki peran strategis dalam industri semen karena kinerjanya berpengaruh langsung terhadap kelancaran proses produksi. Berbeda dengan pendekatan evaluasi konvensional yang sering kali parsial, penelitian ini menawarkan kontribusi ilmiah melalui integrasi *Frazelle Model* untuk pemetaan proses *end-to-end* dan *Best-Worst Method* (BWM) untuk menghasilkan pembobotan prioritas yang lebih konsisten dan minim bias. *Frazelle Model* memetakan kinerja ke dalam lima proses utama (receiving, put-away, storage, order picking, shipping), sedangkan BWM menentukan bobot *Key Performance Indicators* (KPI). Hasil empiris menunjukkan ketimpangan kinerja yang signifikan antar proses: *Order Picking* mencatat kinerja tertinggi (skor 0,85), sedangkan *Shipping* teridentifikasi sebagai proses paling kritis dengan skor terendah (0,62) padahal memiliki bobot kepentingan tertinggi (0,35) dalam struktur prioritas. Temuan ini mengindikasikan bahwa aktivitas pengiriman adalah *bottleneck* utama yang sering terabaikan. Secara manajerial, penelitian ini merekomendasikan reorientasi strategi perbaikan yang tidak lagi menyebar rata, melainkan terfokus penuh pada standarisasi metode dan optimalisasi sumber daya di area pengiriman (*shipping*) untuk dampak peningkatan kinerja yang paling efektif.

*Raw material warehouses play a strategic role in the cement industry, directly affecting production continuity and operational efficiency. Unlike conventional evaluations that are often partial, this study contributes to the literature by integrating the Frazelle Model for end-to-end process mapping with the Best-Worst Method (BWM) to ensure consistent and less biased priority weighting. The Frazelle Model structures performance into five main processes (receiving, put-away, storage, order picking, shipping), while BWM determines the relative weights of Key Performance Indicators (KPIs). Empirical results reveal significant performance disparities: Order Picking achieved the highest performance (score 0.85), whereas Shipping was identified as the most critical bottleneck with the lowest score (0.62) despite holding the highest importance weight (0.35). These findings indicate that shipping activities are the primary, often overlooked, critical constraint. Managerially, this study recommends shifting from generalized improvements to a targeted strategy focused on workflow standardization and resource optimization specifically within the shipping process for the most effective performance enhancement.*

#### Corresponding Author:

Miftahol Arifin

Program Studi Teknik Logistik Kampus Kabupaten Banyumas, Universitas Telkom, Indonesia

Jl. DI Panjaitan No.128, Karangreja, Purwokerto Kidul, Kec. Purwokerto Sel., Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147, Indonesia Email: [ratiharini@telkomuniversity.ac.id](mailto:ratiharini@telkomuniversity.ac.id)

Email: [miftahola@telkomuniversity.ac.id](mailto:miftahola@telkomuniversity.ac.id)

## PENDAHULUAN

Industri semen merupakan salah satu sektormanufaktur strategis yang sangat bergantung pada ketersediaan dan kelancaran pasokan bahan baku. Dalam konteks ini, gudang bahan baku tidak hanya berfungsi sebagai tempat penyimpanan, tetapi juga sebagai simpul operasional yang menentukan kesinambungan proses produksi (Al-fajri, 2023; Ben-Mahmud, 1987). Ketidakefisienan pada aktivitas gudang dapat memicu keterlambatan pasokan material ke lini produksi, meningkatkan waktu tunggu, serta mendorong pemborosan biaya operasional. Oleh karena itu, pengukuran kinerja gudang bahan baku menjadi kebutuhan mendesak untuk memastikan bahwa setiap aktivitas pergudangan berjalan sesuai dengan target operasional dan tujuan bisnis perusahaan (Cahyaningtyaas, 2020).

Dalam praktiknya, banyak perusahaan masih melakukan evaluasi kinerja gudang secara parsial dan tidak terstruktur. Pengukuran kinerja sering kali hanya berfokus pada indikator tertentu seperti tingkat persediaan atau waktu bongkar muat, tanpa memetakan kinerja secara menyeluruh pada seluruh proses gudang (Gonardi & Sutapa, 2019; Gupta & Barua, 2017). Pendekatan ini menyulitkan manajemen dalam mengidentifikasi sumber permasalahan yang spesifik ketika terjadi penurunan kinerja, terutama pada gudang bahan baku industri berat yang memiliki karakteristik volume material besar, penggunaan alat material handling intensif, serta tuntutan keandalan pasokan yang tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya kerangka pengukuran kinerja gudang yang berbasis proses dan mampu memberikan gambaran komprehensif terhadap performa operasional (Hadiguna & Setiawan, 2008).

Salah satu kerangka yang banyak digunakan dalam pengukuran kinerja gudang adalah Frazelle Model (Frazelle, 2002b). Model ini mengelompokkan aktivitas gudang ke dalam lima proses utama, yaitu receiving, put-away, storage, order picking, dan shipping, serta mengevaluasinya melalui dimensi kinerja seperti financial, productivity, utilization, dan quality. Keunggulan Frazelle Model terletak pada kemampuannya memetakan kinerja gudang secara end-to-end sehingga memudahkan diagnosis permasalahan pada proses tertentu (Heizer & Render, 2011). Namun, penerapan Frazelle Model dalam berbagai penelitian sebelumnya umumnya berhenti pada pengukuran nilai KPI tanpa diikuti mekanisme pembobotan indikator yang sistematis dan konsisten (Helmiawan et al., 2022). Akibatnya, hasil pengukuran sering sulit ditindaklanjuti untuk menentukan prioritas perbaikan yang paling berdampak.

Permasalahan lain yang sering muncul dalam pengukuran kinerja gudang adalah subjektivitas dalam penentuan bobot indikator (Hidayatuloh et al., 2022). Banyak studi menggunakan pembobotan sederhana atau mengandalkan metode yang membutuhkan banyak perbandingan berpasangan, sehingga meningkatkan beban responden dan potensi inkonsistensi penilaian. Dalam konteks gudang bahan baku industri semen, yang melibatkan berbagai indikator operasional dengan tingkat kepentingan berbeda, pendekatan pembobotan yang tidak efisien dapat menurunkan reliabilitas hasil pengukuran. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan akan metode pembobotan yang lebih ringkas, konsisten, dan mudah diterapkan oleh praktisi (Indriyani & Budiawan, 2017).

Best-Worst Method (BWM) merupakan salah satu pendekatan multi-criteria decision making yang dikembangkan untuk mengatasi kelemahan metode pembobotan konvensional (Kurniawan & Pratiwi, 2020). BWM hanya membutuhkan perbandingan antara kriteria terbaik dan terburuk terhadap kriteria lainnya, sehingga mengurangi jumlah perbandingan dan meningkatkan konsistensi penilaian. Meskipun BWM telah banyak digunakan dalam berbagai konteks evaluasi kinerja dan pengambilan keputusan, penerapannya dalam pengukuran kinerja gudang, khususnya yang terintegrasi dengan kerangka KPI berbasis proses seperti Frazelle Model, masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan BWM secara terpisah tanpa mengaitkannya secara langsung dengan struktur proses operasional gudang.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat kesenjangan (*gap*) penelitian yang krusial yang perlu dijawab. Mayoritas literatur sebelumnya cenderung terpolarisasi: menggunakan *Frazelle Model* hanya sebagai alat deskriptif visual, atau menerapkan metode pembobotan multikriteria (MCDM) secara terpisah tanpa basis proses operasional yang kuat. Kelemahan ini menyebabkan evaluasi kinerja menjadi kurang tajam dalam mendiagnosis masalah spesifik. Penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) melalui sintesis integratif: menggabungkan struktur proses komprehensif dari *Frazelle Model* dengan algoritma pembobotan *Best-Worst Method* (BWM). Pemilihan BWM didasarkan pada keunggulannya dalam menghasilkan bobot yang konsisten dengan jumlah perbandingan yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional seperti AHP, sehingga sangat relevan untuk mengurai kompleksitas indikator di gudang industri semen.

Penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut dengan mengembangkan pengukuran kinerja gudang bahan baku industri semen menggunakan Frazelle Model yang dipadukan dengan Best-Worst Method. Integrasi ini diharapkan mampu menghasilkan pengukuran kinerja yang komprehensif, terstruktur, dan memiliki tingkat konsistensi yang lebih baik dalam pembobotan indikator. Selain itu, hasil pengukuran tidak hanya memberikan gambaran tingkat kinerja gudang secara keseluruhan, tetapi juga memungkinkan identifikasi proses kritis yang memerlukan perhatian manajerial lebih lanjut. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi teoretis dalam pengayaan pendekatan pengukuran kinerja gudang serta kontribusi praktis bagi pengelola gudang dalam mendukung pengambilan keputusan perbaikan operasional secara lebih terarah.

## KAJIAN TEORI

Pengukuran kinerja gudang merupakan bagian penting dari manajemen operasi karena gudang berfungsi sebagai penghubung antara aktivitas pasokan dan proses produksi. Kinerja gudang yang baik tidak hanya diukur dari kecepatan aliran material, tetapi juga dari efisiensi biaya, utilisasi sumber daya, kualitas layanan, dan keandalan proses. Dalam konteks manufaktur, terutama industri berat, gudang bahan baku memiliki peran strategis karena kegagalan pada sistem pergudangan dapat langsung berdampak pada downtime produksi dan peningkatan biaya operasional (Widyanto et al., 2018; Yanuar Saksono, 2022).

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengukuran kinerja gudang sering kali menghadapi dua tantangan utama. Pertama, banyak perusahaan menggunakan indikator kinerja yang bersifat parsial dan tidak terintegrasi antar proses. Kedua, hasil pengukuran sering kali sulit digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan perbaikan karena tidak memberikan informasi prioritas yang jelas. Kondisi ini mendorong kebutuhan akan kerangka pengukuran kinerja yang mampu memetakan aktivitas gudang secara menyeluruh dan memberikan interpretasi kinerja yang mudah dipahami oleh manajemen operasional (Warella et al., 2021; Warman, 1993).

### Indikator Kinerja Utama untuk Operasi Gudang

Key Performance Indicators (KPI) merupakan instrumen utama dalam mengevaluasi kinerja gudang. KPI berfungsi untuk menerjemahkan tujuan operasional ke dalam ukuran kuantitatif yang dapat dipantau dan dievaluasi secara periodik. Dalam literatur, KPI gudang umumnya diklasifikasikan ke dalam beberapa dimensi utama, seperti biaya operasional, produktivitas tenaga kerja, utilisasi ruang dan peralatan, kualitas layanan, serta waktu siklus proses (Utomo & Kusumawardhani, 2022).

Meskipun demikian, banyak studi mencatat bahwa tantangan utama dalam penerapan KPI gudang bukan terletak pada ketersediaan indikator, melainkan pada pemilihan indikator yang benar-benar relevan dengan karakteristik operasi gudang. Penggunaan terlalu banyak KPI justru dapat menimbulkan informasi yang berlebihan dan mengaburkan fokus perbaikan. Selain itu, KPI yang tidak dikaitkan secara langsung dengan proses operasional menyulitkan identifikasi sumber masalah ketika terjadi penurunan kinerja. Oleh karena itu, pendekatan KPI berbasis proses menjadi semakin penting dalam pengukuran kinerja gudang (Tartiani et al., 2019).

### Model Frazelle untuk Kinerja Gudang

Frazelle Model merupakan salah satu kerangka pengukuran kinerja gudang yang banyak dirujuk karena pendekatannya yang berbasis proses. Model ini membagi aktivitas gudang ke dalam lima proses utama, yaitu receiving, put-away, storage, order picking, dan shipping. Setiap proses dievaluasi menggunakan indikator yang mencerminkan dimensi kinerja seperti financial, productivity, utilization, dan quality. Pendekatan ini memungkinkan pengukuran kinerja yang terstruktur dan memudahkan analisis kelemahan pada proses tertentu (Sulistyaningsih, 2021).

Berbagai penelitian telah mengadopsi Frazelle Model untuk mengevaluasi kinerja gudang pada sektor distribusi dan logistik. Hasilnya menunjukkan bahwa model ini efektif dalam mengidentifikasi proses yang memiliki performa rendah dan membutuhkan perbaikan. Namun, sebagian besar studi tersebut hanya menggunakan Frazelle Model sebagai alat pengukuran deskriptif. Penentuan tingkat

kepentingan antar indikator sering kali dilakukan secara subjektif atau diserahkan pada asumsi peneliti, sehingga mengurangi kekuatan analitis model dalam mendukung pengambilan keputusan strategis (Sriwana et al., 2021). Tabel 1. disusun untuk memperkuat mengapa *Frazelle Model* lebih superior untuk kasus operasional gudang dibandingkan SCOR atau *Balanced Scorecard* (BSC).

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Model Pengukuran Kinerja Gudang

| Dimensi Perbandingan        | Supply Chain Operations Reference (SCOR)                                       | Balanced Scorecard (BSC)  | Frazelle Model   |
|-----------------------------|--|---|--|
| Fokus Utama                 | Efisiensi Rantai Pasok secara menyeluruh (End-to-End).                         | Penyelarasan Strategi Bisnis Korporat.  | Aktivitas Fisik dan Operasional Gudang.                              |
| Unit Analisis               | Makro (Pemasok hingga Pelanggan).  | Strategis (Keuangan, Pelanggan, Internal, Pembelajaran).                        | Mikro (Receiving, Put-away, Storage, Picking, Shipping).             |
| Kelebihan                   | Standarisasi proses antar perusahaan.  | Menerjemahkan visi menjadi aksi terukur.  | Diagnosis mendalam pada titik masalah di lantai gudang (shop floor). |
| Keterbatasan pada Riset Ini | Terlalu luas, sulit mendeteksi bottleneck spesifik di dalam gudang bahan baku. | Kurang sensitif terhadap teknis operasional material handling dan aliran fisik. | (Diatasi dengan integrasi BWM untuk pembobotan) .                    |
| Keunggulan Relatif          | Baik untuk integrasi eksternal.  | Baik untuk evaluasi manajerial level atas.                                      | Paling relevan untuk isolasi masalah teknis operasional gudang.      |

### Pengambilan Keputusan Multi-Kriteria dalam Evaluasi Gudang

Untuk mengatasi keterbatasan subjektivitas dalam pengukuran kinerja, banyak penelitian mengadopsi pendekatan Multi-Criteria Decision Making (MCDM). Metode MCDM memungkinkan penggabungan berbagai indikator dengan tingkat kepentingan yang berbeda ke dalam satu kerangka evaluasi. Metode seperti Analytical Hierarchy Process (AHP) sering digunakan untuk menentukan bobot indikator dalam evaluasi kinerja gudang (Wulandari et al., 2023; Zhu et al., 2022).

Namun, AHP memiliki keterbatasan ketika jumlah indikator meningkat, karena membutuhkan banyak perbandingan berpasangan yang dapat membebani responden dan meningkatkan risiko inkonsistensi. Dalam konteks gudang bahan baku industri semen yang melibatkan banyak KPI operasional, keterbatasan ini menjadi semakin relevan. Oleh karena itu, diperlukan metode pembobotan yang lebih efisien, konsisten, dan mudah diterapkan oleh praktisi.

Best–Worst Method (BWM) muncul sebagai alternatif MCDM yang dirancang untuk mengurangi jumlah perbandingan dan meningkatkan konsistensi penilaian. BWM hanya memerlukan identifikasi kriteria terbaik dan terburuk, kemudian membandingkannya dengan kriteria lain. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa BWM menghasilkan bobot yang lebih stabil dibandingkan metode konvensional. Meskipun demikian, penerapan BWM dalam evaluasi kinerja gudang masih terbatas dan sering kali tidak dikaitkan dengan kerangka KPI berbasis proses (Paramita et al., 2023; Setyawan & Arvianto, 2024). Perbandingan metodologi antara AHP dan BMW dapat dilihat dalam tabel 2.

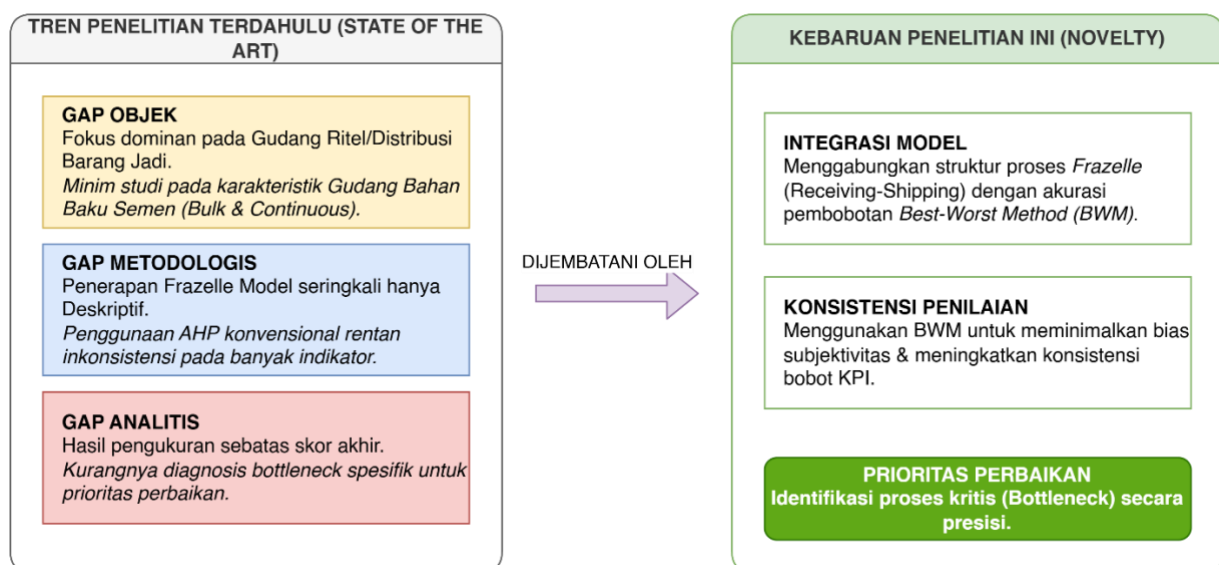
Tabel 2. Perbandingan Efisiensi Metodologis AHP vs. BWM

| Aspek Metodologis               | Analytical Hierarchy Process (AHP)  | Best-Worst Method (BWM)   |
|---------------------------------|---|---|
| Cara Perbandingan               | Matriks Berpasangan Penuh (Full Pairwise Comparison).                       | Berbasis Vektor (Terbaik ke Lainnya & Lainnya ke Terburuk).       |
| Rumus Jumlah Perbandingan       | $n(n-1)/2$  | $2n-3$  |
| Contoh Beban (jika 5 Kriteria)  | Butuh 10 kali perbandingan.   | Hanya butuh 7 kali perbandingan (Lebih Efisien).                  |
| Contoh Beban (jika 10 Kriteria) | Butuh 45 kali perbandingan (Sangat melelahkan responden).                   | Hanya butuh 17 kali perbandingan.                                 |
| Risiko Inkonsistensi            | Tinggi seiring bertambahnya kriteria (Inconsistency Ratio sering $> 0.1$ ). | Rendah, karena struktur perbandingan lebih sederhana dan terarah. |
| Kesimpulan                      | Rentan bias pada kriteria banyak.   | Lebih robust dan konsisten untuk data multi-indikator.            |

### Kesenjangan Penelitian

Berdasarkan tinjauan literatur, dapat diidentifikasi beberapa celah penelitian. Pertama, penelitian pengukuran kinerja gudang bahan baku industri semen masih relatif terbatas, padahal sektor ini memiliki karakteristik operasional yang berbeda dengan gudang distribusi umum. Kedua, meskipun Frazelle Model efektif dalam memetakan kinerja gudang secara proses, model ini jarang dipadukan dengan metode pembobotan yang konsisten dan efisien. Ketiga, penerapan BWM dalam konteks pengukuran kinerja gudang belum banyak diarahkan untuk mendukung diagnosis proses dan penentuan prioritas perbaikan.

Penelitian ini memposisikan diri untuk mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan Frazelle Model dan Best-Worst Method dalam pengukuran kinerja gudang bahan baku industri semen. Integrasi ini diharapkan mampu menghasilkan evaluasi kinerja yang komprehensif, konsisten, dan relevan secara operasional, sekaligus memberikan dasar analitis yang kuat bagi manajemen dalam menentukan fokus perbaikan proses gudang seperti di sajikan dalam gambar 3.



Gambar 2. Diagram Research Gap

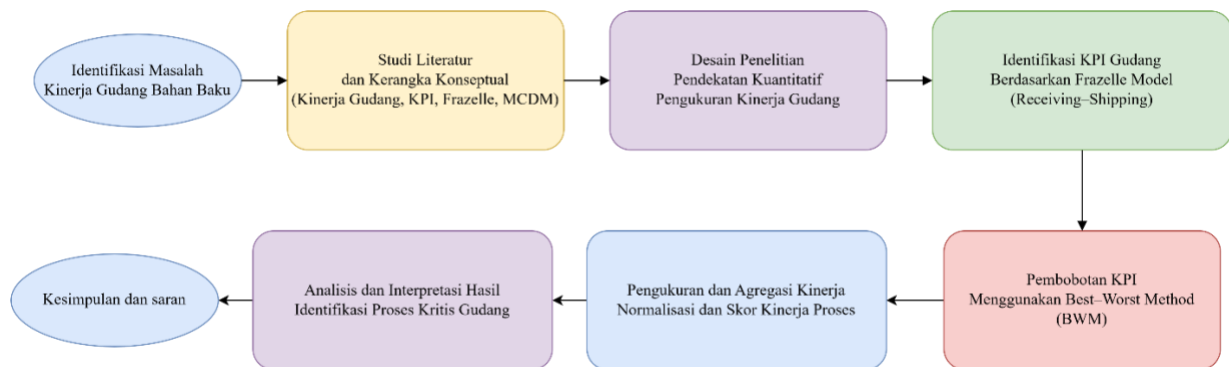
## METODE PENELITIAN

### Rancangan Penelitian dan sumber data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan mengukur dan mengevaluasi kinerja gudang bahan baku pada industri semen. Fokus penelitian adalah pada aktivitas operasional gudang, sehingga unit analisis mencakup proses inti pergudangan dari penerimaan hingga pengiriman material. Penelitian ini dirancang sebagai studi pengukuran kinerja berbasis *Key Performance Indicators* (KPI) yang bersifat kuantitatif. Data penelitian dikumpulkan melalui dua metode utama. Pertama, data sekunder berupa log data operasional gudang (receiving report, picking list, shipping manifest) yang mencakup periode Januari – Desember 2024 diperoleh dari Departemen Logistik PT PDV. Pemilihan periode satu tahun penuh bertujuan untuk mengakomodasi fluktuasi musiman permintaan semen (Kusrini et al., 2018; Staudt et al., 2015).

Kedua, data primer untuk pembobotan KPI diperoleh melalui kuesioner perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang melibatkan panel pakar sebagai pengambil keputusan (*Decision Makers*). Panel pakar terdiri dari tiga orang: Manajer Gudang (pengalaman >10 tahun), Supervisor Logistik (pengalaman >5 tahun), dan Akademisi bidang Manajemen Rantai Pasok. Komposisi ini dipilih untuk menyeimbangkan perspektif praktis operasional dan teoretis strategis.

Gambar 1 menunjukkan alur metodologi penelitian yang digunakan untuk mengukur kinerja gudang bahan baku industri semen secara sistematis. Penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan kinerja gudang yang menjadi dasar penyusunan fokus penelitian. Tahap selanjutnya adalah studi literatur untuk membangun kerangka konseptual yang mencakup konsep kinerja gudang, pemilihan Key Performance Indicators (KPI), penerapan Frazelle Model, serta penggunaan pendekatan multi-criteria decision making. Berdasarkan kerangka tersebut, desain penelitian disusun dengan pendekatan kuantitatif untuk memastikan pengukuran kinerja dapat dilakukan secara objektif dan terukur.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Selanjutnya, KPI gudang diidentifikasi dan dipetakan ke dalam lima proses utama berdasarkan Frazelle Model, yaitu receiving, put-away, storage, order picking, dan shipping. Bobot masing-masing KPI kemudian ditentukan menggunakan Best-Worst Method (BWM) untuk memperoleh tingkat kepentingan indikator yang konsisten dan representatif. Nilai aktual kinerja gudang dihitung berdasarkan data operasional, dinormalisasi, dan diagregasi untuk menghasilkan skor kinerja pada tingkat proses dan gudang secara keseluruhan. Tahap akhir adalah analisis dan interpretasi hasil pengukuran untuk mengidentifikasi proses gudang yang memiliki kinerja terendah dan memerlukan perhatian manajerial lebih lanjut.

### Identifikasi KPI Gudang Berdasarkan Model Frazelle

Identifikasi KPI gudang dilakukan dengan mengacu pada Frazelle Model, yang mengelompokkan aktivitas gudang ke dalam lima proses utama, yaitu receiving, put-away, storage, order picking, dan shipping. Setiap proses dievaluasi menggunakan indikator yang merepresentasikan dimensi kinerja operasional utama, yaitu financial, productivity, utilization, dan quality.

Pemilihan KPI dilakukan melalui studi literatur dan penyesuaian dengan karakteristik gudang bahan baku industri semen. KPI yang digunakan bersifat kuantitatif dan dapat diukur secara operasional berdasarkan data historis gudang. Hasil tahap ini adalah daftar KPI terstruktur yang dipetakan secara jelas ke masing-masing proses gudang, sehingga memungkinkan analisis kinerja berbasis proses. *Tabel 1* menyajikan contoh struktur pemetaan KPI berdasarkan Frazelle Model (Frazelle, 2002a).

Tabel 1. Pemetaan KPI Gudang Berdasarkan Frazelle Model

| Proses Gudang | Dimensi Kinerja | Contoh KPI                 |
|---------------|-----------------|----------------------------|
| Receiving     | Productivity    | Waktu bongkar muat         |
| Put-away      | Utilization     | Utilisasi alat handling    |
| Storage       | Quality         | Tingkat kerusakan material |
| Order Picking | Productivity    | Akurasi pengambilan        |
| Shipping      | Financial       | Biaya pengiriman           |

### Pembobotan KPI Menggunakan Metode Best-Worst Method

Setelah KPI ditetapkan, tahap selanjutnya adalah penentuan bobot indikator menggunakan Best-Worst Method (BWM). Metode ini dipilih karena membutuhkan jumlah perbandingan yang lebih sedikit dibandingkan metode MCDM konvensional, sehingga meningkatkan konsistensi penilaian pakar. Formulasi matematis **Best-Worst Method (BWM)** dilakukan melalui tahapan sistematis sebagai berikut (Rezaei, 2015):

1. Menentukan himpunan kriteria  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ , kemudian memilih satu kriteria terbaik ( $c_B$ ) dan satu kriteria terburuk ( $c_W$ ).
2. Menentukan tingkat preferensi kriteria terbaik terhadap setiap kriteria lainnya menggunakan skala 1-9, sehingga diperoleh vektor preferensi  $A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})$ .
3. Menentukan tingkat preferensi setiap kriteria terhadap kriteria terburuk, yang dinyatakan dalam vektor  $A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T$ .
4. Menghitung bobot optimal kriteria ( $w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*$ ) dengan menyelesaikan model pemrograman linear yang dirumuskan berdasarkan vektor preferensi tersebut.

$$\min_{w, \xi} \xi$$

dengan kendala:

$$\left| \frac{w_B}{w_j} - a_{Bj} \right| \leq \xi, \left| \frac{w_j}{w_W} - a_{jW} \right| \leq \xi$$

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0$$

di mana  $w_j$  adalah bobot kriteria ke- $j$ ,  $a_{Bj}$  adalah preferensi kriteria terbaik terhadap kriteria ke- $j$ , dan  $a_{jW}$  adalah preferensi kriteria ke- $j$  terhadap kriteria terburuk. Hasil dari tahap ini adalah bobot KPI yang konsisten dan merepresentasikan tingkat kepentingan relatif antar indikator.

### Pengukuran dan Normalisasi Kinerja

Nilai aktual kinerja setiap KPI dihitung berdasarkan data operasional gudang. Penelitian ini menggunakan metode S-Norm untuk menyesuaikan nilai KPI ke dalam rentang 0-1. Karena KPI memiliki satuan yang heterogen (misalnya: menit, persentase, rupiah), diperlukan proses normalisasi. Penelitian ini menggunakan metode *Linear Max-Min* atau dikenal sebagai S-Norm. Metode ini dipilih secara spesifik karena keunggulannya dalam mempertahankan rasio interval data asli (linearitas) dan mengubah nilai indikator ke dalam rentang baku  $[0, 1]$  tanpa mendistorsi variasi kinerja antar periode.



Untuk indikator bertipe *Benefit* (semakin besar semakin baik, contoh: Akurasi):

$$S_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

Untuk indikator bertipe *Cost* (semakin kecil semakin baik, contoh: Biaya, Waktu):

$$S_{ij} = \frac{X_{max} - X_{ij}}{X_{max} - X_{min}}$$

di mana  $X_{ij}$  adalah nilai aktual KPI, sedangkan  $X_{max}$  dan  $X_{min}$  adalah nilai maksimum dan minimum indikator.

### Agregasi Skor Kinerja Gudang

Skor kinerja setiap KPI diperoleh dengan mengalikan nilai normalisasi dengan bobot indikator:

$$P_{ij} = w_j \times S_{ij}$$

Skor kinerja proses gudang dihitung dengan menjumlahkan skor seluruh KPI dalam proses tersebut. Selanjutnya, skor kinerja gudang secara keseluruhan diperoleh dari agregasi skor seluruh proses. *Tabel 2* menunjukkan contoh struktur perhitungan skor kinerja proses gudang.

Tabel 2. Struktur Perhitungan Skor Kinerja Gudang

| Proses        | Total Skor    |
|---------------|---------------|
| Receiving     | $\sum P_{ij}$ |
| Put-away      | $\sum P_{ij}$ |
| Storage       | $\sum P_{ij}$ |
| Order Picking | $\sum P_{ij}$ |
| Shipping      | $\sum P_{ij}$ |

### Interpretasi Kinerja

Hasil agregasi skor digunakan untuk membandingkan kinerja antar proses gudang dan mengidentifikasi proses dengan performa terendah. Proses dengan skor terendah dipandang sebagai area kritis yang memerlukan perhatian dan perbaikan lebih lanjut. Interpretasi ini menjadi dasar bagi analisis lanjutan pada bagian pembahasan untuk menjelaskan penyebab dan implikasi manajerial dari temuan penelitian.

## HASIL PENELITIAN

### Hasil Identifikasi dan Struktur KPI Gudang

Tahap awal pengukuran kinerja gudang dilakukan melalui identifikasi Key Performance Indicators (KPI) berdasarkan Frazelle Model. KPI dipetakan ke dalam lima proses utama gudang, yaitu receiving, put-away, storage, order picking, dan shipping. Setiap proses dievaluasi menggunakan indikator yang mewakili dimensi kinerja operasional utama, meliputi financial, productivity, utilization, dan quality. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi kinerja gudang secara end-to-end dan memudahkan analisis perbandingan antar proses.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa setiap proses gudang memiliki karakteristik kinerja yang berbeda dan membutuhkan indikator spesifik. Proses receiving dan put-away lebih dominan pada indikator produktivitas dan waktu siklus, sementara storage menekankan aspek utilisasi ruang dan kualitas penyimpanan. Order picking berfokus pada akurasi dan produktivitas tenaga kerja, sedangkan shipping memiliki keterkaitan kuat dengan biaya, ketepatan waktu, dan keandalan pengiriman material ke area produksi. *Tabel 3* menyajikan ringkasan struktur KPI yang digunakan dalam pengukuran kinerja gudang.



**Tabel 3. Struktur KPI Gudang Berdasarkan Proses Frazelle**

| Proses Gudang | Dimensi Kinerja           | Indikator Utama                                  |
|---------------|---------------------------|--|
| Receiving     | Productivity, Quality     | Waktu bongkar muat, tingkat kesalahan penerimaan |
| Put-away      | Utilization, Productivity | Utilisasi alat angkut, waktu penempatan          |
| Storage       | Utilization, Quality      | Utilisasi ruang, tingkat kerusakan material      |
| Order Picking | Productivity, Quality     | Akurasi pengambilan, waktu picking               |
| Shipping      | Financial, Productivity   | Biaya pengiriman, ketepatan waktu                |

Struktur KPI ini menjadi dasar untuk tahapan pembobotan dan perhitungan skor kinerja pada tahap selanjutnya.

#### Hasil Pembobotan KPI Menggunakan Best-Worst Method

Setelah KPI ditetapkan, pembobotan indikator dilakukan menggunakan Best-Worst Method (BWM). Proses ini melibatkan penentuan indikator yang dianggap paling penting (best) dan paling tidak penting (worst) dalam konteks kinerja gudang bahan baku industri semen. Selanjutnya, dilakukan perbandingan preferensi untuk memperoleh bobot optimal yang mencerminkan tingkat kepentingan relatif antar indikator.

Hasil pembobotan menunjukkan adanya variasi bobot yang signifikan antar KPI. Indikator yang berkaitan langsung dengan kelancaran aliran material dan biaya operasional memperoleh bobot yang lebih tinggi dibandingkan indikator pendukung lainnya. Temuan ini menunjukkan bahwa dalam konteks gudang bahan baku, efisiensi operasional dan keandalan proses menjadi prioritas utama manajemen. **Tabel 4** menyajikan contoh hasil bobot KPI berdasarkan BWM.

**Tabel 4. Bobot KPI Gudang Berdasarkan Best-Worst Method**

| KPI                     | Proses        | Bobot |
|-------------------------|---------------|-------|
| Waktu bongkar muat      | Receiving     | 0,18  |
| Utilisasi alat handling | Put-away      | 0,15  |
| Utilisasi ruang         | Storage       | 0,12  |
| Akurasi picking         | Order Picking | 0,2   |
| Biaya pengiriman        | Shipping      | 0,35  |

Bobot tertinggi diperoleh oleh indikator biaya pengiriman pada proses shipping, yang menunjukkan besarnya pengaruh proses ini terhadap kinerja gudang secara keseluruhan. Sebaliknya, indikator dengan bobot lebih rendah menunjukkan peran yang relatif lebih kecil dalam menentukan kinerja agregat, meskipun tetap penting dalam menjaga stabilitas operasional.

Untuk memastikan validitas hierarki prioritas, dilakukan penghitungan **rasio konsistensi** yang dinyatakan dengan parameter  $\xi$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai rata-rata konsistensi yang diperoleh adalah  $\xi = 0,04$ , yang mendekati nol. Nilai ini menunjukkan bahwa penilaian preferensi yang diberikan oleh para pakar memiliki tingkat konsistensi logis yang tinggi. Dengan demikian, bobot kriteria yang dihasilkan dapat dianggap andal secara ilmiah dan layak digunakan sebagai dasar pembobotan, serta mampu meminimalkan potensi bias subjektivitas dalam proses pengambilan keputusan.

#### Hasil Pengukuran dan Normalisasi Kinerja KPI

Nilai aktual kinerja setiap KPI dihitung berdasarkan data operasional gudang. Karena indikator memiliki satuan dan skala yang berbeda, dilakukan normalisasi menggunakan metode S-Norm untuk

menyamakan skala pengukuran. Proses normalisasi menghasilkan nilai kinerja dalam rentang 0-1, sehingga memungkinkan agregasi skor antar indikator dan antar proses.

Hasil normalisasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kinerja yang cukup mencolok antar KPI. Beberapa indikator menunjukkan kinerja yang mendekati nilai maksimum, sementara indikator lain berada pada tingkat yang relatif rendah. Variasi ini mencerminkan adanya ketidakseimbangan kinerja antar proses gudang. **Tabel 5** menyajikan ringkasan nilai normalisasi dan skor tertimbang KPI.

Tabel 5. Nilai Normalisasi dan Skor Tertimbang KPI

| KPI                     | Nilai Normalisasi | Bobot | Skor Tertimbang |
|-------------------------|-------------------|-------|-----------------|
| Waktu bongkar muat      | 0,78              | 0,18  | 0,14            |
| Utilisasi alat handling | 0,7               | 0,15  | 0,11            |
| Utilisasi ruang         | 0,82              | 0,12  | 0,1             |
| Akurasi picking         | 0,88              | 0,2   | 0,18            |
| Biaya pengiriman        | 0,55              | 0,35  | 0,19            |

Meskipun biaya pengiriman memiliki nilai normalisasi yang relatif rendah, bobotnya yang tinggi menyebabkan kontribusinya terhadap skor total menjadi signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa proses shipping memiliki potensi risiko terbesar terhadap kinerja gudang secara keseluruhan.

### Skor Kinerja Proses Gudang

Skor kinerja proses gudang dihitung dengan menjumlahkan skor tertimbang seluruh indikator kinerja utama (KPI). Secara matematis, skor kinerja total dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Skor Kinerja} = \sum_{i=1}^n w_i \times s_i$$

dengan  $w_i$  menyatakan bobot KPI ke- $i$  dan  $s_i$  menyatakan skor kinerja KPI ke- $i$ .

Untuk memberikan interpretasi manajerial yang jelas, skor kinerja total diklasifikasikan ke dalam tiga kategori menggunakan pendekatan Traffic Light System, yaitu:

- Kategori Hijau (Baik)

$$\text{Skor Kinerja} > 0,80$$

menunjukkan bahwa proses gudang berjalan optimal dan efisien.

- Kategori Kuning (Sedang)

$$0,60 \leq \text{Skor Kinerja} \leq 0,80$$

menunjukkan bahwa proses berjalan cukup baik, namun terdapat indikasi inefisiensi minor.

- Kategori Merah (Buruk)

$$\text{Skor Kinerja} < 0,60$$

menunjukkan bahwa proses berada pada kondisi kritis dan memerlukan intervensi perbaikan segera. Hasil agregasi kinerja gudang berdasarkan klasifikasi tersebut disajikan pada Tabel 6.

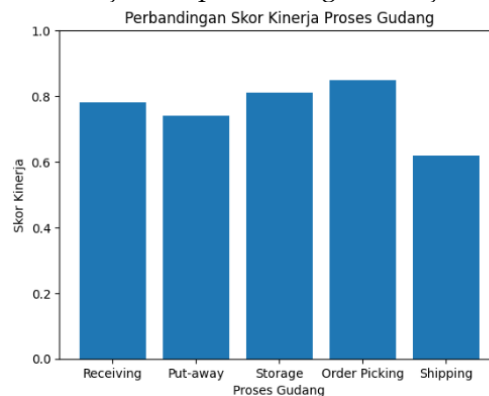
Tabel 6. Skor Kinerja Proses Gudang

| Proses Gudang | Skor Kinerja |
|---------------|--------------|
| Receiving     | 0,78         |
| Put-away      | 0,74         |
| Storage       | 0,81         |
| Order Picking | 0,85         |
| Shipping      | 0,62         |

Berdasarkan hasil tersebut, proses order picking memiliki skor kinerja tertinggi, diikuti oleh storage dan receiving. Proses shipping menunjukkan skor terendah, yang mengindikasikan adanya permasalahan signifikan pada aktivitas pengiriman bahan baku.

### Visualisasi Perbandingan Kinerja Antar Proses

Untuk mempermudah interpretasi hasil, skor kinerja proses gudang divisualisasikan dalam bentuk grafik batang. Grafik ini menunjukkan perbandingan kinerja antar proses secara jelas dan intuitif.



**Gambar 2.** Grafik Perbandingan Skor Kinerja Proses Gudang

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, terdapat variasi tingkat kinerja yang cukup jelas antar proses gudang. Proses *Order Picking* mencatat kinerja tertinggi (0,85 – Kategori Hijau). Tingginya skor ini mengindikasikan bahwa prosedur pengambilan material sudah cukup matang, kemungkinan didukung oleh pola pengambilan yang repetitif dan keandalan operator yang tinggi.

Sebaliknya, proses *Shipping* terpuruk di posisi terendah dengan skor 0,62. Meskipun secara teknis masih masuk dalam batas bawah 'Kategori Sedang' (Kuning), nilai ini berada sangat dekat dengan ambang batas kritis (Merah). Rendahnya skor ini mencerminkan tingginya friksi operasional di lini pengiriman, seperti antrean truk yang tidak terkelola atau tingginya variabilitas waktu muat (*loading time*). Mengingat *shipping* memiliki bobot kepentingan tertinggi (0,35) dalam struktur BWM, skor rendah ini menjadi alarm bagi manajemen bahwa area ini adalah *bottleneck* utama yang menahan performa gudang secara keseluruhan.

Sementara itu, proses *Receiving* (0,78) dan *Put-away* (0,74) berada pada zona aman namun stagnan, yang menunjukkan bahwa aktivitas penerimaan dan penempatan barang berjalan rutin tanpa kendala berarti, namun belum mencapai efisiensi maksimal.

## PEMBAHASAN

### Interpretasi Kinerja Proses Shipping

Hasil pengukuran kinerja menunjukkan bahwa proses shipping memiliki skor terendah dibandingkan proses gudang lainnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa aktivitas pengiriman bahan baku merupakan titik lemah utama dalam sistem pergudangan yang diteliti. Secara teoretis, kondisi ini memvalidasi relevansi *Theory of Constraints* (TOC) dalam operasional gudang, di mana proses *shipping* bertindak sebagai kendala utama (*constraint*) yang membatasi *throughput* keseluruhan sistem. Berbeda dengan proses *put-away* atau *storage* yang bersifat *internal-driven*, proses *shipping* memiliki karakteristik *external-dependent* yang tinggi karena sangat dipengaruhi oleh variabilitas kedatangan truk eksternal dan jadwal produksi.

Dalam perspektif Frazelle Model, fenomena ini menegaskan bahwa proses yang bersentuhan langsung dengan pelanggan (dalam hal ini, lini produksi sebagai pelanggan internal) memiliki eksposur risiko kegagalan terbesar. Rendahnya skor *shipping* (0,62) di tengah bobot prioritasnya yang tinggi (0,35)

menciptakan kesenjangan performansi (*performance gap*) yang berbahaya bagi stabilitas rantai pasok semen.

Skor shipping yang rendah tidak semata-mata menunjukkan kegagalan operasional, tetapi lebih mencerminkan adanya akumulasi inefisiensi kecil yang berdampak besar ketika digabungkan. Karena indikator shipping memiliki bobot tertinggi dalam sistem pembobotan BWM, setiap penurunan kinerja pada proses ini akan berkontribusi signifikan terhadap penurunan skor kinerja gudang secara keseluruhan. Dengan demikian, shipping berperan sebagai proses kritis yang menentukan efektivitas sistem pergudangan bahan baku.

### Analisis Penyebab Rendahnya Kinerja Shipping

Untuk memperdalam diagnosis, analisis faktor penyebab ditinjau menggunakan pendekatan **Lean Warehousing** guna mengidentifikasi jenis pemborosan (*waste*) yang terjadi:

#### 1. Aspek Metode Kerja & *Standardized Work*

Ketiadaan prosedur standar (SOP) yang baku pada aktivitas *shipping* mengindikasikan kegagalan penerapan prinsip *Standardized Work*. Hal ini memicu variabilitas (*Mura*) yang tinggi dalam waktu pelayanan, sehingga output proses menjadi tidak terprediksi.

#### 2. Aspek Peralatan & *Muda of Waiting*

Keterbatasan alat angkut menciptakan *Muda of Waiting* (pemborosan waktu tunggu). Operator dan truk sering kali harus menganggur (*idle*) menunggu ketersediaan *forklift*, yang secara langsung menurunkan produktivitas tenaga kerja.

#### 3. Aspek Tata Letak & *Muda of Motion*

Tata letak area *shipping* yang belum optimal menyebabkan terjadinya *Muda of Motion* dan *Transportation*. Pergerakan material yang tidak *streamline* menambah jarak tempuh dan aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non-value added activities*), yang menurut Frazelle (2002) adalah penyumbang terbesar inefisiensi waktu siklus gudang.

**Analisis ini menunjukkan bahwa inefisiensi *shipping* bukan sekadar masalah kekurangan sumber daya, melainkan akibat kegagalan sistemik dalam meminimalkan pemborosan (*waste*) pada titik interaksi kritis.** Faktor-faktor tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam lima aspek utama, yaitu sumber daya manusia, metode kerja, peralatan, material, dan lingkungan kerja. **Tabel 7** merangkum faktor penyebab utama rendahnya kinerja shipping.

Tabel 7. Faktor Penyebab Rendahnya Kinerja Proses Shipping

| Aspek               | Indikasi Permasalahan                                    |
|---------------------|--|
| Sumber daya manusia | Jumlah tenaga kerja terbatas, beban kerja tidak seimbang |
| Metode kerja        | Alur kerja pengiriman belum terstandar                   |
| Peralatan           | Ketersediaan alat angkut terbatas                        |
| Material            | Variasi jenis dan ukuran material                        |
| Lingkungan kerja    | Tata letak area shipping kurang optimal                  |

Dari aspek sumber daya manusia, keterbatasan jumlah tenaga kerja pada jam sibuk menyebabkan terjadinya antrean pengiriman dan peningkatan waktu tunggu. Beban kerja yang tidak merata juga berdampak pada produktivitas dan potensi kesalahan operasional. Pada aspek metode kerja, belum adanya standar prosedur operasional yang terstruktur untuk aktivitas shipping menyebabkan variasi cara kerja antar operator, sehingga menurunkan konsistensi dan keandalan proses.

Permasalahan peralatan menjadi faktor penting lainnya. Ketersediaan alat angkut yang terbatas menghambat kelancaran pengiriman material, terutama ketika beberapa aktivitas pengiriman berlangsung secara bersamaan. Kondisi ini diperparah oleh variasi karakteristik material bahan baku semen yang memiliki ukuran dan berat berbeda, sehingga memerlukan penanganan khusus dan memperpanjang waktu proses. Selain itu, tata letak area shipping yang belum sepenuhnya mendukung alur material satu arah meningkatkan jarak tempuh dan menambah aktivitas *non-value added*.

Analisis ini menunjukkan bahwa rendahnya kinerja shipping bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh kombinasi faktor operasional yang saling terkait. Temuan ini memperkuat pentingnya pendekatan pengukuran kinerja berbasis proses seperti Frazelle Model, karena memungkinkan identifikasi titik masalah secara lebih terfokus.

### Keterkaitan Hasil dengan Literatur

Temuan penelitian ini memperluas diskursus pengukuran kinerja gudang yang selama ini didominasi oleh efisiensi penyimpanan (*storage utilization*). Hasil studi ini memberikan bukti empiris baru bahwa dalam konteks industri semen (material curah), titik kritis kinerja bergeser dari aktivitas penyimpanan ke aktivitas *outbound (shipping)*. Hal ini berbeda dengan temuan pada gudang ritel yang umumnya menitikberatkan masalah pada akurasi *picking (order picking)*.

Integrasi Frazelle Model dan BWM dalam penelitian ini berhasil mengungkap "blind spot" tersebut. Jika metode konvensional tanpa pembobotan sering kali menyimpulkan kinerja gudang "baik-baik saja" berdasarkan rata-rata aritmatika, pendekatan BWM secara tajam menyoroti bahwa satu proses yang buruk (*shipping*) dapat mendegradasi kinerja sistem secara signifikan karena bobot kepentingannya yang besar. Temuan ini sejalan sekaligus memperkuat argumen *Pareto Principle* dalam manajemen operasi, di mana sebagian kecil proses (*shipping*) memberikan dampak terbesar terhadap hasil akhir.

Selain itu, hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa pengukuran kinerja gudang yang hanya berfokus pada indikator individual kurang mampu mengungkap proses kritis. Integrasi Frazelle Model dan Best-Worst Method memungkinkan penilaian kinerja yang tidak hanya komprehensif, tetapi juga sensitif terhadap indikator dengan dampak terbesar. Dengan kata lain, pendekatan ini mampu menjembatani kesenjangan antara pengukuran kinerja dan pengambilan keputusan perbaikan yang berbasis prioritas.

Berdasarkan hasil dan analisis yang dilakukan, penelitian ini memberikan beberapa implikasi manajerial yang relevan bagi pengelola gudang bahan baku industri semen. Pertama, manajemen perlu menjadikan proses shipping sebagai fokus utama program perbaikan kinerja gudang. Upaya peningkatan tidak sebaiknya dilakukan secara merata pada seluruh proses, tetapi diarahkan pada proses dengan skor terendah dan bobot tertinggi. Pendekatan ini memungkinkan penggunaan sumber daya perbaikan secara lebih efektif.

Kedua, standardisasi metode kerja shipping menjadi langkah awal yang krusial. Penyusunan dan penerapan prosedur operasi standar untuk aktivitas pengiriman dapat mengurangi variasi cara kerja, meningkatkan konsistensi proses, dan menurunkan potensi kesalahan operasional. Standardisasi ini juga mempermudah pengawasan dan evaluasi kinerja secara periodik.

Ketiga, optimalisasi alokasi sumber daya manusia dan peralatan perlu dilakukan berdasarkan pola beban kerja aktual. Penyesuaian jumlah tenaga kerja pada jam sibuk dan penjadwalan penggunaan alat angkut yang lebih terstruktur dapat mengurangi antrean dan waktu tunggu. Dalam jangka menengah, manajemen dapat mempertimbangkan investasi peralatan tambahan atau redistribusi peralatan antar area gudang.

Keempat, perbaikan tata letak area shipping dapat memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi operasional. Penataan ulang alur material untuk meminimalkan jarak tempuh dan mengurangi aktivitas non-value added dapat meningkatkan produktivitas tanpa memerlukan investasi besar.

## PENUTUP

Penelitian ini berhasil mengukur kinerja gudang bahan baku industri semen melalui integrasi Frazelle Model dan *Best-Worst Method* (BWM). Secara empiris, hasil penelitian menunjukkan adanya disparitas kinerja yang signifikan antar proses. Proses *Order Picking* mencatat kinerja terbaik dengan skor 0,85, sedangkan proses *Shipping* teridentifikasi sebagai *bottleneck* utama dengan skor terendah (0,62). Temuan ini dikonfirmasi oleh hasil pembobotan BWM yang menempatkan indikator biaya pengiriman sebagai prioritas tertinggi (bobot 0,35), menegaskan bahwa inefisiensi pada aktivitas pengiriman memiliki dampak degradasi terbesar terhadap performansi gudang secara keseluruhan.

Temuan ini memberikan implikasi praktis bagi manajemen perusahaan untuk melakukan reorientasi strategi perbaikan. Fokus perbaikan tidak lagi dilakukan secara parsial atau merata, melainkan dipusatkan pada area *Shipping*. Langkah konkret yang direkomendasikan meliputi: (1) Standardisasi prosedur muat barang (*Standardized Work*) untuk mengurangi variasi waktu layanan, (2) Optimalisasi penjadwalan alat angkut (*resource scheduling*) guna meminimalkan waktu tunggu, dan (3) Penataan ulang tata letak area pengiriman untuk mengeliminasi pemborosan gerak (*motion waste*).

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diakui sebagai transparansi akademik. Pertama, pengambilan data masih bersifat *cross-sectional* dalam satu periode tahunan, sehingga belum menangkap tren perubahan kinerja jangka panjang. Kedua, data operasional sebagian besar diperoleh secara manual, yang memiliki risiko *human error*. Ketiga, objek penelitian terbatas pada satu gudang bahan baku spesifik.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pengukuran dilakukan secara longitudinal untuk melihat tren stabilitas kinerja. Pengembangan model juga dapat dilakukan dengan mengintegrasikan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk akuisisi data waktu nyata (*real-time*), serta membandingkan akurasi metode BWM dengan metode pembobotan baru lainnya seperti FUCOM (*Full Consistency Method*) atau SWARA untuk memperkaya khazanah metodologis.

## REFERENSI

- Al-fajri, W. B. (2023). *Sistem Pendukung Keputusan Kelompok Menggunakan Metode Best Worst Method, TOPSIS dan Copeland Score*. Universitas Diponegoro.
- Ben-Mahmud, Y. S. (1987). *The Effect of Warehouse Layout on Order-Picking Efficiency*. Oregon State University.
- Cahyaningtyaas, R. W. (2020). *Analisis Pengukuran Kinerja Aktivitas Gudang Penyangga dengan Metode Balanced Scorecard*. Universitas Islam Indonesia.
- Frazelle, E. H. (2002a). *Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management*. McGraw-Hill.
- Frazelle, E. H. (2002b). *Supply Chain Strategy* (1st ed.). McGraw-Hill.
- Gonardi, J., & Sutapa, N. (2019). Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Menggunakan Balanced Scorecard pada Departemen Ekspedisi, Gudang Barang Jadi, HRD & GA, Produksi, QA & QC dan Timbangan di PT X. *Jurnal Titra*, 225–232.
- Gupta, H., & Barua, M. K. (2017). Supplier selection among SMEs on the basis of their green innovation ability using BWM and fuzzy TOPSIS. *Journal of Cleaner Production*, 242–258.
- Hadiguna, R., & Setiawan, H. (2008). *Tata Letak Pabrik*. Andi.
- Heizer, J., & Render, B. (2011). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain*. Pearson.
- Helmiawan, G., Solikah, M., & Zaman, B. (2022). Balanced Scorecard pada Kinerja Perusahaan (Studi Kasus pada Perusahaan PT Murinda Iron Steel Proyek Gudang Garam Kediri). *SENMEA Seminar Nasional Manajemen, Ekonomi Dan Akuntansi*, 791–797.
- Hidayatuloh, S., Febriani, A., Samodro, G., & Indarwati, T. (2022). Improved Warehousing Performance Using the Frazelle Model in Pharmacies During a Covid-19 Pandemic. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 83–90.
- Indriyani, M., & Budiawan, W. (2017). *Analisis Penyebab Terjadi Overstock pada PT Hitachi Construction Machinery Indonesia*. 1–8.
- Kurniawan, A., & Pratiwi, D. Y. (2020). Analisis Pengukuran Kinerja Gudang Kayu di CV Karya Purabaya. *ITEKS Intuisi Teknologi Dan Seni*, 60–67.
- Kusrini, E., Novendri, F., & Helia, V. N. (2018). Determining key performance indicators for warehouse performance measurement – a case study in construction materials warehouse. *MATEC Web of Conferences*, 154, 1058. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401058>
- Paramita, K. D., Nadra, N. M., Winia, I. N., Mudana, I. G., & Anggraheni, R. R. R. (2023). Selecting Green Supplier for Perishable Raw Materials using AHP Method at Nunia Boutique Villa Seminyak. *International Journal of Glocal Tourism*, 4(1). <https://doi.org/10.58982/injogt.v4i1.326>
- Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega*, 53, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.11.009>

- Setyawan, R. Z., & Arvianto, A. (2024). EVALUASI PEMILIHAN SUPPLIER KEMASAN BOTOL REGULAR MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) (STUDI KASUS: PT. XYZ). *Industrial Engineering Online Journal*, 13(1).
- Sriwana, I. K., S, N. H., Suwandi, A., & Rasjidin, R. (2021). Pengukuran Kinerja Rantai Pasok Menggunakan Supply Chain Operations Reference (SCOR) di UD Ananda. *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 14–24.
- Staudt, F. H., Alpan, G., Di Mascolo, M., & Rodriguez, C. M. T. (2015). Warehouse performance measurement: a literature review. *International Journal of Production Research*, 53(18), 5524–5544. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030466>
- Sulistyaningsih. (2021). Kebijakan Sistem Resi Gudang dalam Peningkatan Pengembangan Agribisnis: Tujuan Secara Konsep, Maksud, Tujuan, Fungsi dan Manfaatnya. *Cermin: Jurnal Penelitian*, 373–383.
- Tartiani, Y. T., Sumarwan, U., & Sahara. (2019). Perancangan Pengukuran Kinerja di PT Sayuran Siap Saji dengan Pendekatan Balanced Scorecard. *Manajemen IKM*, 35–43.
- Utomo, D., & Kusumawardhani, D. (2022). Manajemen Pergudangan yang Efektif dan Efisien untuk Meningkatkan Efisiensi Operasional Perusahaan. *Jurnal Manajemen Dan Bisnis*.
- Warella, S. Y., Hasibuan, A., Yudha Sisca, H. S., Mardia, Kuswandi, S., Yanti, M. T., & Prasetio, A. (2021). *Manajemen Rantai Pasok*. Yayasan Kita Menulis.
- Warman, J. (1993). *Manajemen Pergudangan*. Pustaka Sinar Harapan.
- Widyanto, K. A., Widharto, Y., & Sari, D. P. (2018). Analisis Beban Kerja Karyawan Forklift Bagian Distribusi pada Finished Goods Warehouse dengan Menggunakan Metode Work Load Analysis dan Work Force Analysis di PT X. 1–5.
- Wulandari, R., Ridwan, A. Y., & Muttaqin, S. (2023). Halal Supply Chain Performance Measurement Model in Food Industry Using SCOR Model, AHP Method and OMAX. In A. null, H. S., & I. M. (Eds.), *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 187–197). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3629-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3629-6_20)
- Yanuar Saksono, D. S. (2022). *Manajemen Sumber Daya Manusia (Tinjauan Konsep Dasar)*. Eureka Media Aksara.
- Zhu, T.-L., Li, Y.-J., Wu, C.-J., Yue, H., & Zhao, Y.-Q. (2022). Research on the Design of Surgical Auxiliary Equipment Based on AHP, QFD, and PUGH Decision Matrix. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/4327390>