

**PENGUKURAN KINERJA *GREEN WAREHOUSE* DI INDUSTRI
MANUFAKTUR *METAL CASTING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1

Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Nama : Muhammad Dzikri Firmanda
No. Mahasiswa 22522134

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 03 - 06 - 2026



Muhammad Dzikri Firmanda
22522134

SURAT BUKTI KEASLIAN



PT. ATMAJA JAYA
CASTING IRON, FCD, STAINLESS, STEEL & MACHINERY INDUSTRY



SURAT KETERANGAN

Dengan ini PT. ATMAJA JAYA menyatakan bahwa

Nama : Muhammad Dzikri Firmanda
NIM : 22522134
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Indonesia
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Industri
Waktu Penelitian : 16 April 2026 – 22 Mei 2026
Judul Tugas Akhir : PENGUKURAN KINERJA *GREEN WAREHOUSE* DI INDUSTRI
MANUFAKTUR *METAL CASTING*.

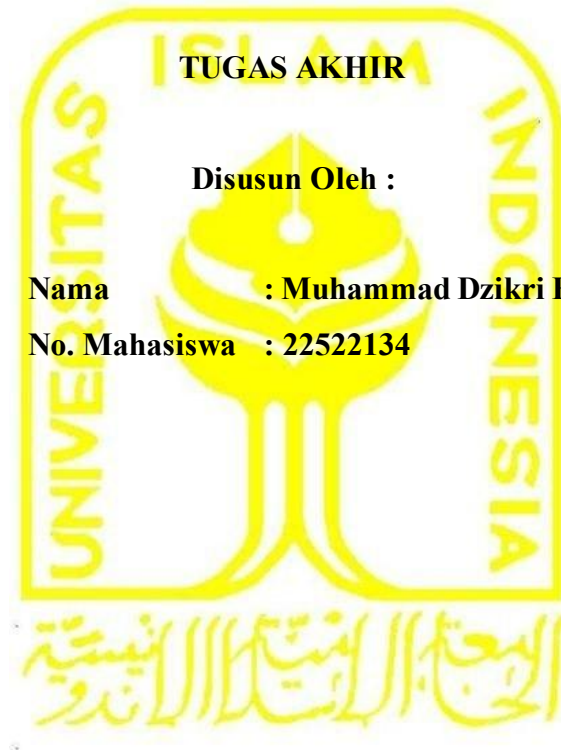
Yang bersangkutan di atas telah selesai melakukan penelitian dalam keperluan penyusunan tugas akhir di PT. ATMAJA JAYA. Demikian surat keterangan ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Klaten, 25 Mei 2026



Purwanto Atmojo
Direktur utama

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PENGUKURAN KINERJA *GREEN WAREHOUSE* DI INDUSTRI
MANUFAKTUR *METAL CASTING*



Yogyakarta, 4 Juni 2026

Dosen Pembimbing



Dr. Qurtubi, S.T., M.T.

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PENGUKURAN KINERJA *GREEN WAREHOUSE* DI INDUSTRI MANUFAKTUR
METAL CASTING

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Dzikri Firmanda

No. Mahasiswa : 22522134

**Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
 memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 9 Juni 2026

Tim Penguji

Dr. Qurtubi, S.T., M.T.

Ketua

Ir. Ali Parkhan, M.T.

Anggota I

Dr. Ir. Yuli Agusti Rochman, S.T., M.Eng.,
 IPU.

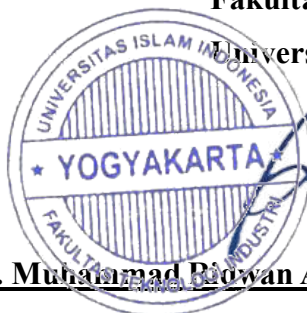
Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammad Birowan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

NIK 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah hirabbil' alamin atas tugas akhir yang dilakukan dengan kesungguhan dan ikhlas. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri dan keluarga tercinta yang senantiasa mendukung baik secara moril maupun materil. Terima kasih kepada teman-teman seperjuangan, seluruh dosen Teknik Industri Universitas Islam Indonesia, khususnya Bapak Dr. Qurtubi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas ilmu dan bimbingan yang diberikan, serta PT Atmaja Jaya yang telah membuka pintu untuk pengambilan data penelitian ini.

MOTTO

“Tidak apa berada di dalam zona nyaman, asal merasa aman”

“Yesterday is history, tomorrow is a mystery, but today is a gift.

That is why it is called the present”

(Master Oogway from Kungfu Panda)

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah: 6-7)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir berjudul “Pengukuran Kinerja *Green Warehouse* Di Industri Manufaktur *Metal Casting*”. Dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini, penulis mendapat banyak dukungan, semangat serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Kepala Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Qurtubi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberi dukungan, waktu, ilmu yang berharga serta kemudahan dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Kustiono selaku kepala gudang PT. Atmaja Jaya yang sudah memberikan izin, kesempatan, dan bantuan dalam proses penelitian.
4. Orang tua penulis, Bapak Muhammad Firdaus dan Ibu Irma Handayani yang telah memberikan dukungan penuh berupa doa, semangat, motivasi hingga fasilitas kepada penulis hingga saat ini.
5. Soka Arum Damarhati, selaku rekan terdekat penulis yang menemani, kebersamai, dan selalu memberikan dorongan serta motivasi dalam menghadapi proses kuliah semenjak awal hingga saat ini.
6. Sahabat penulis yang tidak bisa disebutkan satu per satu, senantiasa menemani penulis berproses dan berkembang bersama semenjak awal kuliah.

Semoga Allah SWT memberikan senantiasa kesehatan, limpahan rahmat, karunia dan kelapangan hati atas segala kebaikan yang mereka berikan kepada penulis dan semoga menjadi amal jariyah. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan tidak luput dari kesalahan, untuk itu penulis memohon kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi penulisan yang lebih baik di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 03 – 05 – 2026



Muhammad Dzikri Firmanda

22522134

ABSTRAK

Perkembangan industri manufaktur modern mendorong perusahaan untuk mengintegrasikan aspek keberlanjutan (sustainability) ke dalam sistem operasional, termasuk sistem pergudangan. PT Atmaja Jaya, perusahaan metal casting yang berlokasi di Ceper, Klaten, menghadapi tantangan dalam mengevaluasi kinerja gudang produk jadinya secara terstruktur, khususnya pada dimensi efisiensi energi, pengendalian biaya, dan minimalisasi emisi gas rumah kaca (GHG) yang merupakan inti dari konsep green warehouse. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi kinerja green warehouse pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya, menentukan bobot prioritas KPI menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP), serta mengukur nilai total kinerja berdasarkan integrasi model Performance of Activity (POA) dan normalisasi Snorm De Boer. Data primer diperoleh melalui observasi, wawancara, dan kuesioner yang diisi oleh pakar perusahaan, sedangkan data sekunder berupa data historis perusahaan selama periode Januari 2025 hingga Juni 2025. Melalui proses validasi pakar, ditetapkan 17 KPI yang mencakup tujuh dimensi POA yaitu Cost, Time, Capacity, Capability, Productivity, Utility, dan Outcome. Hasil pembobotan AHP menunjukkan dimensi Outcome memiliki bobot tertinggi sebesar 0,430, diikuti Capability sebesar 0,212 dan Productivity sebesar 0,095, mencerminkan bahwa pakar perusahaan menempatkan hasil akhir pengiriman dan keandalan operasional sebagai dimensi paling kritis dalam kinerja gudang. Berdasarkan perhitungan nilai kinerja total yang diperoleh dari perkalian skor normalisasi Snorm De Boer dengan bobot global AHP, PT Atmaja Jaya memperoleh nilai sebesar 81,685 yang masuk dalam kategori Good Performance. KPI yang menjadi prioritas perbaikan adalah T3 (Waktu proses QC masuk) dengan skor 50, OC3 (Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman) dengan skor 67, dan OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim) dengan skor 71.

Kata Kunci : *Penilaian Kinerja, Green Warehouse, Metal Casting.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
SURAT BUKTI KEASLIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Literatur.....	6
2.2 Landasan Teori	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Subjek Penelitian	20
3.2. Objek Penelitian.....	20
3.3. Metode Pengumpulan Data.....	20
3.4. Alur Penelitian	21
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	25
4.1 Pengumpulan Data.....	25
4.2 Pengolahan Data	27
BAB V PEMBAHASAN	51
5.1 Identifikasi dan Analisis KPI.....	51
5.2 Analisis Pembobotan AHP dan Tingkat Kepentingan KPI	52
5.3 Analisis Normalisasi Snorm De Boer.....	54
5.4 Analisis Nilai Kinerja Total	60
5.5 Analisis KPI Prioritas dan Rekomendasi	60
BAB VI PENUTUP	65
6.1 Kesimpulan	65
6.2 Saran	66
LAMPIRAN	A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	11
Tabel 2. 2 <i>Random Consistency Index</i> (RI)	16
Tabel 2. 3 Skala Kepentingan AHP	17
Tabel 2. 4 Kondisi Indikator Kerja	18
Tabel 4. 1 KPI Gudang Produk Jadi PT Atmaja Jaya.....	27
Tabel 4. 2 Matriks Perbandingan Berpasangan Level 1	28
Tabel 4. 3 Hasil Pembobotan Level 1	28
Tabel 4. 4 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator <i>Cost</i>	29
Tabel 4. 5 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi <i>Cost</i>	30
Tabel 4. 6 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi <i>Cost</i>	30
Tabel 4. 7 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator <i>Time</i>	31
Tabel 4. 8 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi <i>Time</i>	31
Tabel 4. 9 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi <i>Time</i>	32
Tabel 4. 10 Hasil Pembobotan Level 2 dimensi <i>Capacity</i>	32
Tabel 4. 11 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator <i>Capability</i>	33
Tabel 4. 12 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi <i>Capability</i>	33
Tabel 4. 13 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi <i>Capability</i>	33
Tabel 4. 14 Hasil Pembobotan Level 2 dimensi <i>Productivity</i>	34
Tabel 4. 15 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator <i>Utility</i>	35
Tabel 4. 16 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi <i>Utility</i>	35
Tabel 4. 17 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi <i>Utility</i>	35
Tabel 4. 18 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator <i>Outcome</i>	36
Tabel 4. 19 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi <i>Outcome</i>	36
Tabel 4. 20 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi <i>Outcome</i>	37
Tabel 4. 21 Matriks Perbandingan Berpasangan Level 1 dan Level 2.....	38
Tabel 4. 22 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Cost</i>	41
Tabel 4. 23 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Time</i>	42
Tabel 4. 24 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Capacity</i>	43
Tabel 4. 25 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Capability</i>	43
Tabel 4. 26 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Productivity</i>	44
Tabel 4. 27 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Utility</i>	45
Tabel 4. 28 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi <i>Outcome</i>	46
Tabel 4. 29 Rekapitulasi Nilai Normalisasi <i>Snorm de Boer</i>	47
Tabel 4. 30 Perhitungan Nilai Kerja Total	48
Tabel 5. 1 Klasifikasi 3P Terhadap Indikator KPI.....	52
Tabel 5. 2 KPI Prioritas dan Rekomendasi Perbaikan	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	24
Gambar 4. 1 Alur Rantai Pasok PT Atmaja Jaya.....	25
Gambar 4. 2 Struktur Hierarki KPI Gudang Produk Jadi Perusahaan.....	27

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur modern menuntut perusahaan selalu mengikuti tren dan kompetisi yang ada, sehingga perusahaan wajib untuk selalu melakukan penyesuaian terhadap perkembangan dan kemajuan industri manufaktur di dunia. Persaingan yang muncul pada industri manufaktur saat ini cenderung mengarah pada konsep *green* yang menekankan aspek 3P atau TBL (*Triple Bottom Line*). Menurut Depken & Zeman, (2018) konsep TBL atau *People, Profit, & Planet* telah menjadi cara pandang dan prinsip pada wilayah Amerika Serikat dan menjadi standar minimal pada perusahaan jika ingin berkembang hingga saat ini. Perusahaan yang telah menyadari persaingan dan perkembangan yang selalu muncul kemudian menetapkan pengukuran kinerja dengan tujuan untuk selalu bersaing secara sehat di industri manufaktur modern (Margareta et al., 2020). Dalam konteks TBL, aspek operasional yang menyentuh ketiga pilar *People, Profit, dan Planet* secara bersamaan salah satunya adalah sistem pergudangan yang tidak hanya berperan dalam efisiensi biaya (*Profit*), tetapi juga berdampak pada konsumsi energi dan emisi yang berkaitan dengan aspek keberlanjutan lingkungan (*Planet*). Perusahaan memiliki banyak sekali faktor untuk mencapai kinerja yang optimal, salah satu faktor tersebut berada pada faktor pergudangan. Kinerja dari sebuah gudang tidak kalah penting dari faktor lainnya, hal tersebut disebutkan pada penelitian Margareta et al., (2020) yang menyatakan bahwa pergudangan memegang dua faktor kunci dalam sebuah perusahaan, yaitu titik awal dalam distribusi produk dan penyimpanan produk. Selain itu, pergudangan juga memiliki banyak aktivitas logistik yang memiliki kontribusi terhadap konsumsi energi dan potensi emisi jika tidak dikelola secara efisien. Menurut Bartolini et al., (2019) aktivitas pergudangan berkontribusi sebesar 11% dalam *greenhouse gases* atau GHG dari sektor logistik seluruh dunia.

Dalam menghadapi tekanan persaingan tersebut, dibutuhkan sebuah pendekatan manajerial yang tidak hanya berorientasi pada efisiensi operasional, tetapi juga mampu mengintegrasikan aspek keberlanjutan (*sustainability*) ke dalam sistem pergudangan secara terstruktur. Menurut Iskandar & Sudiar, (2022), *green warehouse* merupakan konsep manajerial yang mengatur, mengintegrasikan, dan mengimplementasikan strategi pengelolaan energi serta pengendalian emisi *greenhouse gases* (GHG) dalam sistem pergudangan dengan tujuan meminimalisir konsumsi energi dan biaya energi sebagai bagian dari keberlanjutan perusahaan. Implementasi

konsep *green warehouse* berdasarkan pengertian tersebut tidak hanya berdampak pada efisiensi operasional jangka pendek, tetapi juga berpengaruh terhadap masa depan perusahaan karena dapat membentuk strategi jangka panjang guna mencapai keberlanjutan (*sustainability*) perusahaan. Selama 10 tahun terakhir, telah menjadi tren dalam industri manufaktur di seluruh dunia untuk mengubah arah gerak perusahaan menuju keberlanjutan (Torabizadeh et al., 2020). Lebih lanjut, tekanan yang dirasakan oleh perusahaan tidak hanya berasal dari faktor efisiensi biaya dan produk, tetapi juga dari tuntutan pengelolaan energi dan emisi yang semakin ketat. Oleh karena itu, penerapan konsep *green warehouse* sebagai pendekatan manajerial yang mengintegrasikan efisiensi energi dan pengendalian GHG ke dalam sistem pergudangan merupakan keputusan strategis internal perusahaan dalam mewujudkan keberlanjutan (*sustainability*) operasional jangka panjang.

Tantangan yang dihadapi industri manufaktur modern saat ini adalah menyeimbangkan kapasitas produksi dengan pengelolaan energi secara optimal tanpa mengorbankan keberlanjutan operasional (Mashud et al., 2022). Dari sisi manajerial, implementasi *green warehouse* mencakup tiga pilar utama pengelolaan yang terukur, yaitu pengurangan konsumsi energi, pengendalian biaya energi, serta penekanan emisi GHG sebagai strategi menuju keberlanjutan (*sustainability*) sistem pergudangan (Muttaqin et al., 2022). Urgensi pengendalian emisi GHG dalam konteks manajerial semakin dikuatkan oleh data dari Badan Pusat Statistik Indonesia melalui publikasinya "Neraca Arus Energi dan Neraca Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia 2018–2022", yang menyebutkan bahwa dalam kurun waktu tersebut rata-rata 86,90% emisi GHG nasional bersumber dari sektor industri dan lapangan usaha produktif. Data ini menegaskan bahwa operasional industri termasuk aktivitas pergudangan memiliki kontribusi signifikan terhadap emisi GHG nasional, sehingga pengelolaannya perlu dilakukan secara terstruktur melalui pendekatan manajerial *green warehouse* yang terukur. Dengan demikian, pengukuran kinerja *green warehouse* yang berfokus pada dimensi konsumsi energi, biaya energi, dan emisi GHG menjadi langkah strategis yang relevan bagi perusahaan manufaktur dalam menjawab tantangan keberlanjutan tersebut.

Guna menjawab tantangan tersebut, dibutuhkan model pengukuran kinerja yang mampu menangkap seluruh dimensi operasional pergudangan secara komprehensif, termasuk dimensi yang berkaitan langsung dengan efisiensi energi dan biaya. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rizky Anggraini et al., (2024), model *Performance of Activity* (POA) mampu mengukur kinerja aktivitas pergudangan dalam proses rantai pasok melalui tujuh dimensi, yaitu *cost*

(biaya), *time* (waktu), *capacity* (kapasitas), *capability* (kemampuan), *productivity* (produktivitas), *utility* (utilisasi), dan *outcome* (hasil). Model POA dipilih karena tidak hanya mampu menilai aspek operasional konvensional, tetapi juga mampu untuk menangkap indikator efisiensi energi dan dampak lingkungan. Selanjutnya, karena setiap indikator memiliki tingkat kepentingan yang berbeda, metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan untuk memberikan pembobotan yang objektif berdasarkan penilaian pakar. Seluruh nilai indikator yang berhasil disusun kembali akan dinormalisasi menggunakan skala Snorm De Boer guna menyamakan satuan ukur yang beragam, sehingga diperoleh skor akhir kinerja *green warehouse* yang akurat dan mudah diinterpretasikan oleh manajemen PT Atmaja Jaya.

PT Atmaja Jaya merupakan pabrik pengecoran logam dan pemesinan yang didirikan pada tahun 1979 oleh H. Purwanto Atmojo di sentra Industri Pengecoran Logam Ceper untuk menghasilkan produk komponen-komponen mesin bermutu tinggi. Berdasarkan hasil diskusi dengan penanggung jawab gudang produk jadi, teridentifikasi beberapa kendala operasional yang berpotensi menghambat kinerja gudang secara optimal, yaitu belum tersedianya prosedur inspeksi kualitas (QC) yang terstandarisasi antar operator baik untuk produk masuk maupun verifikasi sebelum pengiriman, sistem administrasi dokumen pengiriman yang masih dikelola secara manual dan belum terintegrasi dengan pencatatan stok, belum adanya pemantauan terstruktur terhadap kondisi kerja dan kehadiran tenaga kerja gudang, serta koordinasi penjadwalan pengiriman dengan tim penjualan yang belum sepenuhnya optimal terhadap status stok produk jadi.

Kendala-kendala tersebut berdampak langsung pada beberapa aspek operasional sekaligus ketiga pilar keberlanjutan. Ketiadaan SOP inspeksi berisiko menimbulkan *bottleneck* pada proses QC masuk dan memperpanjang waktu tunggu produk di gudang, sementara lemahnya pengendalian QC di lini hulu berpotensi memicu pengerjaan ulang yang menambah biaya sekaligus konsumsi energi (aspek *Profit* dan *Planet*). Di sisi lain, lemahnya sistem dokumentasi dan verifikasi spesifikasi produk berisiko menimbulkan ketidaksesuaian pengiriman kepada pelanggan industrial yang menuntut kelengkapan dokumen secara ketat, sementara belum optimalnya pemantauan kehadiran tenaga kerja berpotensi memicu kebutuhan lembur tambahan yang meningkatkan konsumsi energi di luar jam normal (aspek *People* dan *Planet*). Permasalahan yang saling berkaitan antardimensi ini menunjukkan bahwa kinerja gudang produk jadi PT Atmaja Jaya belum pernah diukur secara terstruktur dan terintegrasi, sehingga

menjadi urgensi utama dilakukannya pengukuran kinerja *green warehouse* berbasis data, sekaligus menjadi basis pengambilan keputusan manajerial yang lebih terukur bagi perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Melihat persaingan pada industri manufaktur di Indonesia saat ini, PT Atmaja Jaya sebagai perusahaan *metal casting* perlu melakukan evaluasi terhadap sistem pergudangan yang dimiliki agar mampu bersaing secara efisien dan berkelanjutan. Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi kinerja *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya dan bagaimana hasil identifikasi 17 *Key Performance Indicator* (KPI) yang mengacu pada tujuh dimensi model *Performance of Activity* (POA), serta bagaimana hasil klasifikasinya ke dalam tiga pilar *Triple Bottom Line* (TBL)?
2. Berapa bobot tertinggi pada level 1, level 2, dan bobot global, serta KPI mana yang menjadi prioritas perbaikan *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya, dan bagaimana hasil normalisasi nilai aktual KPI sebagai dasar perhitungan nilai kinerja?
3. Berapa nilai total kinerja *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya, KPI mana yang menjadi prioritas perbaikan, dan bagaimana rekomendasi peningkatannya?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kondisi kinerja *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya dan mengidentifikasi 17 *Key Performance Indicator* (KPI) yang mengacu pada tujuh dimensi model *Performance of Activity* (POA), serta mengklasifikasikan ke dalam tiga pilar *Triple Bottom Line* (TBL).
2. Mengetahui bobot tertinggi level 1,2, dan global, serta prioritas perbaikan KPI *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya serta mengetahui hasil normalisasi nilai aktual KPI sebagai dasar perhitungan nilai kinerja.
3. Mengetahui nilai total kinerja *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya serta merumuskan KPI prioritas perbaikan beserta rekomendasi peningkatannya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1.4.1 Bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan membantu perusahaan dalam mengevaluasi kinerja pergudangan serta memberikan dasar pertimbangan untuk peningkatan efisiensi dan penerapan konsep green warehouse secara lebih optimal.

1.4.2 Bagi Dunia Akademik

Penelitian ini diharapkan menjadi sumber referensi ilmiah yang memperkaya literatur terkait *green warehouse* khususnya pada industri *metal casting* dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian lanjutan.

1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini, agar lebih terarah dan mudah dipahami, maka diberi suatu batasan penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Penelitian hanya dilakukan pada gudang produk jadi (*finished goods warehouse*) PT Atmaja Jaya, mencakup aktivitas penyimpanan, pengemasan, dan pengiriman produk jadi ke konsumen.
2. Penentuan KPI mengacu pada tujuh dimensi model *Performance of Activity* (POA), yaitu *cost*, *time*, *capacity*, *capability*, *productivity*, *utility*, dan *outcome*, yang disesuaikan dengan kondisi aktual perusahaan.
3. Pembobotan KPI hanya menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) berdasarkan penilaian perbandingan berpasangan oleh pakar perusahaan.
4. Normalisasi nilai aktual KPI dilakukan menggunakan metode Snorm De Boer untuk menyamakan skala nilai antar indikator.
5. Data yang digunakan adalah data aktual perusahaan selama periode penelitian, dengan lingkup gudang yang berada di PT Atmaja Jaya dan tidak mencakup gudang pihak ketiga.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur dilakukan untuk mengidentifikasi penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan studi yang dilakukan oleh peneliti. Kajian literatur dalam penelitian ini berfokus pada praktik *Green Warehouse* pada gudang, berikut adalah penelitian-penelitian sebelumnya yang akan menjadi acuan bagi peneliti dalam melaksanakan penelitian ini.

Penelitian yang dilakukan oleh Rizky Anggraini et al., (2024) berfokus pada pengukuran kinerja *outbound logistics* pada industri pupuk menggunakan model *Performance of Activity* (POA) dan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Penelitian ini berhasil mengidentifikasi 12 indikator KPI berdasarkan tujuh kriteria POA yang meliputi *cost*, *time*, *capacity*, *capability*, *productivity*, *utility*, dan *outcome*. Hasil pengukuran menunjukkan total nilai kinerja *outbound logistics* sebesar 85,918 yang masuk dalam kategori baik. Penelitian ini juga memberikan rekomendasi perbaikan pada tiga indikator yang belum optimal, yaitu *lead time* persediaan, tenaga kerja bongkar muat, dan jam kerja operasional. Penelitian tersebut menegaskan bahwa model POA cocok digunakan dalam pengukuran kinerja aktivitas rantai pasok karena mampu mengukur kinerja secara multidimensi dan komprehensif. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Liu et al., (2024) dilakukan pada sebuah sistem gudang berupa sistem microgrid untuk *green warehousing*, yaitu gudang hijau yang memanfaatkan energi terbarukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi ISSA dapat menjadi solusi praktis bagi gudang hijau untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi secara signifikan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Ishizaka et al., (2022) berfokus pada perusahaan manufaktur yang berada di India terkhusus pada manajer yang bekerja pada perusahaan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan *hesitant fuzzy multi-criteria decision making* (HFMCDM) yang dikembangkan mampu memperbaiki kualitas pemeringkatan alternatif dalam kondisi ketidakpastian, terutama ketika keputusan melibatkan banyak stakeholder dengan tingkat pengetahuan yang tidak sama. Selain itu, aplikasi HFMCDM dapat diperluas ke berbagai sektor seperti logistik, green warehouse management, pemilihan teknologi, dan penilaian risiko, sehingga metode ini

dapat memberikan manfaat praktis yang lebih luas. Penelitian Iskandar & Sudiar, (2022) berfokus pada studi kasus yang dilakukan di PLN Cilegon dan menggunakan metode AHP sebagai bentuk evaluasi terhadap performa *green warehouse* di PLN Cilegon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan praktik *green warehousing* secara signifikan dapat mengurangi konsumsi energi, menekan emisi karbon, dan meningkatkan efisiensi proses logistik. Sebagai rekomendasi, penelitian menyarankan agar perusahaan mengadopsi kerangka strategis yang diusulkan dalam perencanaan dan pengembangan fasilitas gudang.

Lebih lanjut penelitian Albab et al., (2023) berfokus pada aktivitas pergudangan khususnya proses penerimaan, penyimpanan, dan pengiriman barang yang memiliki berbagai potensi risiko yang dapat mengganggu kelancaran rantai pasok perusahaan. Hasil penelitian menekankan bahwa perbaikan utama harus difokuskan pada manajemen stok secara menyeluruh, termasuk penerapan teknologi barcode atau RFID untuk meningkatkan akurasi pencatatan dan mempercepat proses stock-taking. Penelitian ini juga membuka peluang bagi penelitian lanjutan, khususnya pengembangan model menggunakan Fuzzy Logic Type-2 untuk menghasilkan keputusan yang lebih akurat dalam kondisi ketidakpastian tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Sameer et al., (2023) berfokus pada objek berupa konsep gudang hijau (*green warehouse*) yang dihubungkan dengan pemanfaatan energi alternatif melalui teknologi *piezoelectric tiles*, yaitu teknologi yang mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi energi kinetik melalui *piezoelectric tiles* memiliki potensi signifikan dalam menghasilkan listrik yang dapat digunakan untuk banyak kebutuhan lainnya. Rekomendasi yang diberikan penelitian adalah perlunya dilakukan studi kasus langsung pada gudang besar untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah penerapan *piezoelectric tiles*.

Penelitian yang dilakukan oleh Stefana et al., (2020) berfokus pada praktik manajemen energi dan lingkungan yang diterapkan pada industri *founndry* besi cor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 399 praktik manajemen yang relevan dengan peningkatan efisiensi energi dan penurunan dampak lingkungan pada *founndry* besi cor. Rekomendasi penelitian ini menegaskan bahwa manajemen praktik non-teknis merupakan alternatif yang sangat efektif dan murah, selain itu penelitian ini juga menyarankan agar studi selanjutnya melakukan analisis mendalam mengenai biaya

implementasi, manfaat kuantitatif, dan perkiraan efisiensi tiap praktik. Penelitian yang dilakukan oleh Torabizadeh et al., (2020) berfokus pada sistem manajemen gudang berkelanjutan *Sustainable Warehouse Management System* (SWMS) dengan fokus pada bagaimana indikator-indikator kinerja utama *Key Performance Indicator* (KPI) dapat diidentifikasi dan diberi bobot secara tepat untuk menilai keberlanjutan gudang secara komprehensif. Selain itu, penelitian ini kemudian merekomendasikan untuk mengembangkan KPI serupa di sektor rantai pasok lainnya dan membangun aplikasi praktis yang dapat mengotomatisasi sistem pengukuran keberlanjutan gudang.

Penelitian yang dilakukan oleh Md Mashud et al., (2021) berfokus pada sistem persediaan pada *green-warehouse farm* terkhusus pada kondisi ketika produk pertanian yang mudah rusak ketika dalam penyimpanan baik pada gudang sendiri atau gudang pihak ketiga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi teknologi hijau terbukti mampu mengurangi biaya emisi dan meningkatkan keuntungan, meskipun hanya sampai pada tingkat investasi tertentu. Penelitian ini merekomendasikan agar para pengelola gudang pertanian menerapkan teknologi hijau yang efisien untuk menekan emisi dan mengoptimalkan kebijakan replenishment agar meminimalkan pemborosan akibat deteriorasi. Penulis juga menyarankan agar penelitian selanjutnya memasukkan aspek sosial dalam kerangka *triple bottom line* (TBL), mempertimbangkan emisi yang terjadi selama penyimpanan. Selanjutnya penelitian Agyabeng-Mensah et al., (2020) berfokus pada perusahaan kecil dan menengah (SMEs) di industri manufaktur Ghana, khususnya dalam kaitannya dengan bagaimana perusahaan-perusahaan tersebut menerapkan praktek *green warehousing* sebagai bagian dari upaya keberlanjutan rantai pasok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor institusional seperti tekanan regulasi dan persaingan pasar berpengaruh signifikan terhadap penerapan *green warehousing*, sementara faktor internal seperti strategi perusahaan dan komitmen manajerial juga memainkan peran penting dalam mendorong adopsi praktik hijau di gudang. Berdasarkan temuan tersebut, peneliti merekomendasikan agar perusahaan manufaktur di Ghana meningkatkan investasi pada praktik keberlanjutan, memperkuat pelatihan karyawan terkait manajemen lingkungan, dan meningkatkan kolaborasi dengan lembaga pemerintah untuk memperluas penerapan strategi hijau.

Penelitian yang dilakukan oleh Perotti & Colicchia, (2023) berfokus pada objek penelitian berupa praktik *green warehousing* di fasilitas logistik/*warehouse*, khususnya

strategi dan langkah teknis yang dapat meningkatkan efisiensi energi sekaligus menurunkan dampak lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerangka yang dikembangkan berhasil mengidentifikasi enam area strategi hijau utama *Green Building, Utilities, Lighting, Material Handling and Automation, Materials*, serta *Operational Practices* yang di dalamnya memuat 23 langkah efisiensi energi dan solusi pengurangan dampak lingkungan. Kemudian penelitian Dobers et al., (2023) meneliti *logistics hubs* termasuk gudang, terminal, dan fasilitas *transshipment* dengan fokus pada intensitas emisi gas rumah kaca (GHG) sebagai salah satu indikator kinerja keberlanjutan yang paling penting. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi konsumsi energi dan sumber emisi berbeda signifikan antar-jenis hub pada *hub chilled* dan *frozen*, konsumsi terbesar berasal dari *refrigeration*, sedangkan pada hub *ambient* didominasi pencahayaan dan material handling.

Penelitian yang dilakukan oleh Chandra Tjoe et al., (2025) berfokus pada sebuah perusahaan *fulfillment center* yang bergerak di bidang *Third Party Logistics* (3PL). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 24 KPI yang dinilai, terdapat 18 indikator berkategori hijau, 5 indikator berwarna kuning, dan 1 indikator berwarna merah yang menandakan kinerja belum sepenuhnya mencapai target dan perlu pengawasan. Peneliti memberikan saran agar mengembangkan model KPI dengan memasukkan metode pembobotan lanjutan seperti AHP atau Fuzzy AHP agar prioritas indikator lebih akurat. Selain itu, studi mendatang perlu menguji model ini pada gudang atau industri berbeda untuk melihat apakah KPI yang dirancang dapat diterapkan secara lebih luas. Selanjutnya penelitian oleh Meliana & Hasibuan, (2025) mengkaji tentang metrik kinerja kunci untuk green warehousing dalam rantai pasok manufaktur. Penelitian ini menekankan pentingnya adopsi praktik ramah lingkungan dalam pergudangan sebagai bagian vital dari rantai pasok manufaktur. Hasil penelitian menyebutkan bahwa operasi pergudangan berkontribusi sekitar 11% terhadap total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh sektor logistik global, sehingga identifikasi KPI dapat membantu perusahaan merancang strategi pergudangan ramah lingkungan dan meningkatkan efisiensi serta keberlanjutan rantai pasok.

Endra et al., (2025) melalui penelitiannya menyebutkan bahwa optimalisasi *warehouse management system* menunjukkan hasil yang signifikan untuk mendukung konsep *green industry*. Penelitian mengidentifikasi bahwa akar masalah utama terletak

pada metode kerja yang masih manual, sehingga dikembangkan sebuah solusi aplikasi *mobile scanner* yang diintegrasikan dengan *cloud server*, aplikasi *business central*, dan *database* untuk memungkinkan konektivitas internet di seluruh gudang. Hasil implementasi menunjukkan dampak yang sangat signifikan terhadap penerapan konsep *green industry*. Dari sisi penghematan biaya, terjadi penurunan pengeluaran operasional hingga Rp 2.099.212.800 dalam satu tahun atau setara dengan penghematan 95%. Komponen biaya yang berkurang mencakup biaya listrik untuk personal computer di area logistik, penggunaan kertas, aksesoris, dan biaya maintenance bulanan. Dari sisi konsumsi energi listrik, terjadi penghematan yang sangat drastis hingga 96%, dari penggunaan 1.478.400 watt per tahun menjadi hanya 63.360 watt per tahun. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh (Hayari, 2023) menunjukkan hasil analisis minimalisasi limbah padat domestik melalui penerapan program *green warehouse* dan *office*. Penilaian terhadap sistem manajemen limbah padat dari segi operasional teknis menunjukkan bahwa PT X telah mengimplementasikan konsep *green warehouse* dan *office* melalui beberapa tahapan, yaitu pemisahan wadah berdasarkan kategori limbah, proses pengumpulan yang dilakukan secara berkala di waktu sore, perpindahan limbah yang dijadwalkan antara jam 15.00 sampai 17.00, serta pemrosesan limbah anorganik melalui program bank sampah. Penelitian ini merekomendasikan pentingnya edukasi kepada seluruh pihak terkait penggunaan wadah yang memenuhi standar, serta mendorong para karyawan dan tenaga kebersihan untuk mengurangi produksi limbah padat langsung dari sumbernya guna meminimalkan volume limbah yang harus dibuang. Terakhir penelitian yang dilakukan Syahfitria et al., (2023) mengenai peningkatan kinerja rantai pasok melalui *green warehouse*, *logistik*, dan *green supply chain management* menunjukkan hasil yang signifikan berdasarkan analisis data dari 100 responden perusahaan *freight forwarding* di Indonesia menggunakan *software Smart PLS*. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa perusahaan *freight forwarding* di Indonesia yang berkomitmen mengurangi limbah gudang, mengelola limbah dengan tepat, dan mengimplementasikan efisiensi dalam kegiatan logistik dapat meningkatkan kinerja rantai pasok secara signifikan melalui penerapan praktik *green supply chain management* yang ramah lingkungan.

Berikut merupakan ringkasan tinjauan pustaka yang diuraikan sebelumnya mencakup studi-studi terdahulu yang memuat informasi mengenai identitas peneliti,

periode pelaksanaan penelitian, pendekatan metodologi yang digunakan, subjek kajian, serta rekomendasi dan alternatif solusi spesifik yaitu sebagai berikut dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis & Tahun	Objek Penelitian	Metode yang Digunakan	Temuan Utama & Relevansi
1	(Rizky Anggraini et al., 2024)	Industri pupuk (PT XYZ) — aktivitas distribusi <i>outbound logistics</i> pada gudang Padang	POA (<i>Performance of Activity</i>), AHP (<i>Analytical Hierarchy Process</i>)	Relevan sebagai acuan penerapan model POA dan AHP dalam pengukuran kinerja pergudangan.
2	(Liu et al., 2024)	Sistem microgrid untuk green warehousing	ISSA, Optimisasi	Efisiensi energi terbarukan meningkat dan emisi berkurang signifikan.
3	(Ishizaka et al., 2022)	Perusahaan manufaktur di India	HFMCDM, Optimisasi	Metode efektif untuk pengambilan keputusan multikriteria dalam kondisi ketidakpastian.
4	(Iskandar & Sudiar, 2022)	PLN Cilegon	AHP, Fuzzy	Praktik green warehouse menekan konsumsi energi dan emisi karbon.
5	(Albab et al., 2023)	Aktivitas pergudangan	Fuzzy AHP, FMEA, ANOVA	Optimalisasi manajemen stok melalui teknologi barcode dan RFID.
6	(Sameer et al., 2023)	Green warehouse berbasis piezoelectric	AHP	Energi kinetik berpotensi menjadi sumber listrik operasional gudang.
7	Stefana et al. (2020)	Industri foundry besi cor	AHP, Fuzzy	Sangat relevan: praktik efisiensi energi pada industri metal casting.

No	Penulis & Tahun	Objek Penelitian	Metode yang Digunakan	Temuan Utama & Relevansi
8	Torabizadeh et al. (2020)	Sustainable Warehouse Management System	AHP	Kerangka identifikasi dan pembobotan KPI keberlanjutan gudang.
9	Md Mashud et al. (2021)	Green warehouse produk mudah rusak	AHP, Fuzzy, Optimisasi	Teknologi hijau menurunkan biaya emisi dan meningkatkan <i>Profit</i> .
10	Agyabeng-Mensah et al. (2020)	UKM manufaktur Ghana	AHP	Faktor regulasi dan komitmen manajemen mendorong green warehousing.
11	Perotti & Colicchia (2023)	Fasilitas logistik	Systematic Literature Review	Enam area strategi hijau dan 23 langkah efisiensi energi.
12	Dobers et al. (2023)	Logistics hubs	AHP, SCOR	Perbedaan konsumsi energi berdasarkan tipe gudang.
13	Chandra Tjoe et al. (2025)	Fulfillment center 3PL	KPI Design, SCOR, TLS	TLS efektif untuk visualisasi kinerja green warehouse.
14	Meliana & Hasibuan (2025)	Rantai pasok manufaktur	Literature Review, ERP	Gudang berkontribusi 11% emisi GHG logistik global.
15	Endra et al. (2025)	WMS PT XYZ	Mobile Scanner, Optimisasi	Digitalisasi menurunkan biaya 95% dan energi 96%.
16	Hayari (2023)	Pengelolaan limbah	Fuzzy, Program Green Warehouse	Program pemilahan limbah efektif mengurangi sampah.
17	Syahfitria et al. (2023)	Freight forwarding Indonesia	AHP, Fuzzy, Smart PLS	Green warehouse meningkatkan kinerja green supply chain.

No	Penulis & Tahun	Objek Penelitian	Metode yang Digunakan	Temuan Utama & Relevansi
18	Penelitian ini (2025)	PT Atmaja Jaya (Metal Casting)	POA dan AHP	Research gap: Belum ada penelitian pengukuran kinerja <i>green warehouse</i> pada industri <i>metal casting</i> menggunakan model POA dan AHP, khususnya di Indonesia.

2.2 Landasan Teori

2. 2. 1 *Green Warehouse*

Gudang hijau atau *green warehouse* merupakan sebuah konsep dimana telah didefinisikan sebagai konsep manajerial yang mengintegrasikan dan mengimplementasikan operasi ramah lingkungan dengan tujuan meminimalkan konsumsi energi, biaya energi, dan emisi GHG (*greenhouse gases*) dari aktivitas gudang (Bartolini et al., 2019). *Green Warehouse* sendiri memiliki fokus untuk mengurangi resiko yang disebabkan oleh *greenhouse gases* atau gas rumah kaca yang kemudian mencakup tantangan berupa efisiensi biaya dan konsumsi terkait pergudangan, hal tersebut sejalan dengan prinsip ketika menghadapi tantangan guna meningkatkan kinerja lingkungan pada fasilitas logistik (Perotti & Colicchia, 2023).

2. 2. 2 *Triple Bottom Line*

Triple Bottom Line (TBL) merupakan kerangka konseptual yang memperluas ukuran keberhasilan organisasi melampaui dimensi finansial semata dengan mengintegrasikan tiga pilar utama keberlanjutan. Ketiga pilar tersebut mencakup dimensi *People* (keadilan sosial), dimensi *Planet* (pengelolaan lingkungan), dan *Profit* (kelayakan ekonomi) yang saling berkaitan satu sama lain. Meskipun sempat dianggap gagal oleh pencetusnya sendiri, riset terkini justru menunjukkan bahwa TBL tidak kehilangan kredibilitasnya sebaliknya, konsep ini mengalami puncak penggunaannya dalam beberapa tahun terakhir sebagai respons terhadap tekanan lingkungan dan sosial yang semakin meningkat. Hal ini membuktikan bahwa TBL tetap relevan sebagai fondasi dalam

membangun model bisnis yang berorientasi keberlanjutan jangka panjang (Loviscek, 2021).

Penerapan kerangka TBL tidak hanya relevan bagi perusahaan berskala global, tetapi juga telah terbukti dapat diterapkan dalam konteks lokal seperti di Indonesia. Tjahjadi et al., (2021) menggunakan pendekatan TBL untuk mengukur kinerja keberlanjutan perusahaan (*corporate sustainability performance*) yang meliputi dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan pada perusahaan non-keuangan yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia. Nogueira et al., (2023) juga menegaskan bahwa TBL memiliki peran penting dalam mengevaluasi pembangunan ekonomi suatu negara secara lebih menyeluruh, melampaui ukuran ekonomi konvensional. Oleh karena itu, TBL dapat dijadikan sebagai alat analisis yang relevan bagi organisasi maupun pemangku kebijakan dalam menyeimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara bersamaan.

2. 2. 3 Pengukuran Kinerja

Pengukuran kinerja merupakan proses penilaian kegiatan yang dilaksanakan sesuai dengan target yang akan dicapai. pengukuran kinerja merupakan proses mencatat dan mengukur pencapaian pelaksanaan kegiatan dalam arah pencapaian misi (*mission accomplishment*) melalui hasil-hasil yang ditampilkan berupa produk, jasa ataupun suatu proses. Pengukuran kinerja yang didefinisikan sebagai “*performing measurement*” adalah kualifikasi dan efisiensi perusahaan atau segmen atau keefektifan dalam pengoperasian bisnis selama periode akuntansi (Manik et al., 2024). Menurut Pratama et al., (2024) Pengukuran kinerja memfokuskan pada perhatian tentang apa yang harus diselesaikan dan mengarahkan organisasi untuk berkonsentrasi pada waktu, sumber daya dan energi dalam mencapai sasaran. Pengukuran kinerja memberikan umpan balik pada kemajuan sasaran. Jika hasilnya berbeda dengan sasaran organisasi dapat melakukan analisis kesenjangan kinerja dan membuat penyesuaiannya.

2. 2. 4 *Performance of Activity* (POA)

Model *Performance of Activity* (POA) merupakan model pengukuran kinerja yang dirancang untuk mengukur kinerja setiap aktivitas dalam proses rantai pasok (*supply chain*) secara komprehensif. Model POA memiliki tujuh dimensi penilaian, yaitu *cost* (biaya), *time* (waktu), *capacity* (kapasitas), *capability* (kemampuan), *productivity* (produktivitas), *utilization* (utilisasi), dan *results* (hasil). Ketujuh dimensi tersebut saling terhubung dan digunakan secara bersamaan untuk memberikan gambaran menyeluruh

tentang kondisi kinerja perusahaan (Rizky et al., 2019). Penerapan model POA dimulai dengan penentuan KPI yang relevan berdasarkan ketujuh dimensi tersebut melalui diskusi dengan para ahli perusahaan. Setiap dimensi POA kemudian memiliki satu atau lebih indikator KPI yang mencerminkan kondisi aktual aktivitas operasional yang diukur. Dimensi *cost* mengukur efisiensi penggunaan biaya dalam aktivitas gudang, seperti biaya penyimpanan, biaya tenaga kerja, dan biaya transportasi. Dimensi *time* mengukur ketepatan waktu dalam proses distribusi dan penyimpanan. Dimensi *capacity* berkaitan dengan tingkat penggunaan kapasitas gudang yang tersedia. Dimensi *capability* mencerminkan kemampuan vendor maupun sistem dalam memenuhi target operasional. Dimensi *productivity* mengukur efisiensi tenaga kerja dalam menjalankan aktivitas gudang. Dimensi *utility* berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya seperti jam kerja operasional. Dimensi *outcome* mengukur hasil akhir dari keseluruhan aktivitas, termasuk ketersediaan ruang penyimpanan dan hasil pengelolaan gudang (Rizky Anggraini et al., 2024). Keunggulan model POA dibandingkan model lain terletak pada kemampuannya merepresentasikan kondisi nyata kinerja aktivitas secara multidimensi tanpa terbatas pada satu perspektif tertentu. Model ini fleksibel dalam penggunaannya karena indikator KPI yang digunakan dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi spesifik perusahaan yang diteliti (Rizky Anggraini et al., 2024).

2. 2. 5 *Analytical Hierarchy Process (AHP)*

Analytic Hierarchy Process (AHP) merupakan metode pengambilan keputusan multi-kriteria yang menguraikan masalah kompleks menjadi suatu hirarki tujuan berada di puncak, kriteria/sub-kriteria pada tingkat menengah, dan alternatif keputusan di bagian bawah. Setiap elemen pada tiap tingkat dibandingkan secara berpasangan untuk menentukan kepentingan relatifnya terhadap tingkat di atasnya (Peterseim et al., 2013). Metode AHP memiliki peran dalam pembobotan KPI perusahaan berdasarkan KPI yang telah diidentifikasi secara rinci sebelumnya, metode AHP juga membantu dalam menentukan tingkat kepentingan dari masing-masing KPI. Pembobotan AHP diperoleh dari hasil kuesioner pembobotan yang diisi oleh perusahaan. Bobot didapatkan dari perhitungan matriks bobot total dengan cara menjumlahkan bobot ternormalisasi pada setiap baris, kemudian dibagi dengan jumlah proses, atribut, atau KPI (Putri &

Pulansari, 2023). Berikut merupakan rumus AHP yang akan digunakan dalam penelitian kali ini.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$RI = \frac{1.98 - (n - 2)}{n}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- CI = *Consistency Index*, untuk mengukur seberapa jauh penyimpangan matriks perbandingan berpasangan dari kondisi konsisten ideal.
- RI = *Random Index*, nilai indeks konsistensi acak yang besarnya ditentukan berdasarkan jumlah kriteria (n) yang dibandingkan dalam matriks
- CR = *Consistency Ratio*, digunakan untuk menentukan apakah hasil pembobotan dapat diterima (konsisten) atau tidak, dengan cara membandingkan CI terhadap nilai acak RI (*Random Index*).
- λ_{max} = Nilai *eigen value* maksimum yang diperoleh dari hasil perhitungan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*).
- n = Jumlah kriteria atau elemen yang dibandingkan dalam matriks

Sedangkan nilai *Random Consistency Index* (RI) juga didasarkan pada tabel nilai rasio konsistensi yang ditunjukkan di bawah ini (Rizkya et al., 2019).

Tabel 2. 2 *Random Consistency Index* (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Dalam penelitian ini, metode AHP digunakan untuk menentukan bobot kepentingan dari setiap KPI yang telah diidentifikasi berdasarkan dimensi model POA, sehingga pembobotan yang dihasilkan mencerminkan prioritas yang logis dan konsisten sesuai dengan kondisi perusahaan. Kemudian dalam metode AHP, penilaian tingkat kepentingan antar kriteria dilakukan menggunakan skala perbandingan berpasangan. Menurut (Saaty, 2009) skala tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. 3 Skala Kepentingan AHP

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama pentingnya
2	Elemen yang satu sedikit lebih penting daripada elemen yang lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting daripada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting daripada elemen lainnya
2,4,6,8	Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan-pertimbangan yang berdekatan

2. 2. 6 Normalisasi Snorm De Boer

Normalisasi Snorm De Boer merupakan metode yang digunakan untuk menyamakan skala nilai aktual dari masing-masing indikator KPI yang memiliki satuan berbeda-beda, sehingga seluruh indikator dapat dibandingkan dan digabungkan secara adil dalam satu perhitungan nilai kinerja. Normalisasi ini mengkonversikan nilai aktual setiap indikator ke dalam skala 0 hingga 100 (Pratama et al., 2024). Normalisasi Snorm De Boer merupakan proses penyamaan parameter dari setiap indikator KPI yang memiliki satuan berbeda-beda, sehingga seluruh indikator dapat dibandingkan dan digabungkan dalam satu perhitungan nilai kinerja total (Sriwana et al., 2021). Berikut dua jenis rumus normalisasi berdasarkan sifat indikatornya menurut Sriwana et al., (2021).

a. *Higher is Better* (semakin tinggi semakin baik):

$$S_{norm} = \frac{S_i - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \times 100$$

b. *Lower is Better* (semakin rendah semakin baik):

$$S_{norm} = \frac{S_{max} - S_i}{S_{max} - S_{min}} \times 100$$

Keterangan:

- S_i = Nilai aktual KPI yang diukur
- S_{max} = Batas atas nilai KPI secara historis
- S_{min} = Batas bawah nilai KPI secara historis

Hasil perhitungan normalisasi yang telah diperoleh selanjutnya diinterpretasikan menggunakan tabel kondisi indikator kinerja untuk menentukan kategori performa dari masing-masing KPI yang diukur (Rumahorbo et al., 2021). Tabel kategorisasi tersebut membagi rentang nilai normalisasi ke dalam lima kondisi kinerja sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. 4 Kondisi Indikator Kerja

Nilai Indikator Kerja	Kondisi Indikator Kerja
0 - 40	<i>Poor Performance</i>
40 - 50	<i>Marginal Performance</i>
50 - 70	<i>Average Performance</i>
70 - 90	<i>Good Performance</i>
90 - 100	<i>Excellent Performance</i>

Berdasarkan tabel di atas, skor normalisasi yang berada pada rentang 0 hingga 40 dikategorikan sebagai *Poor Performance* yang menandakan kinerja indikator tersebut masih sangat jauh dari target yang ditetapkan. Rentang nilai 40 hingga 50 dikategorikan sebagai *Marginal Performance* yang berarti kinerja indikator masih berada di bawah ekspektasi minimal perusahaan. Rentang nilai 50 hingga 70 dikategorikan sebagai *Average Performance* yang mencerminkan kinerja pada level rata-rata dan masih membutuhkan peningkatan. Rentang nilai 70 hingga 90 dikategorikan sebagai *Good Performance* yang menunjukkan kinerja indikator sudah berjalan dengan baik dan mendekati target optimal. Sedangkan rentang nilai 90 hingga 100 dikategorikan sebagai *Excellent Performance* yang berarti kinerja indikator telah mencapai atau bahkan melampaui target terbaik yang pernah dicapai perusahaan. Hasil normalisasi kemudian dikalikan dengan bobot global masing-masing KPI dari hasil pembobotan AHP, lalu dijumlahkan untuk menghasilkan nilai total kinerja perusahaan (Sriwana et al., 2021).

2. 2. 7 Pengukuran Kinerja Total

Nilai kinerja total merupakan tahap akhir dalam proses pengukuran kinerja yang mengintegrasikan hasil pembobotan AHP dengan hasil normalisasi Snorm De Boer ke dalam satu nilai tunggal yang merepresentasikan kondisi kinerja perusahaan secara keseluruhan. Nilai ini diperoleh dengan cara mengalikan skor normalisasi Snorm De Boer setiap indikator KPI dengan bobot global (*global weight*) yang telah dihasilkan dari pembobotan AHP, kemudian seluruh hasil perkalian tersebut dijumlahkan untuk menghasilkan satu nilai kinerja total (Rizky Anggraini et al., 2024).

Perkalian antara bobot global dan skor normalisasi ini memastikan bahwa kontribusi setiap KPI terhadap nilai akhir disesuaikan dengan tingkat kepentingannya, sehingga KPI dengan bobot global tinggi akan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap nilai kinerja total dibandingkan KPI dengan bobot global rendah. Nilai kinerja total yang dihasilkan kemudian diinterpretasikan menggunakan tabel kondisi indikator kinerja sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4 untuk menentukan kategori performa perusahaan secara menyeluruh. Berikut merupakan rumus perhitungan nilai kinerja total yang digunakan dalam penelitian ini.

$$\text{Nilai Kinerja Total} = \sum_{i=1}^n (GW_i - Snorm_i)$$

Keterangan:

- GW_i = *Global Weight* atau bobot global indikator KPI ke - i , hasil perkalian bobot level 1 dan bobot level 2 pembobotan AHP.
- $Snorm_i$ = Skor normalisasi *Snorm De Boer* indikator KPI ke - i .
- n = Jumlah keseluruhan indikator KPI yang digunakan dalam penelitian.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Subjek Penelitian

Subjek penelitian dalam ketentuan ilmiah juga dapat dinamakan sebagai sumber data. Subjek penelitian merupakan sesuatu yang secara intrinsik terkait dengan masalah yang akan diteliti dan menjadi tempat di mana data dapat diperoleh dalam konteks penelitian. Dengan demikian, subjek penelitian menjadi fokus utama dalam mengumpulkan data penelitian (Nashrullah et al., 2023). Subjek dalam penelitian ini adalah pemilik dan karyawan PT Atmaja Jaya yang memberikan informasi atau data melalui wawancara.

3.2. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah hal yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam penelitian berupa materi yang akan diteliti. Objek penelitian dapat menjelaskan mengenai “apa” serta “siapa” yang menjadi topik pembahasan (Ardianti & Amalia, 2022). Objek dalam penelitian ini adalah gudang produk jadi (*finished goods warehouse*) PT Atmaja Jaya. PT Atmaja Jaya merupakan pabrik pengecoran logam dan pemesinan yang didirikan pada tahun 1979 oleh H. Purwanto Atmojo di daerah sentra Industri Pengecoran Logam Ceper, dan dirancang untuk menghasilkan produk komponen-komponen mesin berbahan Besi Cor, Besi Cor Nodular, dan Besi Cor Tempa yang bermutu tinggi. Gudang produk jadi PT Atmaja Jaya dipilih sebagai objek penelitian karena merupakan titik akhir dalam alur produksi sebelum produk didistribusikan ke konsumen, sehingga kinerja gudang ini berpengaruh langsung terhadap ketepatan waktu dan akurasi pengiriman produk jadi.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahap yang sangat menentukan kualitas hasil analisis dalam penelitian ini. Data yang dibutuhkan mencakup seluruh informasi yang diperlukan untuk mengidentifikasi KPI berbasis model POA, melakukan pembobotan menggunakan metode AHP, serta menghitung nilai normalisasi Snorm De Boer sebagai dasar perhitungan nilai kinerja total. Pada penelitian ini, data yang digunakan terdiri dari dua jenis, yaitu data primer dan data sekunder, yang masing-masing diperoleh melalui cara pengambilan yang berbeda sesuai dengan karakteristik dan tujuan penggunaannya.

3. 3. 1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung di lapangan. Pada penelitian ini, data primer diperoleh melalui wawancara dengan pihak perusahaan dan pengisian kuesioner oleh pakar perusahaan. Wawancara dilakukan dengan Kepala Gudang Produk Jadi PT Atmaja Jaya selaku pakar yang ditunjuk atas dasar kompetensi teknis dan tanggung jawab strukturalnya terhadap seluruh aktivitas operasional gudang, dengan fokus pada identifikasi alur rantai pasok, kondisi operasional aktual beserta kendala yang dihadapi, serta konfirmasi ketersediaan data historis sebagai input perhitungan setiap KPI. Selain wawancara, data primer juga diperoleh melalui dua jenis kuesioner yang diisi oleh pakar yang sama, yaitu kuesioner validasi KPI untuk menyaring indikator potensial dari literatur berdasarkan kesesuaian operasional, ketersediaan data, dan orientasi keberlanjutan, serta kuesioner pembobotan perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk keperluan perhitungan AHP menggunakan skala Saaty (1–9) pada level 1 antar dimensi POA maupun level 2 antar indikator KPI dalam setiap dimensi.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari dokumen dan arsip perusahaan yang berkaitan dengan aktivitas pergudangan, meliputi data aktual dari setiap KPI terpilih yang digunakan sebagai input perhitungan normalisasi Snorm De Boer. Data sekunder diperoleh dari dokumen dan arsip perusahaan selama periode 6 bulan ke belakang yaitu sejak bulan Januari 2025 hingga bulan Juni 2025. Selain itu, data sekunder juga diperoleh dari studi literatur berupa jurnal ilmiah dan publikasi terkait yang mendukung analisis kinerja pergudangan.

3.4. Alur Penelitian

Berikut merupakan diagram alur penelitian.

1. Mulai

Tahap ini merupakan titik awal dimulainya seluruh rangkaian proses penelitian.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, dan penelitian terdahulu yang relevan. Studi literatur berfokus pada konsep *green warehouse*, pengukuran kinerja, model *Performance of Activity* (POA), metode AHP, dan normalisasi Snorm De Boer.

3. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan berdasarkan hasil studi literatur. Pada tahap ini peneliti merumuskan permasalahan utama terkait belum adanya sistem pengukuran kinerja *green warehouse* yang terstruktur di PT Atmaja Jaya.

4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditetapkan sebagai acuan yang ingin dicapai, yaitu mengidentifikasi KPI berbasis dimensi POA, melakukan pembobotan menggunakan AHP, menormalisasi nilai aktual menggunakan Snorm De Boer, dan menghasilkan nilai total kinerja *green warehouse*.

5. Identifikasi Variabel

Pada tahap ini peneliti menentukan variabel-variabel yang akan digunakan, yaitu KPI yang mengacu pada tujuh dimensi model POA: *cost*, *time*, *capacity*, *capability*, *productivity*, *utility*, dan *outcome*, yang disesuaikan dengan kondisi aktual gudang produk jadi PT Atmaja Jaya.

6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui dua jenis data. Data primer diperoleh dari wawancara, kuesioner pemilihan KPI, dan kuesioner pembobotan perbandingan berpasangan yang diisi oleh pakar perusahaan. Data sekunder berupa data aktual KPI yang diperoleh dari catatan perusahaan.

7. Penentuan Indikator KPI

KPI ditentukan berdasarkan hasil kuesioner pemilihan indikator yang mengacu pada tujuh dimensi POA dan disesuaikan dengan kondisi aktual perusahaan melalui diskusi dengan pakar. Setiap dimensi POA memiliki satu atau lebih indikator KPI yang merepresentasikan kondisi kinerja *green warehouse*.

8. Perhitungan Nilai Aktual KPI

Nilai aktual dihitung berdasarkan data real perusahaan selama periode pengamatan. Nilai aktual ini mencerminkan kondisi kinerja nyata perusahaan pada setiap indikator yang telah ditetapkan.

9. Pembobotan AHP

Pembobotan menggunakan metode AHP dilakukan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif dari masing-masing dimensi POA dan KPI berdasarkan penilaian perbandingan berpasangan oleh pakar perusahaan. Setelah bobot diperoleh, dilakukan uji konsistensi dengan menghitung nilai *Consistency Ratio* (CR).

10. $CR < 0,1$? (Keputusan)

Apabila nilai CR kurang dari 0,1 maka pembobotan dinyatakan konsisten dan penelitian dilanjutkan. Apabila CR lebih dari atau sama dengan 0,1 maka kuesioner perlu diulang dan indikator ditinjau kembali.

11. Normalisasi Snorm De Boer

Nilai aktual setiap KPI dinormalisasi menggunakan rumus Snorm De Boer untuk menyamakan skala nilai ke rentang 0–100. Normalisasi dilakukan sesuai sifat indikator, yaitu *higher is better* atau *lower is better*.

12. Perhitungan Nilai Kinerja Total

Nilai kinerja total dihitung dengan mengalikan nilai Snorm masing-masing KPI dengan bobot global AHP yang telah diperoleh, kemudian dijumlahkan seluruhnya untuk menghasilkan skor total kinerja *green warehouse* PT Atmaja Jaya.

13. Analisis & Usulan Perbaikan

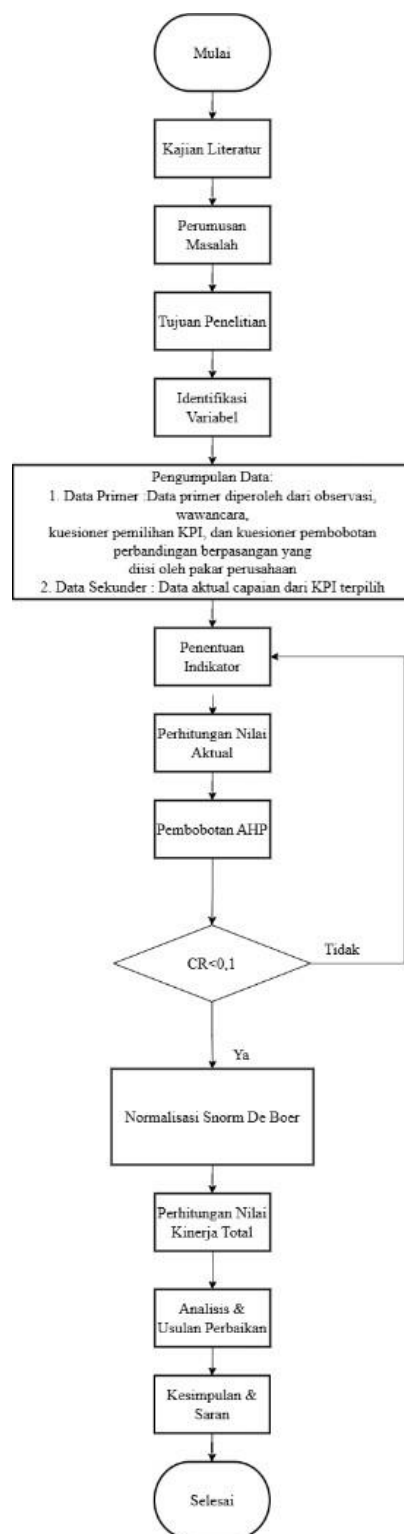
Hasil nilai kinerja total dianalisis untuk mengidentifikasi KPI mana yang belum optimal. Berdasarkan analisis tersebut, peneliti menyusun usulan perbaikan bagi perusahaan.

14. Kesimpulan & Saran

Kesimpulan disusun dengan merangkum seluruh hasil penelitian. Saran diberikan kepada perusahaan sebagai rekomendasi tindak lanjut.

15. Selesai

Tahap selesai menandai berakhirnya seluruh rangkaian proses penelitian yang telah dilakukan.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

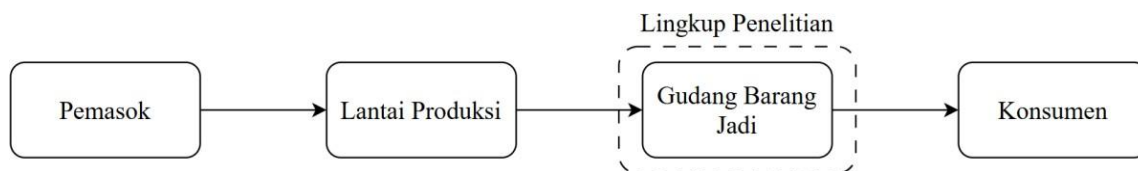
4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Identifikasi KPI Rantai Pasok Gudang Produk Jadi

PT Atmaja Jaya merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang pengecoran logam (*metal casting*) dan pemesinan yang berlokasi di sentra Industri Pengecoran Logam Ceper, Klaten, Jawa Tengah. Dalam menjalankan proses bisnisnya, perusahaan melibatkan beberapa pihak dalam rantai pasoknya, mulai dari pemasok bahan baku hingga konsumen akhir yang menerima produk jadi berupa komponen-komponen mesin berbahan besi.

Identifikasi rantai pasok dilakukan melalui wawancara dengan kepala gudang perusahaan. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, alur rantai pasok dapat digambarkan sebagai berikut. Pemasok menyediakan bahan baku berupa pasir cetak, logam, dan bahan pendukung lainnya yang kemudian dikirimkan ke rantai produksi perusahaan. Bahan baku yang telah diterima selanjutnya diproses melalui serangkaian proses pengecoran dan pemesinan hingga menghasilkan produk jadi. Produk jadi yang dihasilkan kemudian disimpan di gudang produk jadi sebelum akhirnya didistribusikan kepada konsumen sesuai dengan pesanan yang masuk.

Penelitian ini membatasi lingkup pengukuran kinerja pada gudang produk jadi (*finished goods warehouse*) PT Atmaja Jaya, mencakup aktivitas penyimpanan, pengemasan, dan pengiriman produk jadi ke konsumen. Pembatasan ini dilakukan karena gudang produk jadi merupakan titik kritis dalam rantai pasok yang berpengaruh langsung terhadap kepuasan konsumen, khususnya dalam hal ketepatan waktu dan akurasi pengiriman produk. Alur rantai pasok beserta lingkup penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Alur Rantai Pasok PT Atmaja Jaya

Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa gudang produk jadi PT Atmaja Jaya merupakan titik penghubung antara rantai produksi dan konsumen akhir. Seluruh aktivitas yang berlangsung di dalam gudang produk jadi, mulai dari penerimaan produk dari rantai produksi, penyimpanan, pengemasan, hingga pengiriman kepada konsumen, menjadi fokus pengukuran kinerja dalam penelitian ini. Pengukuran kinerja dilakukan menggunakan model *Performance*

of Activity (POA) yang mencakup tujuh dimensi yaitu *cost*, *time*, *capacity*, *capability*, *productivity*, *utility*, dan *outcome*, yang masing-masing dimensinya akan diidentifikasi indikator KPI-nya pada tahap selanjutnya.

4. 1. 2 Identifikasi dan Validasi KPI Berbasis Model POA

Proses penentuan indikator kinerja dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu studi literatur (pendekatan teoritis) dan validasi pakar (pendekatan praktis). Pada tahap awal, dilakukan pengumpulan indikator potensial berdasarkan tujuh dimensi model *Performance of Activity* (POA) yang dikumpulkan dari berbagai penelitian terdahulu mengenai *green warehousing* dan logistik.

Untuk memastikan bahwa indikator yang telah dikumpulkan dari literatur tersebut bersifat aplikatif dan akurat dalam menggambarkan kondisi riil di lapangan, dilakukan proses validasi menggunakan metode *Expert Judgment*. Pakar yang dipilih dalam penelitian ini adalah Kepala Gudang Produk Jadi PT Atmaja Jaya, mengingat kompetensi, penguasaan teknis, serta pengalaman struktural yang bersangkutan terhadap seluruh rantai pasok internal perusahaan.

Proses validasi dan penyaringan indikator dilakukan melalui diskusi terstruktur dan pengisian kuesioner validasi. Pakar melakukan penilaian terhadap setiap indikator potensial berdasarkan tiga kriteria batasan, yaitu:

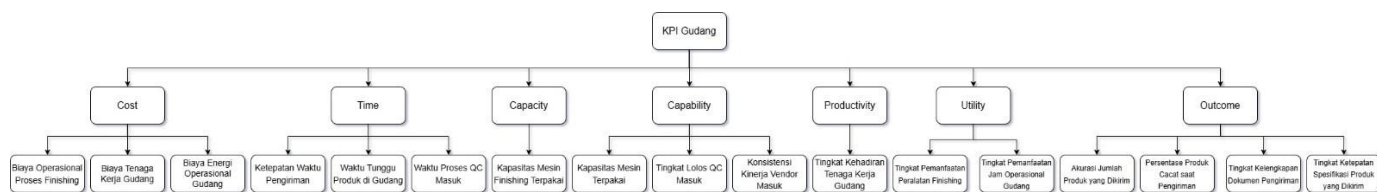
- 1) Kesesuaian Operasional (*Relevance*): Indikator harus mencerminkan karakteristik nyata dari aktivitas pergudangan industri pengecoran logam (*metal casting*), seperti adanya proses *finishing* produk cor dan penanganan material berat.
- 2) Ketersediaan Data (*Data Availability*): Indikator yang dipilih wajib memiliki rekam data historis yang jelas atau dapat diukur secara langsung melalui catatan sekunder perusahaan, sehingga proses perhitungan Snorm De Boer dapat dilakukan secara akurat.
- 3) Orientasi Keberlanjutan (*Green Orientation*): Indikator mampu menangkap aspek efisiensi penggunaan sumber daya, konsumsi energi, pengendalian cacat produk, serta minimalisasi pemborosan (*waste*) yang selaras konsep *green warehouse*.

Melalui proses penyaringan tersebut, dari total keseluruhan indikator awal yang diusulkan, pakar menetapkan dan mengesahkan 17 *Key Performance Indicator* (KPI) sebagai tolok ukur yang valid untuk menguji performa gudang produk jadi PT Atmaja Jaya. KPI yang terpilih dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 KPI Gudang Produk Jadi PT Atmaja Jaya

Dimensi POA	Kode	Indikator KPI	Satuan	Sifat
Cost	C1	Biaya operasional proses finishing	Rp/Unit	<i>Lower is better</i>
Cost	C2	Biaya tenaga kerja gudang	Rp/Bulan	<i>Lower is better</i>
Cost	C3	Biaya energi operasional gudang	Rp/Bulan	<i>Lower is better</i>
Time	T1	Ketepatan waktu pengiriman	%	<i>Higher is better</i>
Time	T2	Waktu tunggu produk di gudang	Hari	<i>Lower is better</i>
Time	T3	Waktu proses QC masuk	Jam/Batch	<i>Lower is better</i>
Capacity	KP1	Kapasitas mesin finishing terpakai	%	<i>Higher is better</i>
Capability	KB1	Tingkat lolos QC masuk	%	<i>Higher is better</i>
Capability	KB2	Konsistensi kinerja vendor transportasi	%	<i>Higher is better</i>
Capability	KB3	Tingkat akurasi stok gudang	%	<i>Higher is better</i>
Productivity	P1	Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang	%	<i>Higher is better</i>
Utility	UT1	Tingkat pemanfaatan peralatan finishing	%	<i>Higher is better</i>
Utility	UT2	Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang	%	<i>Higher is better</i>
Outcome	OC1	Akurasi jumlah produk yang dikirim	%	<i>Higher is better</i>
Outcome	OC2	Persentase produk cacat saat pengiriman	%	<i>Lower is better</i>
Outcome	OC3	Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	%	<i>Higher is better</i>
Outcome	OC4	Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	%	<i>Higher is better</i>

Berdasarkan tabel di atas, terdapat 17 indikator KPI yang telah divalidasi oleh pakar perusahaan dan dapat digunakan dalam pengukuran kinerja *green warehouse* PT Atmaja Jaya. Indikator-indikator tersebut mencakup seluruh tujuh dimensi POA sehingga pengukuran kinerja yang dihasilkan bersifat komprehensif dan merepresentasikan kondisi nyata aktivitas gudang produk jadi secara menyeluruh (Rizky Anggraini et al., 2024). Berikut merupakan struktur hierarki dari 17 indikator KPI yang



Gambar 4. 2 Struktur Hierarki KPI Gudang Produk Jadi Perusahaan

4.2 Pengolahan Data

4. 2. 1 Pembobotan Analytical Hierarchy Process (AHP)

Pembobotan dilakukan menggunakan metode AHP berdasarkan hasil kuesioner perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang diisi oleh pakar perusahaan PT Atmaja Jaya.

Pembobotan dilakukan pada dua level, yaitu level 1 untuk pembobotan antar dimensi POA dan level 2 untuk pembobotan antar KPI dalam setiap dimensi.

a. Pembobotan Level 1 (Antar Dimensi POA)

Dalam matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*), nilai setiap Dimensi untuk *Key Performance Indicator* (KPI) telah ditentukan oleh para ahli perusahaan menggunakan skala seperti Tabel 2.2 yaitu dari angka 1 sampai 9. Oleh karena itu, hasil pembobotan Dimensi POA pada matriks perbandingan berpasangan level 1 dapat dilihat pada 4.2.

Tabel 4. 2 Matriks Perbandingan Berpasangan Level 1

Dimensi	Cost	Time	Capacity	Capability	Productivity	Utility	Outcome
Cost	1	3	3	1/3	2	3	1/5
Time	1/3	1	2	1/3	1/2	2	1/7
Capacity	1/3	1/2	1	1/5	1/3	2	1/7
Capability	3	3	5	1	3	5	1/3
Productivity	1/2	2	3	1/3	1	3	1/5
Utility	1/3	1/2	1/2	1/5	1/3	1	1/9
Outcome	5	7	7	3	5	9	1
Total	10,5	17	21,5	5,4	12,16667	25	2,13015873

Setelah matriks perbandingan berpasangan diperoleh, dilakukan normalisasi matriks dan perhitungan bobot setiap dimensi dengan cara membagi nilai tiap sel dengan total kolom masing-masing, kemudian merata-rata tiap baris. Hasil pembobotan level 1 dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Pembobotan Level 1

No	Dimensi POA	Bobot Level 1
1	Cost	0,122
2	Time	0,062
3	Capacity	0,046
4	Capability	0,212
5	Productivity	0,095
6	Utility	0,034
7	Outcome	0,430
	Total	1

Selanjutnya dilakukan uji konsistensi untuk memastikan hasil pembobotan dapat diterima. Uji konsistensi dilakukan dengan menghitung nilai *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR) menggunakan rumus berikut (Rizky Anggraini et al., 2024) :

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- λ_{max} = Nilai maksimum
- η = Jumlah kriteria (7 dimensi POA)
- RI = *Random Index* (untuk $\eta=7$, nilai $RI=1,32$)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai $\lambda_{max} = 7,273$, $CI = 0,046$, dan $CR = 0,0345$. Karena nilai $CR = 0,0345 < 0,1$ maka hasil pembobotan dinyatakan konsisten dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

b. Pembobotan Level 2 (Antar KPI dalam Tiap Dimensi)

Pembobotan level 2 dilakukan untuk setiap dimensi POA yang memiliki lebih dari satu indikator KPI. Dimensi yang memiliki satu indikator KPI, yaitu *Capacity* (KP1) dan *Productivity* (P1), tidak memerlukan pembobotan level 2 karena bobotnya secara otomatis bernilai 1. Pembobotan level 2 dilakukan pada lima dimensi, yaitu *Cost*, *Time*, *Capability*, *Utility*, dan *Outcome*. Proses pembobotan dilakukan melalui tiga tahap yaitu pembentukan matriks perbandingan berpasangan, kemudian normalisasi matriks, dan terakhir uji konsistensi.

a) Pembobotan level 2 dimensi *cost*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Cost* dilakukan untuk menentukan bobot kepentingan relatif antar 3 indikator KPI, yaitu C1, C2, C3. Hasil matriks perbandingan berpasangan yang diperoleh dari kuesioner pakar perusahaan PT Atmaja Jaya dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator *Cost*

Indikator KPI	C1	C2	C3
C1	1	4	3
C2	1/4	1	1/3
C3	1/3	3	1
Total	1,58	8,00	4,33

Setelah matriks perbandingan berpasangan diperoleh, dilakukan normalisasi matriks dengan cara membagi nilai tiap sel dengan total kolom masing-masing. Kemudian bobot setiap indikator dihitung dengan merata-rata nilai ternormalisasi pada setiap baris. Hasil normalisasi matriks perbandingan berpasangan dimensi *Cost* dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi *Cost*

Indikator KPI	C1	C2	C3	Jumlah Baris	Bobot (Wi)
C1	0.6317	0.5000	0.6924	1.8241	0.6080
C2	0.1579	0.1250	0.0769	0.3599	0.1200
C3	0.2106	0.3750	0.2308	0.8164	0.2721

Berdasarkan hasil normalisasi tersebut, diperoleh bobot setiap indikator KPI pada dimensi *Cost*. Ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Cost* dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi *Cost*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	C1	0.6080
2	C2	0.1199
3	C3	0.2721
Total		1.0000

Selanjutnya dilakukan uji konsistensi untuk memastikan hasil pembobotan dapat diterima. Hasil uji konsistensi dimensi *Cost* adalah sebagai berikut.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- λ_{max} = Nilai maksimum
- η = Jumlah indikator (3 indikator)
- RI = *Random Index* (untuk $\eta=3$, nilai $RI=0,58$)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai $\lambda_{max} = 3.1012$, $CI = 0.0506$, $RI = 0.58$ (untuk $n=3$), dan $CR = 0.0873$. Karena nilai $CR = 0.0873 < 0,1$ maka hasil pembobotan dimensi Cost dinyatakan konsisten dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

b) Pembobotan level 2 dimensi *time*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Time* dilakukan untuk menentukan bobot kepentingan relatif antar 3 indikator KPI, yaitu T1, T2, T3. Hasil matriks perbandingan berpasangan yang diperoleh dari kuesioner pakar perusahaan PT Atmaja Jaya dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator *Time*

Indikator KPI	T1	T2	T3
T1	1	4	6
T2	1/4	1	4
T3	1/6	1/4	1
Total	1,42	5,25	11,00

Setelah matriks perbandingan berpasangan diperoleh, dilakukan normalisasi matriks dengan cara membagi nilai tiap sel dengan total kolom masing-masing. Kemudian bobot setiap indikator dihitung dengan merata-rata nilai ternormalisasi pada setiap baris. Hasil normalisasi matriks perbandingan berpasangan dimensi *Time* dapat dilihat pada tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi *Time*

Indikator KPI	T1	T2	T3	Jumlah Baris	Bobot (Wi)
T1	0,7059	0,7619	0,5455	2.0131	0.6710
T2	0,1765	0,1905	0,3636	0.7305	0.2435
T3	0,1176	0,0476	0,0909	0.2561	0.0854

Berdasarkan hasil normalisasi tersebut, diperoleh bobot setiap indikator KPI pada dimensi *Time*. Ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Time* dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi *Time*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	T1	0.6711
2	T2	0.2435
3	T3	0.0854
Total		1.0000

Selanjutnya dilakukan uji konsistensi untuk memastikan hasil pembobotan dapat diterima. Hasil uji konsistensi dimensi *Time* adalah sebagai berikut.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- λ_{max} = Nilai maksimum
- η = Jumlah indikator (3 indikator)
- RI = *Random Index* (untuk $\eta=3$, nilai $RI=0,58$)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai $\lambda_{max} = 3,1098$, $CI = 0,0549$, $RI = 0.58$ (untuk $n=3$), dan $CR = 0,0946$. Nilai $CR = 0,0946 < 0,1$ maka hasil pembobotan dimensi *Time* dinyatakan konsisten dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

c) Pembobotan level 2 dimensi *capacity*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Capacity* tidak dilakukan melalui perhitungan matriks perbandingan berpasangan karena dimensi ini hanya memiliki satu indikator KPI penentu, yaitu KP1. Oleh karena itu, bobot tingkat kepentingan untuk indikator KP1 dalam dimensi *Capacity* secara otomatis bernilai mutlak sebesar 1,000. Berikut merupakan ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Capacity* dalam tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Hasil Pembobotan Level 2 dimensi *Capacity*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	KP1	1.000
Total		1.000

d) Pembobotan level 2 dimensi *capability*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Capability* dilakukan untuk menentukan bobot kepentingan relatif antar 3 indikator KPI, yaitu KB1, KB2, KB3. Hasil matriks perbandingan berpasangan yang diperoleh dari kuesioner pakar perusahaan PT Atmaja Jaya dapat dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator *Capability*

Indikator KPI	KB1	KB2	KB3
KB1	1	3	1/3
KB2	1/3	1	1/5
KB3	3	5	1
Total	4,33	9,00	1,53

Setelah matriks perbandingan berpasangan diperoleh, dilakukan normalisasi matriks dengan cara membagi nilai tiap sel dengan total kolom masing-masing. Kemudian bobot setiap indikator dihitung dengan merata-rata nilai ternormalisasi pada setiap baris. Hasil normalisasi matriks perbandingan berpasangan dimensi *Capability* dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi *Capability*

Indikator KPI	KB1	KB2	KB3	Jumlah Baris	Bobot (Wi)
KB1	0.2308	0.3333	0.2174	0.7816	0.2605
KB2	0.0769	0.1111	0.1305	0.3185	0.1062
KB3	0.6924	0.5556	0.6523	1.9002	0.6334

Berdasarkan hasil normalisasi tersebut, diperoleh bobot setiap indikator KPI pada dimensi *Capability*. Ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Capability* dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi *Capability*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	KB1	0.2605
2	KB2	0.1062
3	KB3	0.6333
Total		1.0000

Selanjutnya dilakukan uji konsistensi untuk memastikan hasil pembobotan dapat diterima. Hasil uji konsistensi dimensi *Capability* adalah sebagai berikut.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- λ_{max} = Nilai maksimum
- η = Jumlah indikator (3 indikator)
- RI = *Random Index* (untuk $\eta=3$, nilai $RI = 0,58$)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai $\lambda_{max} = 3,0387$, $CI = 0,0194$, $RI = 0,58$ (untuk $n=3$), dan $CR = 0,0334$. Karena nilai $CR = 0,0334 < 0,1$ maka hasil pembobotan dimensi *Capability* dinyatakan konsisten dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

e) Pembobotan level 2 dimensi *productivity*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Productivity* tidak dilakukan melalui perhitungan matriks perbandingan berpasangan karena dimensi ini hanya memiliki satu indikator KPI penentu, yaitu P1. Oleh karena itu, bobot tingkat kepentingan untuk indikator P1 dalam dimensi *Productivity* secara otomatis bernilai mutlak sebesar 1,000. Berikut merupakan ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Productivity* dalam tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil Pembobotan Level 2 dimensi *Productivity*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	P1	1.000
Total		1.000

f) Pembobotan level 2 dimensi *utility*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Utility* dilakukan untuk menentukan bobot kepentingan relatif antar 2 indikator KPI, yaitu UT1 dan UT2. Hasil matrik perbandingan. Hasil matriks perbandingan berpasangan yang diperoleh dari kuisioner pakar perusahaan PT Atmaja Jaya dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator *Utility*

Indikator KPI	UT1	UT2
UT1	1	1/4
UT2	4	1
Total	5	1 1/4

Setelah perbandingan berpasangan diperoleh, dilakukan normalisasi matriks dengan cara membagi nilai tiap sel dengan total kolom masing-masing. Kemudian bobot setiap indikator dihitung dengan merata-ratakan nilai ternormalisasi pada setiap baris. Hasil normalisasi matriks perbandingan berpasangan dimensi *Utility* dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi *Utility*

Indikator KPI	UT1	UT2	Jumlah Baris	Bobot (Wi)
UT1	0,2000	0,2000	0,4000	0,2000
UT2	0,8000	0,8000	1,6000	0,8000

Berdasarkan hasil normalisasi tersebut, diperoleh bobot setiap indikator KPI pada dimensi *Utility*. Ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Utility* dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi *Utility*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	UT1	0,2000
2	UT2	0,8000
Total		1

Selanjutnya dilakukan uji konsistensi untuk memastikan hasil pembobotan dapat diterima. Hasil uji konsistensi dimensi *Outcome* adalah sebagai berikut.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- λ_{max} = Nilai maksimum
- η = Jumlah indikator (2 indikator)

- $RI = \text{Random Index}$ (untuk $n=2$, nilai $RI=0$)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai $\lambda_{max} = 2,000$, $CI = 0,000$, $RI = 0,00$ (untuk $n=2$), dan $CR = 0,000$. Karena matriks perbandingan berpasangan berukuran 2×2 memiliki nilai rasio konsistensi (CR) sebesar $0,000$ yang otomatis $< 0,1$ maka hasil pembobotan dimensi *Utility* dinyatakan konsisten secara mutlak dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

g) Pembobotan level 2 dimensi *outcome*

Pembobotan level 2 pada dimensi *Outcome* dilakukan untuk menentukan bobot kepentingan relatif antar 4 indikator KPI, yaitu OC1, OC2, OC3, OC4. Hasil matriks perbandingan berpasangan yang diperoleh dari kuesioner pakar perusahaan PT Atmaja Jaya dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4. 18 Matriks Perbandingan Berpasangan Indikator *Outcome*

Indikator KPI	OC1	OC2	OC3	OC4
OC1	1	3	6	3
OC2	1/3	1	6	3
OC3	1/6	1/6	1	1/5
OC4	1/3	1/3	5	1
Total	1,83	4,50	18,00	7,20

Setelah matriks perbandingan berpasangan diperoleh, dilakukan normalisasi matriks dengan cara membagi nilai tiap sel dengan total kolom masing-masing. Kemudian bobot setiap indikator dihitung dengan merata-rata nilai ternormalisasi pada setiap baris. Hasil normalisasi matriks perbandingan berpasangan dimensi *Outcome* dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Normalisasi Matriks Perbandingan Berpasangan Dimensi *Outcome*

Indikator KPI	OC1	OC2	OC3	OC4	Jumlah Baris	Bobot (W_i)
OC1	0.5456	0.6667	0.3333	0.4167	1.9622	0.4905
OC2	0.1819	0.2222	0.3333	0.4167	1.1541	0.2885
OC3	0.0909	0.0370	0.0556	0.0278	0.2113	0.0528
OC4	0.1819	0.0741	0.2778	0.1389	0.6726	0.1681

Berdasarkan hasil normalisasi tersebut, diperoleh bobot setiap indikator KPI pada dimensi *Outcome*. Ringkasan hasil pembobotan level 2 dimensi *Outcome* dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Hasil Pembobotan Level 2 Dimensi *Outcome*

No	Indikator KPI	Bobot Level 2
1	OC1	0.4905
2	OC2	0.2885
3	OC3	0.0528
4	OC4	0.1681
Total		1

Selanjutnya dilakukan uji konsistensi untuk memastikan hasil pembobotan dapat diterima. Hasil uji konsistensi dimensi *Outcome* adalah sebagai berikut.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \eta}{\eta - 1}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Keterangan:

- λ_{max} = Nilai maksimum
- η = Jumlah indikator (4 indikator)
- RI = *Random Index* (untuk $\eta=4$, nilai $RI= 0,90$)

Berdasarkan perhitungan diperoleh nilai $\lambda_{max} = 4,2656$, $CI = 0,0885$, $RI = 0,90$ (untuk $n=4$), dan $CR = 0,0984$. Karena nilai $CR = 0,0984 < 0,1$ maka hasil pembobotan dimensi *Outcome* dinyatakan konsisten dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Setelah seluruh pembobotan level 2 pada masing-masing dimensi POA selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah menghitung bobot global setiap indikator KPI. Bobot global diperoleh dengan mengalikan bobot level 1 dimensi yang bersangkutan dengan bobot level 2 KPI di dalamnya, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$Global\ Weight = Weight\ Level\ 1 \times Weight\ Level\ 2$$

Bobot global mencerminkan tingkat kepentingan setiap indikator KPI secara keseluruhan dalam sistem pengukuran kinerja *green warehouse* PT Atmaja Jaya.

Semakin besar nilai bobot global suatu KPI, semakin besar pula pengaruhnya terhadap nilai kinerja total yang akan dihitung pada tahap berikutnya. Hasil perhitungan bobot global seluruh indikator KPI dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4. 21 Matriks Perbandingan Berpasangan Level 1 dan Level 2

No	Dimensi POA	Weight Level 1	Indikator KPI	Weight Level 2	Global Weight
1	Cost	0,122	Biaya operasional proses finishing	0,6080	0,0742
			Biaya tenaga kerja gudang	0,1199	0,0146
			Biaya energi operasional gudang	0,2721	0,0332
2	Time	0,062	Ketepatan waktu pengiriman	0,6711	0,0416
			Waktu tunggu produk di gudang	0,2435	0,0151
			Waktu proses QC masuk	0,0854	0,0053
3	Capacity	0,046	Kapasitas mesin finishing terpakai	1	0,046
4	Capability	0,212	Tingkat lolos QC masuk	0,2605	0,05523
			Konsistensi kinerja vendor transportasi	0,1062	0,02251
			Tingkat akurasi stok gudang	0,6333	0,13427
5	Productivity	0,095	Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang	1	0,095
6	Utility	0,034	Tingkat pemanfaatan	0,200	0,0068

No	Dimensi POA	Weight Level 1	Indikator KPI	Weight Level 2	Global Weight
7	Outcome	0,43	peralatan finishing		
			Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang	0,800	0,0272
			Akurasi jumlah produk yang dikirim	0,4905	0,2109
			Persentase produk cacat saat pengiriman	0,2885	0,1241
			Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	0,0528	0,0227
			Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	0,1681	0,0723

Berdasarkan Tabel 4.21, dapat diketahui bahwa total seluruh bobot global adalah 1,00 yang menunjukkan bahwa pembobotan telah dilakukan secara konsisten dan proporsional. Hasil pembobotan tersebut mencerminkan penilaian pakar perusahaan PT Atmaja Jaya terhadap tingkat kepentingan relatif setiap indikator KPI dalam mengukur kinerja *green warehouse*.

Berdasarkan hasil pembobotan, tiga indikator KPI dengan bobot global tertinggi adalah OC1 (Akurasi jumlah produk yang dikirim) dengan *global weight* sebesar 0,2109, diikuti oleh KB3 (Tingkat akurasi stok gudang) sebesar 0,1343, dan OC2 (Persentase produk cacat saat pengiriman) sebesar 0,1241. Ketiga KPI tersebut berasal dari dimensi *Outcome* dan *Capability* yang memiliki bobot level 1 tertinggi, yaitu

masing-masing sebesar 0,430 dan 0,212. Hal ini menunjukkan bahwa pakar perusahaan menilai aspek hasil akhir pengiriman (*outcome*) dan kemampuan operasional (*capability*) sebagai dimensi yang paling menentukan kinerja gudang PT Atmaja Jaya.

Di sisi lain, tiga indikator KPI dengan bobot global terendah adalah T3 (Waktu proses QC masuk) sebesar 0,0053, UT1 (Tingkat pemanfaatan peralatan finishing) sebesar 0,0068, dan C2 (Biaya tenaga kerja gudang) sebesar 0.0146. Rendahnya bobot global pada KPI-KPI tersebut bukan berarti tidak penting, melainkan mencerminkan bahwa pakar menilai indikator-indikator tersebut memiliki dampak yang lebih kecil terhadap kinerja gudang secara keseluruhan dibandingkan indikator lainnya.

Bobot global yang telah diperoleh selanjutnya akan digunakan sebagai faktor pengali dalam perhitungan nilai kinerja total gudang PT Atmaja Jaya, setelah nilai aktual setiap KPI dinormalisasi menggunakan metode Snorm De Boer pada sub-bab berikutnya.

4. 2. 2 Normalisasi Snorm De Boer

Setelah bobot global setiap KPI diperoleh, langkah selanjutnya adalah menormalisasi nilai aktual setiap KPI menggunakan metode Snorm De Boer. Normalisasi dilakukan untuk menyamakan skala nilai aktual yang berbeda-beda satuannya ke dalam skala 0 hingga 100 (Sriwana et al., 2021). Nilai S_{max} dan S_{min} diperoleh dari hasil data historis perusahaan berdasarkan kondisi terbaik dan terburuk yang pernah terjadi. Terdapat dua jenis rumus transformasi yang digunakan dalam metode Snorm De Boer berdasarkan sifat dari masing-masing indikator KPI, yaitu sebagai berikut:

a. *Higher is Better* (semakin tinggi semakin baik):

$$S_{norm} = \frac{S_i - S_{min}}{S_{max} - S_{min}} \times 100$$

b. *Lower is Better* (semakin rendah semakin baik):

$$S_{norm} = \frac{S_{max} - S_i}{S_{max} - S_{min}} \times 100$$

Keterangan:

- S_i = Nilai aktual KPI yang diukur
- S_{max} = Batas atas nilai KPI secara historis
- S_{min} = Batas bawah nilai KPI secara historis

Data historis diperoleh dari dokumen dan arsip perusahaan selama periode 6 bulan ke belakang yaitu sejak bulan Januari 2025 hingga bulan Juni 2025. Berikut merupakan hasil

perhitungan normalisasi nilai Snorm De Boer yang dikelompokkan berdasarkan 7 dimensi *Performance of Activity* (POA) pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya.

1. Dimensi *Cost*

Dimensi *Cost* mengukur efisiensi penyerapan anggaran finansial pada aktivitas pergudangan PT Atmaja Jaya yang mencakup tiga indikator KPI, yaitu C1, C2, dan C3. Ketiga indikator tersebut seluruhnya bersifat *Lower is Better*, yang berarti semakin rendah nilai aktualnya mendekati batas historis minimal, maka semakin tinggi skor normalisasi yang diperoleh. Nilai Si, Smax, dan Smin pada masing-masing indikator diperoleh dari data historis perusahaan selama periode pengamatan dan digunakan sebagai dasar perhitungan normalisasi Snorm De Boer. Hasil perhitungan normalisasi untuk dimensi *Cost* disajikan pada tabel 4.22.

Tabel 4. 22 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Cost*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
C1	Biaya operasional proses <i>finishing</i>	<i>Lower is Better</i>	Rp13.900,0 0	Rp15.000,0 0	Rp13.500,0 0	73
C2	Biaya tenaga kerja gudang	<i>Lower is Better</i>	Rp19.000.0 00,00	Rp20.500.0 00,00	Rp18.500.0 00,00	75
C3	Biaya energi operasional gudang	<i>Lower is Better</i>	Rp4.400.00 0,00	Rp5.200.00 0,00	Rp4.300.00 0,00	89

Berdasarkan tabel di atas, hasil normalisasi Snorm De Boer pada dimensi *Cost* menunjukkan bahwa seluruh indikator berada pada kategori kinerja yang cukup baik hingga sangat baik. Indikator C3 (Biaya energi operasional gudang) mencatatkan skor tertinggi sebesar 89 yang mengindikasikan bahwa pengelolaan konsumsi energi di gudang telah berjalan sangat efisien dan berhasil ditekan mendekati nilai historis minimalnya. Indikator C2 (Biaya tenaga kerja gudang) juga menunjukkan performa yang baik dengan skor 75, mencerminkan bahwa alokasi biaya SDM gudang sudah terkelola dengan proporsional. Sementara itu, indikator C1 (Biaya operasional proses *finishing*) memperoleh skor 73, yang berarti pengeluaran aktual pada stasiun kerja *finishing* sudah mendekati nilai historis terbaik meskipun masih tersedia ruang perbaikan. Secara keseluruhan, dimensi *Cost* menunjukkan performa yang solid dan mencerminkan efisiensi anggaran operasional gudang PT Atmaja Jaya yang cukup baik.

2. Dimensi *Time*

Dimensi *Time* mengukur efisiensi waktu dalam operasional pergudangan PT Atmaja Jaya, mulai dari proses inspeksi produk masuk hingga ketepatan pengiriman kepada

konsumen. Dimensi ini mencakup tiga indikator KPI dengan sifat yang berbeda, yaitu T1 bersifat *Higher is Better* dan T2 serta T3 bersifat *Lower is Better*, sehingga rumus normalisasi yang diterapkan disesuaikan dengan sifat masing-masing indikator. Hasil perhitungan normalisasi Snorm De Boer untuk dimensi *Time* disajikan pada tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Time*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
T1	Ketepatan waktu pengiriman	<i>Higher is Better</i>	87%	88%	80%	88
T2	Waktu tunggu produk di gudang	<i>Lower is Better</i>	4,5 Hari	6 Hari	3,5 Hari	60
T3	Waktu proses QC masuk	<i>Lower is Better</i>	4 jam/batch	5 jam/batch	3 jam/batch	50

Berdasarkan Tabel 4.23, hasil normalisasi pada dimensi *Time* menunjukkan variasi kinerja yang cukup beragam antar indikator. Indikator T1 (Ketepatan waktu pengiriman) mencatatkan skor tertinggi sebesar 88, yang menandakan bahwa jadwal pengiriman produk kepada konsumen telah berjalan dengan sangat baik dan hampir konsisten memenuhi target. Indikator T2 (Waktu tunggu produk di gudang) memperoleh skor 60, mengindikasikan bahwa perputaran produk jadi di dalam gudang berada pada level yang moderat dan masih dapat dioptimalkan lebih lanjut. Sebaliknya, indikator T3 (Waktu proses QC masuk) mendapatkan skor paling rendah sebesar 50, yang berarti efisiensi waktu inspeksi masih berada tepat di tengah-tengah rentang historis dan perlu mendapat perhatian khusus. Secara keseluruhan, dimensi *Time* sudah menunjukkan performa yang cukup baik terutama pada aspek pengiriman, namun proses QC dan manajemen waktu tunggu gudang masih membutuhkan peningkatan.

3. Dimensi *Capacity*

Dimensi *Capacity* digunakan untuk menilai seberapa optimal kapasitas fasilitas produksi yang berkaitan langsung dengan aktivitas pergudangan PT Atmaja Jaya telah dimanfaatkan. Dimensi ini diwakili oleh satu indikator tunggal yaitu KP1 (Kapasitas mesin *finishing* terpakai) yang bersifat *Higher is Better*, sehingga semakin tinggi persentase kapasitas yang terserap maka semakin baik pula skor normalisasi yang dihasilkan. Hasil perhitungan normalisasi Snorm De Boer untuk dimensi *Capacity* disajikan pada tabel 4.24.

Tabel 4. 24 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Capacity*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
KP1	Kapasitas mesin finishing terpakai	<i>Higher is Better</i>	74%	76%	65%	82

Berdasarkan Tabel 4.24, indikator tunggal dimensi *Capacity* yaitu KP1 (Kapasitas mesin finishing terpakai) mencatatkan skor Snorm De Boer sebesar 82. Perolehan skor ini mengindikasikan bahwa tingkat utilisasi mesin pada stasiun kerja finishing sudah berada pada level yang baik dan mendekati kapasitas optimalnya. Nilai aktual penggunaan kapasitas sebesar 74% dari kapasitas maksimal 76% menunjukkan bahwa mesin finishing beroperasi hampir penuh sesuai rencana produksi harian. Kondisi ini mencerminkan pengelolaan beban operasional mesin yang sudah cukup efisien sehingga sisa kapasitas menganggur relatif kecil. Pihak manajemen tetap disarankan untuk terus memantau perencanaan kapasitas guna memastikan tidak terjadi bottleneck di stasiun finishing yang dapat menghambat alur produk menuju gudang.

4. Dimensi *Capability*

Dimensi *Capability* mengukur keandalan dan kemampuan operasional gudang produk jadi PT Atmaja Jaya, baik dari sisi internal maupun keterlibatan pihak eksternal seperti vendor transportasi. Dimensi ini mencakup tiga indikator KPI, yaitu KB1, KB2, dan KB3, yang seluruhnya bersifat *Higher is Better*, sehingga semakin tinggi nilai aktualnya maka semakin baik tingkat kemampuan operasional yang dicapai. Hasil perhitungan normalisasi Snorm De Boer untuk dimensi *Capability* disajikan pada tabel 4.25.

Tabel 4. 25 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Capability*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
KB1	Tingkat lolos QC masuk	<i>Higher is Better</i>	92%	94%	88%	73
KB2	Konsistensi kinerja vendor transportasi	<i>Higher is Better</i>	85%	86%	76%	90
KB3	Tingkat akurasi stok gudang	<i>Higher is Better</i>	96%	96%	88%	100

Berdasarkan Tabel 4.25, dimensi *Capability* menunjukkan performa yang sangat positif dengan dua indikator mencatatkan skor yang sangat tinggi. Indikator KB3 (Tingkat akurasi stok gudang) berhasil meraih skor sempurna sebesar 100, yang berarti nilai aktualnya tepat berada pada batas historis maksimal dan mencerminkan keandalan sistem pencatatan stok yang sangat baik. Indikator KB2 (Konsistensi kinerja vendor

transportasi) juga menunjukkan performa sangat baik dengan skor 90, mengindikasikan bahwa mitra transportasi eksternal PT Atmaja Jaya mampu memenuhi jadwal pengiriman secara konsisten. Sementara itu, indikator KB1 (Tingkat lolos QC masuk) memperoleh skor 73, yang menunjukkan bahwa proses inspeksi kualitas produk masuk ke gudang masih memiliki ruang untuk ditingkatkan lebih lanjut. Secara keseluruhan, dimensi *Capability* merupakan salah satu dimensi dengan performa terbaik dalam penelitian ini, khususnya didukung oleh akurasi stok dan konsistensi vendor yang sangat tinggi.

5. Dimensi *Productivity*

Dimensi *Productivity* berfokus pada tingkat produktivitas sumber daya manusia yang beroperasi di lingkungan gudang produk jadi PT Atmaja Jaya. Dimensi ini direpresentasikan oleh satu indikator tunggal yaitu P1 (Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang) yang bersifat *Higher is Better*, di mana tingkat kehadiran yang lebih tinggi mencerminkan stabilitas dan kedisiplinan tenaga kerja yang lebih baik. Hasil perhitungan normalisasi Snorm De Boer untuk dimensi *Productivity* disajikan pada tabel 4.26.

Tabel 4. 26 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Productivity*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
P1	Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang	<i>Higher is Better</i>	93%	95%	88%	71

Berdasarkan Tabel 4.26, nilai kinerja dimensi *Productivity* ditentukan sepenuhnya oleh indikator tunggal P1 (Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang) yang memperoleh skor Snorm De Boer sebesar 71. Perolehan skor ini menunjukkan bahwa tingkat kehadiran aktual tenaga kerja gudang sebesar 93% sudah berada pada level yang cukup baik dan di atas nilai historis minimal sebesar 88%. Namun, masih terdapat selisih sebesar 2 persen menuju nilai historis terbaik sebesar 95%, yang mengindikasikan bahwa konsistensi kehadiran tenaga kerja masih dapat ditingkatkan. Kondisi ini mengisyaratkan perlunya penguatan sistem manajemen SDM, seperti program insentif kehadiran atau evaluasi faktor-faktor yang menyebabkan absensi. Peningkatan pada dimensi ini akan berdampak langsung pada kelancaran operasional harian gudang secara keseluruhan.

6. Dimensi *Utility*

Dimensi *Utility* melakukan evaluasi terhadap persentase pemanfaatan sumber daya penunjang operasional di area gudang produk jadi PT Atmaja Jaya, baik dari sisi peralatan maupun waktu kerja efektif. Dimensi ini mencakup dua indikator KPI yaitu UT1 dan UT2 yang keduanya bersifat *Higher is Better*, sehingga semakin tinggi tingkat pemanfaatan sumber daya yang tercatat maka semakin besar pula nilai normalisasi yang diperoleh. Hasil perhitungan normalisasi Snorm De Boer untuk dimensi *Utility* disajikan pada tabel 4.27.

Tabel 4. 27 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Utility*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
UT1	Tingkat pemanfaatan peralatan finishing	<i>Higher is Better</i>	68%	70%	60%	80
UT2	Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang	<i>Higher is Better</i>	81%	83%	74%	78

Berdasarkan Tabel 4.27, dimensi *Utility* menunjukkan performa yang relatif baik pada kedua indikatornya. Indikator UT1 (Tingkat pemanfaatan peralatan finishing) mencatatkan skor sebesar 80, yang mengindikasikan bahwa intensitas penggunaan peralatan kerja di stasiun finishing sudah berjalan dengan efisien dan mendekati level optimalnya. Indikator UT2 (Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang) memperoleh skor 78, yang menunjukkan bahwa alokasi jam kerja efektif di area gudang juga sudah terserap dengan cukup baik meskipun masih terdapat ruang untuk perbaikan. Kedua indikator ini bersama-sama mencerminkan bahwa sumber daya fisik dan waktu kerja gudang PT Atmaja Jaya dikelola secara cukup proporsional. Optimalisasi lebih lanjut pada penjadwalan operasional dan rotasi penggunaan peralatan dapat mendorong skor dimensi ini ke level yang lebih tinggi.

7. Dimensi *Outcome*

Dimensi *Outcome* merupakan dimensi yang mengukur hasil akhir dari seluruh aktivitas pergudangan PT Atmaja Jaya yang diterima langsung oleh konsumen sebagai pihak penerima produk. Dimensi ini mencakup empat indikator KPI dengan sifat yang berbeda, yaitu OC1, OC3, dan OC4 bersifat *Higher is Better*, sedangkan OC2 bersifat *Lower is Better* karena semakin rendah persentase produk cacat maka semakin baik kinerja yang dicapai. Sebagai dimensi dengan bobot level 1 tertinggi sebesar 0,430, hasil normalisasi pada dimensi ini akan memberikan pengaruh yang paling dominan terhadap

nilai kinerja total green warehouse PT Atmaja Jaya. Hasil perhitungan normalisasi Snorm De Boer untuk dimensi Outcome disajikan pada tabel 4.28.

Tabel 4. 28 Normalisasi Snorm De Boer Dimensi *Outcome*

Kode KPI	Indikator KPI	Sifat	Si (Aktual)	Smax	Smin	Skor Snorm De Boer
OC1	Akurasi jumlah produk yang dikirim	<i>Higher is better</i>	96%	97%	90%	86
OC2	Persentase produk cacat saat pengiriman	<i>Lower is better</i>	25%	45%	20%	80
OC3	Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	<i>Higher is better</i>	96%	98%	92%	67
OC4	Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	<i>Higher is better</i>	94%	96%	89%	71

Berdasarkan Tabel 4.28, dimensi *Outcome* menunjukkan performa yang beragam antar indikatornya. Indikator OC1 (Akurasi jumlah produk yang dikirim) mencatatkan skor tertinggi sebesar 86, membuktikan bahwa kesesuaian kuantitas produk yang dikirimkan kepada konsumen sudah sangat terjaga dengan baik. Indikator OC2 (Persentase produk cacat saat pengiriman) juga menunjukkan performa baik dengan skor 80, yang berarti tingkat cacat produk berhasil ditekan secara signifikan mendekati nilai historis minimalnya. Sementara itu, OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim) memperoleh skor 71, dan OC3 (Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman) mendapatkan skor terendah sebesar 67, mengindikasikan bahwa aspek kesesuaian spesifikasi dan kelengkapan administrasi pengiriman masih perlu mendapat perhatian lebih serius. Peningkatan pada kedua indikator tersebut akan sangat berkontribusi pada peningkatan kepuasan konsumen secara keseluruhan.

4. 2. 3 Rekapitulasi Normalisasi Snorm De Boer

Setelah seluruh perhitungan normalisasi Snorm De Boer pada masing-masing dimensi POA selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah merangkum seluruh hasil tersebut ke dalam satu tabel rekapitulasi. Rekapitulasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai posisi kinerja setiap indikator KPI secara sekaligus sehingga dapat diidentifikasi indikator mana yang telah mencapai performa optimal dan indikator mana yang masih memerlukan perbaikan. Nilai skor Snorm De Boer yang telah dinormalisasi ke dalam skala 0 hingga 100 ini selanjutnya akan digunakan sebagai input utama dalam perhitungan nilai kinerja total *green warehouse* PT Atmaja Jaya pada tahap berikutnya. Rekapitulasi dari seluruh

perhitungan skor Snorm De Boer terhadap 17 indikator KPI pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya dapat dilihat pada tabel 4.29.

Tabel 4. 29 Rekapitulasi Nilai Normalisasi *Snorm de Boer*

Dimensi POA	Kode	Indikator KPI	Satuan	Sifat	Skor Snorm De Boer
Cost	C1	Biaya operasional proses finishing	Rp/Unit	<i>Lower is better</i>	73%
Cost	C2	Biaya tenaga kerja gudang	Rp/Bulan	<i>Lower is better</i>	75%
Cost	C3	Biaya energi operasional gudang	Rp/Bulan	<i>Lower is better</i>	89%
Time	T1	Ketepatan waktu pengiriman	%	<i>Higher is better</i>	88%
Time	T2	Waktu tunggu produk di gudang	Hari	<i>Lower is better</i>	60%
Time	T3	Waktu proses QC masuk	Jam/Batch	<i>Lower is better</i>	50%
Capacity	KP1	Kapasitas mesin finishing terpakai	%	<i>Higher is better</i>	82%
Capability	KB1	Tingkat lolos QC masuk	%	<i>Higher is better</i>	73%
Capability	KB2	Konsistensi kinerja vendor transportasi	%	<i>Higher is better</i>	90%
Capability	KB3	Tingkat akurasi stok gudang	%	<i>Higher is better</i>	100%
Productivity	P1	Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang	%	<i>Higher is better</i>	71%
Utility	UT1	Tingkat pemanfaatan peralatan finishing	%	<i>Higher is better</i>	80%
Utility	UT2	Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang	%	<i>Higher is better</i>	78%
Outcome	OC1	Akurasi jumlah produk yang dikirim	%	<i>Higher is better</i>	86%
Outcome	OC2	Persentase produk cacat saat pengiriman	%	<i>Lower is better</i>	80%
Outcome	OC3	Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	%	<i>Higher is better</i>	67%
Outcome	OC4	Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	%	<i>Higher is better</i>	71%

Berdasarkan tabel rekapitulasi di atas, dapat diketahui bahwa terdapat variasi performa yang cukup signifikan antar indikator KPI pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya. Indikator dengan skor normalisasi tertinggi adalah KB3 (Tingkat akurasi stok gudang) yang berhasil mencapai skor sempurna sebesar 100%, diikuti oleh KB2 (Konsistensi kinerja vendor

transportasi) sebesar 90% dan C3 (Biaya energi operasional gudang) sebesar 89%. Capaian tersebut mencerminkan bahwa aspek pengelolaan stok, keandalan vendor, dan efisiensi energi telah berjalan dengan sangat baik di gudang produk jadi PT Atmaja Jaya. Di sisi lain, indikator dengan skor normalisasi terendah adalah T3 (Waktu proses QC masuk) dengan skor 50%, diikuti oleh OC3 (Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman) sebesar 67% dan OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim) sebesar 71%, yang mengindikasikan bahwa ketiga indikator tersebut merupakan prioritas utama yang perlu mendapat perhatian dan perbaikan lebih lanjut. Nilai normalisasi dari 17 KPI ini selanjutnya akan dikalikan dengan bobot global masing-masing indikator untuk menghasilkan skor kinerja akhir gudang produk jadi PT Atmaja Jaya secara menyeluruh.

4. 2. 4 Perhitungan Nilai Kerja Total

Setelah seluruh nilai normalisasi Snorm De Boer dan bobot global AHP diperoleh, langkah terakhir dalam pengolahan data adalah menghitung nilai kinerja total *green warehouse* PT Atmaja Jaya. Perhitungan dilakukan dengan mengalikan skor Snorm De Boer setiap indikator KPI dengan bobot globalnya masing-masing, kemudian menjumlahkan seluruh hasil perkalian tersebut untuk menghasilkan satu nilai kinerja total yang merepresentasikan kondisi keseluruhan sistem pergudangan (Rizky Anggraini et al., 2024). Hasil perhitungan nilai kinerja total dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4. 30 Perhitungan Nilai Kerja Total

No	Dimensi POA	Weight Level 1	Indikator KPI	Weight Level 2	Global Weight	Snorm	Pengukuran Kinerja
1	Cost	0,122	Biaya operasional proses finishing	0,6080	0,0742	73	5,439
			Biaya tenaga kerja gudang	0,1199	0,0146	75	1,097
			Biaya energi operasional gudang	0,2721	0,0332	89	2,951
2	Time	0,062	Ketepatan waktu pengiriman	0,6711	0,0416	88	3,641
			Waktu tunggu produk di gudang	0,2435	0,0151	60	0,906
			Waktu proses QC masuk	0,0854	0,0053	50	0,265
3	Capacity	0,046	Kapasitas mesin finishing terpakai	1	0,046	82	3,764
4	Capability	0,212	Tingkat lolos QC masuk	0,2605	0,05523	73	4,016

No	Dimensi POA	Weight Level 1	Indikator KPI	Weight Level 2	Global Weight	Snorm	Pengukuran Kinerja
			Konsistensi kinerja vendor transportasi	0,1062	0,02251	90	2,025
			Tingkat akurasi stok gudang	0,6333	0,13427	100	13,427
5	Productivity	0,095	Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang	1	0,095	71	6,786
6	Utility	0,034	Tingkat pemanfaatan peralatan finishing	0,200	0,0068	80	0,544
			Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang	0,800	0,0272	78	2,116
7	Outcome	0,43	Akurasi jumlah produk yang dikirim	0,4905	0,2109	86	18,080
			Persentase produk cacat saat pengiriman	0,2885	0,1241	80	9,925
			Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	0,0528	0,0227	67	1,514
			Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	0,1681	0,0723	71	5,164
Total Pengukuran Kinerja							81,685

Berdasarkan Tabel 4.30, diperoleh nilai total kinerja *green warehouse* PT Atmaja Jaya sebesar 81,685. Mengacu pada Tabel 2.4 kondisi indikator kinerja yang dikemukakan oleh (Rumahorbo et al., 2021), nilai tersebut berada pada rentang 70–90 sehingga termasuk dalam kategori *Good Performance*. Perolehan nilai ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan sistem pergudangan PT Atmaja Jaya telah beroperasi dengan baik dan mampu memenuhi sebagian besar target kinerja yang telah ditetapkan, meskipun belum mencapai level *Excellent Performance* yang mensyaratkan nilai di atas 90. Terdapat beberapa indikator yang masih berada pada kategori kinerja *average* hingga *marginal*, khususnya T3 (Waktu proses QC masuk) dengan skor 50, OC3 (Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman) dengan skor 67, dan OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim) dengan skor 71, sehingga ketiga indikator tersebut menjadi prioritas utama yang perlu mendapat perhatian dan perbaikan lebih lanjut. Hasil pengukuran ini sekaligus menjawab rumusan masalah ketiga penelitian ini, yaitu menentukan nilai total kinerja *green warehouse* dan mengidentifikasi KPI yang perlu

ditingkatkan sebagai dasar rekomendasi perbaikan operasional gudang produk jadi PT Atmaja Jaya.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Identifikasi dan Analisis KPI

Langkah pertama dalam pengukuran kinerja pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya adalah melakukan identifikasi *Key Performance Indikator* (KPI) yang relevan berdasarkan tujuh dimensi *Performance of Activity* (POA). Proses identifikasi dilakukan melalui dua pendekatan yaitu studi literatur untuk menyusun kumpulan indikator potensial dan validasi terhadap penanggungjawab gudang produk jadi PT Atmaja Jaya guna memastikan kesesuaian terhadap apa yang terjadi di lapangan dan hasil studi literatur.

Melalui proses tersebut, ditetapkan 17 KPI yang valid dan mencakup seluruh tujuh dimensi POA, yaitu tiga KPI pada dimensi *Cost* (C1, C2, C3), tiga KPI pada dimensi *Time* (T1, T2, T3), satu KPI pada dimensi *Capacity* (KP1), tiga KPI pada dimensi *Capability* (KB1, KB2, KB3), satu KPI pada dimensi *Productivity* (P1), dua KPI pada dimensi *Utility* (UT1, UT2), dan empat KPI pada dimensi *Outcome* (OC1, OC2, OC3, OC4). Distribusi ini mencerminkan bahwa dimensi *Outcome* mendapat perhatian paling banyak secara indikator, selaras dengan posisinya sebagai dimensi berbobot tertinggi (0,430) dalam sistem pengukuran.

Proses validasi terhadap penanggungjawab gudang produk jadi dilakukan dengan mengacu pada tiga kriteria batasan, yaitu sejauh mana indikator mencerminkan kondisi riil operasional gudang, apakah data pendukungnya tersedia secara historis, serta kemampuan indikator dalam menangkap aspek efisiensi energi dan minimalisasi dampak lingkungan. aspek efisiensi energi dan lingkungan menjadi pembeda utama penelitian ini dibanding penelitian pengukuran kinerja gudang konvensional, karena indikator yang dipilih secara eksplisit harus mampu menangkap aspek efisiensi energi, pengendalian emisi, dan minimalisasi pemborosan. Hal ini sejalan dengan definisi *green warehouse* menurut (Bartolini et al., 2019) yang menekankan minimalisasi konsumsi energi dan emisi GHG sebagai inti dari konsep pergudangan hijau. Untuk menegaskan keterkaitan ketujuh belas KPI dengan prinsip keberlanjutan yang menjadi landasan *green warehouse*, setiap indikator selanjutnya diklasifikasikan ke dalam tiga pilar *Triple Bottom Line* (3P), yaitu *People*, *Profit*, dan *Planet*, sebagaimana disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Klasifikasi Tiga Pilar *Triple Bottom Line* (TBL) terhadap Indikator KPI

Kode	KPI	Klasifikasi Utama
C1	Biaya operasional finishing	<i>Profit</i>
C2	Biaya tenaga kerja gudang	<i>Profit</i>
C3	Biaya energi operasional gudang	<i>Profit</i>
T1	Ketepatan waktu pengiriman	<i>Profit</i>
T2	Waktu tunggu produk di gudang	<i>Profit</i>
T3	Waktu proses QC masuk	<i>Profit</i>
KP1	Kapasitas mesin finishing terpakai	<i>Planet</i>
KB1	Tingkat lolos QC masuk	<i>Planet</i>
KB2	Konsistensi vendor transportasi	<i>Profit</i>
KB3	Akurasi stok gudang	<i>Profit</i>
P1	Tingkat kehadiran tenaga kerja	<i>People</i>
UT1	Pemanfaatan peralatan finishing	<i>Planet</i>
UT2	Pemanfaatan jam operasional gudang	<i>Profit</i>
OC1	Akurasi jumlah produk dikirim	<i>Profit</i>
OC2	Persentase produk cacat saat pengiriman	<i>Planet</i>
OC3	Kelengkapan dokumen pengiriman	<i>Profit</i>
OC4	Ketepatan spesifikasi produk dikirim	<i>Profit</i>

Kesesuaian indikator yang terpilih juga dikuatkan oleh konteks industri *metal casting* PT Atmaja Jaya yang bersifat padat energi. Indikator seperti C3 (Biaya energi operasional gudang), KP1 (Kapasitas mesin finishing terpakai), dan UT1 (Tingkat pemanfaatan peralatan finishing) secara langsung mencerminkan karakteristik operasional industri pengecoran logam yang tidak ditemukan dalam penelitian *green warehouse* pada sektor lain seperti pupuk (Rizky Anggraini et al., 2024) atau pertanian (Md Mashud et al., 2021). Hal ini memperkuat posisi penelitian pada *literature gap* pengukuran kinerja *green warehouse* di industri metal casting Indonesia.

5.2 Analisis Pembobotan AHP dan Tingkat Kepentingan KPI

Pembobotan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dilakukan pada dua level. Level 1 mengukur bobot relatif antar tujuh dimensi POA, sedangkan Level 2 mengukur bobot relatif antar KPI di dalam masing-masing dimensi yang memiliki lebih dari satu indikator. Seluruh hasil pembobotan dinyatakan valid karena nilai *Consistency Ratio* (CR) pada semua level tidak melebihi ambang batas 0,1 yang disyaratkan dalam metode AHP (Saaty, 2009).

5.2.1 Analisis Bobot Level 1 (Antar Dimensi POA)

Hasil pembobotan Level 1 menunjukkan bahwa dimensi *Outcome* memperoleh bobot tertinggi sebesar 0,430, diikuti dimensi *Capability* sebesar 0,212, dan *Productivity* sebesar 0,095. Sebaliknya, dimensi *Utility* mencatat bobot terendah sebesar 0,034. Pola ini mencerminkan bahwa pakar perusahaan menempatkan hasil akhir yang diterima konsumen sebagai prioritas utama dalam kinerja gudang, sementara utilisasi sumber daya dianggap sebagai pendukung.

Pengaruh tingginya bobot dimensi *Outcome* (0,430) selaras dengan posisi strategis gudang produk jadi PT Atmaja Jaya sebagai titik akhir dalam rantai pasok sebelum produk diserahkan kepada konsumen. Dalam konteks industri *metal casting* yang menghasilkan komponen mesin dengan presisi tinggi, akurasi pengiriman dan kesesuaian spesifikasi produk menjadi faktor kritis yang berpengaruh langsung terhadap kepercayaan konsumen industrial. Temuan ini konsisten dengan penelitian (Chandra Tjoe et al., 2025) yang juga menempatkan indikator *outcome* sebagai kategori dengan pengaruh besar dalam sistem KPI *green warehouse*.

Bobot yang cukup tinggi pada dimensi *Capability* (0,212) mencerminkan kesadaran manajemen PT Atmaja Jaya terhadap pentingnya keandalan sistem internal gudang maupun keterlibatan pihak eksternal. Dalam operasional gudang *metal casting*, akurasi stok menjadi faktor yang sangat krusial mengingat produk besi cor memiliki bobot dan dimensi yang bervariasi antar jenisnya. Adapun vendor transportasi dilibatkan secara khusus pada pengiriman produk yang tidak bisa dijangkau oleh unit transportasi PT Atmaja Jaya, sehingga konsistensinya menjadi indikator penting meskipun tidak digunakan pada seluruh transaksi pengiriman. Hasil ini sejalan dengan rekomendasi (Torabizadeh et al., 2020) yang menekankan pentingnya dimensi *capability* dalam struktur *sustainable warehouse management system*.

Bobot terendah yang diperoleh dimensi *Utility* (0,034) bukan berarti dimensi tersebut tidak penting, melainkan menggambarkan kondisi yang relatif baik bahwa pemanfaatan peralatan dan jam operasional di gudang PT Atmaja Jaya sudah cukup stabil dari waktu ke waktu, sehingga pakar tidak memandangnya sebagai area yang paling memerlukan perhatian dibanding dimensi lain. Rendahnya bobot ini lebih tepat dibaca sebagai sinyal bahwa pemanfaatan peralatan dan jam operasional gudang PT Atmaja Jaya selama ini sudah berjalan dalam kondisi yang relatif stabil dan terkendali, sehingga pakar menilai fluktuasi pada dimensi ini tidak terlalu berdampak besar terhadap kinerja gudang secara

keseluruhan. Meski demikian, dalam bingkai green warehouse, dimensi Utility tetap menyimpan peran yang tidak bisa dikesampingkan peralatan yang dimanfaatkan secara optimal secara langsung berkontribusi pada penekanan konsumsi energi operasional gudang (Perotti & Colicchia, 2023).

5.2.2 Analisis Bobot Level 2 dan Bobot Global

Pada level 2, hasil pembobotan menunjukkan bahwa dalam setiap dimensi pakar cenderung memberikan bobot dominan pada satu atau dua indikator utama. Pada dimensi *Cost*, C1 (Biaya operasional proses finishing) mendapat bobot 0,608, jauh di atas C2 (0,120) dan C3 (0,272). Hal ini menunjukkan bahwa biaya *finishing* merupakan komponen biaya terbesar dan paling sensitif dalam operasional gudang *metal casting*, karena proses finishing mencakup pekerjaan permesinan akhir yang padat tenaga kerja dan energi.

Pada dimensi *Capability*, KB3 (Tingkat akurasi stok gudang) mendapat bobot tertinggi sebesar 0,633, jauh melampaui KB1 (0,261) dan KB2 (0,106). Temuan ini mengindikasikan bahwa pakar memandang akurasi pencatatan stok sebagai fondasi dari seluruh aktivitas *capability* gudang. Tanpa data stok yang akurat, proses pengambilan keputusan operasional seperti penjadwalan produksi, alokasi ruang simpan, dan koordinasi pengiriman akan terganggu secara sistemis. Kondisi ini konsisten dengan rekomendasi (Albab et al., 2023) yang menekankan pentingnya teknologi pencatatan stok seperti barcode atau RFID untuk meningkatkan akurasi gudang.

Secara *global weight*, tiga KPI dengan bobot tertinggi adalah OC1 (0,2109), KB3 (0,1343), dan OC2 (0,1241). Ketiga KPI ini berasal dari dimensi Outcome dan Capability yang memiliki bobot level 1 tertinggi. Konsentrasi bobot global pada ketiga KPI tersebut memiliki tanda penting, yaitu perbaikan pada ketiga indikator ini akan memberikan dampak terbesar terhadap peningkatan nilai kinerja total *green warehouse* PT Atmaja Jaya dibanding perbaikan pada indikator lainnya.

5.3 Analisis Normalisasi Snorm De Boer

5.3.1 Analisis Dimensi *Cost*

Hasil normalisasi Snorm De Boer pada dimensi *Cost* menunjukkan performa yang baik dengan seluruh indikator berada pada kategori *Good Performance* hingga *Excellent Performance*. Indikator C3 (Biaya energi operasional gudang) mencatat skor tertinggi dengan skor sebesar 89, yang artinya skor tersebut berada di ambang *Excellent*

Performance. Capaian tersebut memiliki nilai yang cukup tinggi terlebih pada konteks *green warehouse*, karena efisiensi biaya energi merupakan salah satu dari tiga pilar utama pengolahan dalam teori *green warehouse*. Menurut Muttaqin et al., (2022), efisiensi energi termasuk dalam tiga kategori pengelolaan *green warehouse* yaitu pengurangan konsumsi energi, pengendalian biaya energi, dan penekanan emisisi GHG.

Indikator C1 (Biaya operasional proses finishing) memperoleh skor 73 dan C2 (Biaya tenaga kerja gudang) sebesar 75. Kedua skor ini berada pada kategori *Good Performance* walaupun masih jauh dari nilai *Smax* historis, yang artinya masih ada potensi efisiensi yang belum dimaksimalkan. Khususnya pada C1, biaya proses finishing yang relatif tinggi kemungkinan dipengaruhi oleh metode kerja manual yang masih mendominasi di area finishing, sebagaimana diidentifikasi pada pengamatan awal penelitian. Digitalisasi proses finishing sebagaimana yang direkomendasikan Endra et al., (2025) berpotensi menurunkan biaya operasional secara signifikan.

Secara keseluruhan, dimensi *Cost* mencerminkan bahwa PT Atmaja Jaya sudah mampu mengelola anggaran operasional gudang dengan cukup efisien, khususnya pada aspek energi yang menjadi inti dari konsep *green warehouse*. Namun optimalisasi lebih lanjut pada biaya tenaga kerja dan biaya finishing masih diperlukan untuk mendorong dimensi ini menuju level *Excellent Performance*.

5.3.2 Analisis Dimensi *Time*

Hasil normalisasi dimensi *Time* menunjukkan variasi kinerja yang paling jauh antar indikatornya dibanding dimensi lain, dengan rentang skor 50 hingga 88. Indikator T1 (Ketepatan waktu pengiriman) memperoleh skor 88, hampir mencapai *Excellent Performance* yang berarti jadwal pengiriman produk kepada konsumen sudah berjalan dengan sangat baik. Capaian T1 terhitung penting secara strategis karena KPI dengan bobot level 2 tertinggi dalam dimensi *Time* (0,671) yang memiliki arti performa positif T1 memberikan kontribusi terbesar terhadap skor dimensi *Time* secara keseluruhan.

Sebaliknya, indikator T3 (Waktu proses QC masuk) mendapat skor terendah sebesar 50 yang berada di ambang *Average Performance*. Skor tersebut mengindikasikan bahwa durasi inspeksi kualitas produk yang masuk ke gudang masih berada di tengah-tengah rentang historis dan belum beranjak mendekati nilai optimal. Efisiensi proses QC yang rendah memiliki potensi menciptakan *bottleneck* di area gudang produk jadi, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi ketepatan waktu pengiriman jika tidak segera diatasi.

Kondisi yang terjadi ini perlu ditangani melalui pendekatan sistemis seperti standardisasi prosedur inspeksi atau melakukan adaptasi terhadap alat bantu QC yang lebih efisien.

Indikator terakhir yaitu T2 (Waktu tunggu produk di gudang) memperoleh skor 60 dalam kategori *Average Performance*, mengindikasikan bahwa perputaran produk jadi di dalam gudang masih terhitung baik. Waktu tunggu yang terlalu panjang dalam gudang *metal casting* dapat meningkatkan risiko kerusakan produk serta mengikat modal kerja perusahaan. Perbaikan pada aspek ini dapat dilakukan melalui optimalisasi sistem penjadwalan pengiriman yang lebih akurat terhadap status stok produk jadi.

5.3.3 Analisis Dimensi *Capacity*

Dimensi *Capacity* diwakili oleh satu indikator tunggal KP1 (Kapasitas mesin finishing terpakai) dengan skor normalisasi sebesar 82, berada pada kategori *Good Performance*. Nilai aktual penggunaan kapasitas sebesar 74% dari kapasitas maksimal 76% menunjukkan bahwa mesin *finishing* beroperasi hampir penuh sesuai rencana produksi harian, dengan sisa kapasitas menganggur yang sangat kecil.

Dalam konteks *green warehouse*, utilisasi kapasitas mesin yang tinggi dan terkontrol merupakan indikasi efisiensi yang baik karena mencegah pemborosan energi akibat mesin yang beroperasi di bawah beban optimal. Kondisi ini relevan dengan temuan Stefana et al., (2020) dalam kajiannya tentang praktik manajemen energi pada industri *foundingry* yang menyebutkan bahwa optimalisasi beban mesin merupakan salah satu praktik paling efektif dalam menekan konsumsi energi spesifik. Manajemen disarankan untuk terus memantau perencanaan kapasitas mesin *finishing* guna menghindari kondisi *overload* yang dapat meningkatkan konsumsi energi secara tidak proporsional

5.3.4 Analisis Dimensi *Capability*

Dimensi *Capability* menunjukkan variasi kinerja yang menarik yaitu dua indikator mencapai performa yang cukup tinggi, KB2 sebesar 90 dan KB3 sebesar 100 sementara satu indikator berada pada kategori *good performance* yaitu indikator KB1 sebesar 73. Skor sempurna pada KB3 (Tingkat akurasi stok gudang = 100) mengindikasikan bahwa pada periode pengamatan, sistem pencatatan stok gudang PT Atmaja Jaya beroperasi pada level historis terbaiknya. Capaian ini sangat signifikan mengingat KB3 memiliki bobot global tertinggi ketiga sebesar 0,1343, sehingga skor sempurna ini berkontribusi besar pada nilai kinerja total.

KB2 (Konsistensi kinerja vendor transportasi) dengan skor 90 yang mendekati *Excellent Performance* menunjukkan bahwa mitra transportasi eksternal mampu memenuhi jadwal pengiriman secara konsisten. Meskipun vendor transportasi di PT Atmaja Jaya hanya dilibatkan pada pengiriman produk ke luar pulau, konsistensi kinerjanya tetap menjadi indikator yang dipandang signifikan oleh pakar perusahaan. Hal ini dapat dipahami mengingat pengiriman lintas pulau menuntut koordinasi yang lebih kompleks, mulai dari kesesuaian armada dengan bobot dan dimensi produk besi cor, hingga ketepatan jadwal yang berpengaruh langsung terhadap komitmen pengiriman kepada konsumen di luar wilayah Jawa. Skor yang tinggi pada KB2 turut berkontribusi pada capaian T1 (Ketepatan waktu pengiriman) yang juga berada pada level yang baik.

Indikator KB1 (Tingkat lolos QC masuk) dengan skor 73 menjadi satu-satunya indikator pada dimensi *Capability* yang belum mencapai level optimal. Skor ini menandakan bahwa masih ada proporsi produk yang gagal inspeksi kualitas saat memasuki gudang, yang mengharuskan penanganan tambahan berupa pengerjaan ulang atau penolakan produk. Dalam perspektif *green warehouse*, produk yang gagal QC merupakan bentuk pemborosan yang tidak hanya meningkatkan biaya operasional tetapi juga berpotensi meningkatkan konsumsi energi akibat proses pengerjaan ulang. Peningkatan standar kualitas di lini produksi hulu menjadi rekomendasi utama untuk memperbaiki indikator ini.

5.3.5 Analisis Dimensi *Productivity*

Dimensi *Productivity* hanya diwakili oleh satu indikator, yaitu P1 (Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang) dengan skor normalisasi sebesar 71 yang masuk dalam kategori *Good Performance*. Nilai aktual kehadiran tenaga kerja sebesar 93% sebenarnya sudah cukup baik, namun jika dibandingkan dengan nilai historis terbaiknya yang mencapai 95%, masih terdapat selisih sebesar 2% yang menunjukkan bahwa konsistensi kehadiran tenaga kerja gudang masih bisa ditingkatkan lebih lanjut.

Dalam konteks *green warehouse*, produktivitas tenaga kerja yang optimal berperan ganda yaitu di satu sisi meningkatkan efisiensi operasional, dan di sisi lain mengurangi kebutuhan lembur yang berimplikasi pada peningkatan konsumsi energi gudang di luar jam operasional normal. Penguatan sistem manajemen SDM melalui program insentif kehadiran, evaluasi faktor penyebab absensi, dan peningkatan kondisi ergonomi

lingkungan kerja gudang dapat menjadi langkah konkret untuk meningkatkan konsistensi kehadiran tenaga kerja. Investasi pada kondisi kerja yang lebih baik juga sejalan dengan aspek *People* dalam kerangka *Triple Bottom Line* (TBL) yang menjadi landasan konsep *green warehouse* dalam penelitian ini.

5.3.6 Analisis Dimensi *Utility*

Dimensi *Utility* menampilkan performa yang relatif seragam antara dua indikatornya: UT1 (Tingkat pemanfaatan peralatan finishing) dengan skor 80 dan UT2 (Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang) dengan skor 78. Keduanya berada pada rentang *Good Performance*, menunjukkan bahwa sumber daya fisik maupun waktu kerja gudang sudah dikelola dengan cukup proporsional.

Indikator UT1 yang lebih tinggi dibandingkan dengan indikator UT2 menandakan bahwa peralatan *finishing* digunakan lebih sering dibandingkan dengan alokasi jam operasional gudang secara keseluruhan. Hal tersebut dapat diartikan sebagai tanda bahwa stasiun kerja *finishing* merupakan area produksi yang paling aktif dalam lingkup gudang produk jadi. Melalui perspektif *green warehouse*, menjaga penggunaan peralatan pada level yang tinggi dan stabil merupakan praktik efisiensi energi karena mengurangi risiko kerusakan peralatan.

5.3.7 Analisis Dimensi *Outcome*

Dimensi *Outcome* sebagai dimensi berbobot tertinggi (0,430) menunjukkan variasi performa yang cukup berarti antar keempat indikatornya. OC1 (Akurasi jumlah produk yang dikirim) dengan skor sebesar 86 dan OC2 (Persentase produk cacat saat pengiriman) dengan skor sebesar 80 berada pada kategori *Good Performance*, sementara OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk) dengan skor sebesar 71 dan OC3 (Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman) dengan skor sebesar 67 menunjukkan performa yang lebih rendah.

Skor OC3 yang terendah sebesar 67 pada dimensi dengan bobot terbesar merupakan temuan yang paling penting dalam penelitian ini. Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman yang masih berapa pada kondisi yang belum optimal memiliki arti bahwa terdapat kelemahan pada sistem administrasi gudang, yang dalam industri *metal casting* dapat berdampak serius karena pengiriman komponen mesin ke pelanggan industrial biasanya disertai persyaratan dokumentasi yang ketat seperti sertifikat material, laporan

inspeksi, dan *packing list*. Kelemahan administrasi ini juga berpotensi meningkatkan risiko ketidakpatuhan regulasi dan mempersulit proses audit keberlanjutan perusahaan.

OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk) dengan skor sebesar 71 yang berada di *Good Performance* mengindikasikan bahwa masih terdapat ketidaksesuaian antara spesifikasi produk yang dikirimkan dengan permintaan konsumen pada sebagian kasus.

Dalam konteks *metal casting*, ketidaktepatan spesifikasi bisa bermakna kesalahan dimensi, komposisi material, atau kondisi permukaan produk yang tidak memenuhi standar. Perbaikan pada aspek ini memerlukan koordinasi yang lebih erat antara tim QC, tim produksi, dan tim gudang untuk memastikan verifikasi spesifikasi dilakukan sebelum produk masuk ke tahap pengiriman.

Meski kedua indikator tersebut masih memerlukan perbaikan, tidak semua indikator pada dimensi *Outcome* menunjukkan performa yang mengecewakan. Indikator OC2 (Persentase produk cacat saat pengiriman) justru mencatatkan skor yang cukup baik yaitu sebesar 80 dan masuk dalam kategori *Good Performance*. Skor ini mencerminkan bahwa tingkat kecacatan produk yang sampai ke tangan konsumen sudah berhasil ditekan mendekati nilai historis terbaiknya. Dalam industri metal casting, cacat produk saat pengiriman bisa disebabkan oleh berbagai faktor mulai dari benturan selama proses handling hingga pengemasan yang kurang memadai untuk menahan bobot produk besi cor. Meskipun demikian, pengawasan pada proses pengemasan dan handling tetap perlu diperketat secara berkala mengingat karakteristik produk besi cor yang cukup rentan terhadap kerusakan fisik selama proses distribusi berlangsung.

Capaian terbaik diraih oleh indikator OC1 (Akurasi jumlah produk yang dikirim) dengan skor sebesar 86 yang juga masuk dalam kategori *Good Performance*. Hasil ini menunjukkan bahwa proses penghitungan dan pengecekan jumlah produk sebelum pengiriman sudah berjalan dengan baik di gudang produk jadi PT Atmaja Jaya, yang tidak lepas dari peran sistem pencatatan stok pada indikator KB3 yang juga mencatatkan performa sangat baik. Mengingat OC1 memiliki bobot global tertinggi dalam seluruh sistem pengukuran sebesar 0,2109, mempertahankan bahkan meningkatkan capaian indikator ini perlu terus menjadi prioritas utama karena dampaknya paling besar terhadap nilai kinerja total green warehouse PT Atmaja Jaya secara keseluruhan.

5.4 Analisis Nilai Kinerja Total

Berdasarkan hasil perkalian skor normalisasi Snorm De Boer dengan bobot global AHP pada setiap KPI, diperoleh nilai total kinerja gudang produk jadi PT Atmaja Jaya sebesar 81,685. Berdasarkan Tabel 2.4 yang mengacu pada Rumahorbo et al., (2021), nilai ini berada pada rentang 70–90 yang termasuk dalam kategori *Good Performance*. Nilai kinerja total 81,685 memiliki makna yang lebih dari sekadar label kategori. Angka ini mencerminkan bahwa secara agregat, sistem pergudangan PT Atmaja Jaya telah beroperasi pada level yang baik dan mampu memenuhi sebagian besar target kinerja yang ditetapkan. Namun, rentang jarang yang terpaut cukup kecil dari kategori *Excellent Performance* (90) mengindikasikan masih ada ruang peningkatan, terutama pada indikator-indikator yang bobotnya besar namun skornya belum optimal.

Kontributor terbesar pada nilai kinerja total berasal dari OC1 (18,080) dan KB3 (13,427) yang bersama-sama menyumbang sekitar 38,6% dari total nilai 81,685. Hal ini mengkonfirmasi bahwa kedua KPI tersebut bukan hanya penting secara strategis tetapi juga merupakan kunci dari performa keseluruhan sistem gudang. Sebaliknya, T3 (0,265) dan UT1 (0,544) memberikan kontribusi numerik terkecil akibat kombinasi bobot global yang rendah dan skor normalisasi yang belum optimal.

Apabila dibandingkan dengan penelitian sejenis, nilai kinerja total sebesar 81,685 yang diperoleh PT Atmaja Jaya sedikit lebih rendah dibanding hasil penelitian Rizky Anggraini et al., (2024) yang mencatatkan nilai kinerja total sebesar 85,918 pada industri pupuk. Perbedaan ini sebenarnya cukup wajar mengingat karakteristik operasional industri metal casting jauh lebih kompleks dibanding industri pupuk, mulai dari adanya proses finishing yang dilakukan langsung di dalam lingkup gudang, siklus produk yang lebih panjang, hingga tuntutan spesifikasi produk yang lebih ketat dari pelanggan industrial. Dengan kata lain, nilai 81,685 yang diraih PT Atmaja Jaya dalam kondisi operasional yang lebih menantang tersebut justru semakin mempertegas bahwa penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan literatur yang selama ini belum menyentuh pengukuran kinerja *green warehouse* secara spesifik pada industri metal casting.

5.5 Analisis KPI Prioritas dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada seluruh dimensi POA, terdapat enam KPI yang perlu mendapat perhatian lebih untuk diperbaiki. Penentuan prioritas didasarkan pada pertimbangan KPI dengan skor normalisasi rendah. Seluruh rekomendasi perbaikan yang

diajukan dikaitkan secara eksplisit dengan tiga pilar *Triple Bottom Line* (TBL) sebagai landasan konsep *green warehouse* dalam penelitian ini, yaitu *People*, *Profit*, dan *Planet*.

1. Indikator T3 (waktu proses QC masuk).

Indikator T3 dengan skor normalisasi terendah sebesar 50 menjadi prioritas perbaikan utama. Skor ini menandakan bahwa efisiensi waktu inspeksi kualitas produk masuk ke gudang masih berada tepat di tengah rentang historis dan belum menunjukkan kemajuan menuju nilai optimal. Kondisi ini berpotensi menciptakan *bottleneck* di area gudang yang pada akhirnya mengganggu ketepatan waktu pengiriman jika tidak segera diatasi. Perbaikan yang direkomendasikan meliputi penyusunan SOP inspeksi QC masuk yang terstandarisasi, dilengkapi *checklist* per *batch* dan penetapan durasi maksimal berdasarkan *time-study*, serta pertimbangan penggunaan alat ukur semi-otomatis. Dari aspek TBL, perbaikan T3 berkontribusi pada pilar *Profit* melalui efisiensi waktu yang mengurangi biaya lembur, pada pilar *Planet* melalui pengurangan konsumsi energi penerangan per unit produk yang lebih cepat diproses, serta pada pilar *People* melalui standar kerja yang lebih jelas bagi operator inspeksi.

2. Indikator OC3 (tingkat kelengkapan dokumen pengiriman).

Indikator OC3 dengan skor 67 merupakan temuan kritis kedua. Dalam industri *metal casting*, pengiriman komponen mesin ke pelanggan industrial biasanya disertai persyaratan dokumentasi ketat seperti sertifikat material, laporan inspeksi, dan packing list. Kelengkapan dokumen yang belum optimal tidak hanya meningkatkan risiko ketidakpatuhan regulasi, tetapi juga berpotensi memperlambat proses pembayaran dari pelanggan. Rekomendasi utama adalah implementasi checklist digital yang terintegrasi dengan sistem pencatatan stok, sehingga setiap pengiriman secara otomatis disertai konfirmasi kelengkapan berkas sebelum surat jalan diterbitkan. Aspek TBL yang tercakup *Profit* melalui pencegahan keterlambatan pembayaran, *Planet* melalui pengurangan konsumsi kertas via administrasi digital, dan *People* melalui beban kerja administrasi yang lebih terstruktur.

3. Indikator OC4 (tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim).

Indikator OC4 dengan skor 71 sebagai hasil normalisasi *snorm de boer*. Ketidaktepatan spesifikasi dalam konteks *metal casting* dapat bermakna kesalahan dimensi, komposisi material, atau kondisi permukaan produk, yang semuanya berimplikasi pada biaya pengembalian dan pengerjaan ulang. Rekomendasi yang diajukan adalah penerapan SOP

verifikasi spesifikasi produk dua tahap (QC dan kepala gudang) sebelum pemuatan, serta pemasangan product tag pada setiap produk yang memuat kode spesifikasi dan hasil QC akhir. Dari aspek TBL, *Profit* melalui penghematan biaya rework, *Planet* melalui eliminasi konsumsi energi untuk proses pengerjaan ulang yang berkontribusi pada penekanan GHG, dan *People* melalui peningkatan koordinasi lintas fungsi (QC, produksi, gudang).

4. Indikator KB1 (tingkat lolos QC masuk).

Indikator KB1 menjadi satu-satunya indikator pada dimensi Capability yang belum mencapai level optimal dengan hasil normalisasi sebesar 73. Melalui perspektif *green warehouse*, produk yang gagal QC merupakan bentuk pemborosan yang tidak hanya meningkatkan biaya operasional tetapi juga berpotensi meningkatkan konsumsi energi akibat proses pengerjaan ulang atau penolakan produk. Perbaikan yang direkomendasikan adalah peningkatan standar inspeksi in-process di lini produksi hulu dan pembuatan laporan bulanan tingkat lolos QC per jenis produk untuk identifikasi produk yang paling sering gagal. Berdasarkan aspek TBL, perbaikan melalui aspek *Profit* melakukan pengurangan biaya scrap dan rework, *Planet* melalui pengurangan konsumsi energi dan emisi dari proses pengecoran ulang (langsung relevan dengan pilar pengendalian GHG), dan *People* melalui standar kerja yang lebih jelas bagi operator produksi.

5. Indikator P1 (tingkat kehadiran tenaga kerja gudang).

Indikator P1 memperoleh skor normalisasi sebesar 71 yang mencerminkan tingkat kehadiran aktual tenaga kerja gudang sebesar 93%, sudah di atas nilai historis minimal (88%), namun masih terdapat selisih 2% dari nilai historis terbaik (95%). Dalam konteks *green warehouse*, konsistensi kehadiran tenaga kerja berperan ganda: meningkatkan efisiensi operasional sekaligus mengurangi kebutuhan lembur yang berimplikasi pada peningkatan konsumsi energi gudang di luar jam normal. Rekomendasi yang diajukan meliputi program insentif kehadiran dengan besaran terukur, survei kepuasan kerja semi-tahunan, dan perbaikan kondisi ergonomi gudang (pencahayaan, sirkulasi udara, jalur keselamatan). Melalui perspektif TBL, rekomendasi perbaikan mencakup *People* sebagai pilar utama melalui peningkatan kesejahteraan dan kondisi kerja, *Profit* melalui eliminasi biaya lembur, dan *Planet* melalui pengurangan konsumsi energi gudang di luar jam operasional normal.

6. Indikator T2 (waktu tunggu produk di gudang).

Indikator T2 memperoleh skor normalisasi sebesar 60 yang menunjukkan bahwa perputaran produk jadi di gudang masih berada pada level moderat, dengan rata-rata waktu tunggu aktual sebesar 4,5 hari dari rentang historis 3,5 hingga 6 hari. Waktu tunggu yang terlalu panjang dalam gudang *metal casting* dapat meningkatkan risiko kerusakan fisik produk besi cor sekaligus mengikat modal kerja perusahaan. Selain itu, durasi produk yang lebih lama di gudang secara langsung meningkatkan total konsumsi energi per unit produk. Perbaikan yang direkomendasikan adalah optimalisasi *delivery scheduling* dengan batas maksimal waktu tunggu 4 hari yang dipantau harian, koordinasi mingguan antara tim penjualan dan gudang, serta penerapan sistem FIFO secara ketat. Dari perspektif TBL, percepatan perputaran produk secara langsung mengurangi risiko kerusakan fisik besi cor selama penyimpanan sekaligus membebaskan modal kerja yang sebelumnya tertahan di gudang (*Profit*). Di sisi lingkungan, produk yang lebih cepat dikeluarkan dari gudang berarti lebih sedikit energi yang dikonsumsi untuk penerangan dan operasional fasilitas per unit produk (*Planet*). Sementara itu, jadwal pengiriman yang lebih terencana memberikan kepastian kerja bagi tenaga gudang dan mengurangi tekanan akibat pengiriman mendadak (*People*).

Tabel 5. 2 KPI Prioritas dan Rekomendasi Perbaikan

Kode	Indikator KPI	Skor Snorm	Kategori	Rekomendasi Perbaikan	Aspek TBL
T3	Waktu proses QC masuk	50	<i>Average</i>	Penyusunan SOP inspeksi QC masuk terstandarisasi dengan checklist per batch, penetapan durasi maksimal berbasis time-study, dan pertimbangan alat ukur semi-otomatis	<i>Profit</i> : efisiensi biaya lembur; <i>Planet</i> : hemat energi per unit; <i>People</i> : standar kerja operator
OC3	Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	67	<i>Average</i>	Implementasi checklist digital terintegrasi dengan sistem pencatatan stok sebagai syarat penerbitan surat jalan	<i>Profit</i> : cegah keterlambatan pembayaran; <i>Planet</i> : administrasi paperless; <i>People</i> : beban kerja lebih terstruktur
OC4	Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	71	<i>Good (bawah)</i>	Penerapan SOP verifikasi spesifikasi dua tahap (QC dan kepala gudang) sebelum pemuatan, dilengkapi product tag pada setiap produk	<i>Profit</i> : hemat biaya rework; <i>Planet</i> : eliminasi energi pengerjaan ulang; <i>People</i> : koordinasi lintas fungsi
KB1	Tingkat lolos QC masuk	73	<i>Good (bawah)</i>	Peningkatan standar inspeksi in-process di lini produksi hulu dan pembuatan laporan bulanan tingkat lolos QC per jenis produk	<i>Profit</i> : kurangi biaya scrap; <i>Planet</i> : tekan emisi GHG dari pengecoran

Kode	Indikator KPI	Skor Snorm	Kategori	Rekomendasi Perbaikan	Aspek TBL
					ulang; <i>People</i> : standar kerja produksi
P1	Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang	71	<i>Good (bawah)</i>	Program insentif kehadiran terukur, survei kepuasan kerja semi-tahunan, dan perbaikan ergonomi gudang (pencahayaannya, sirkulasi udara, jalur keselamatan)	<i>Profit</i> : eliminasi biaya lembur; <i>Planet</i> : hemat energi di luar jam normal; <i>People</i> : kesejahteraan dan kondisi kerja
T2	Waktu tunggu produk di gudang	60	<i>Average</i>	Optimalisasi delivery scheduling dengan batas maksimal 4 hari dipantau harian, koordinasi mingguan tim penjualan–gudang, dan penerapan sistem FIFO ketat	<i>Profit</i> : percepat perputaran modal; <i>Planet</i> : hemat energi per unit produk; <i>People</i> : kepastian jadwal kerja

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengukuran kinerja green warehouse pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya menggunakan integrasi model Performance of Activity (POA), metode Analytical Hierarchy Process (AHP), dan normalisasi Snorm De Boer, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi 17 *Key Performance Indicator* (KPI) yang valid untuk mengukur kinerja *green warehouse* pada gudang produk jadi PT Atmaja Jaya. KPI tersebut mencakup seluruh tujuh dimensi model POA, yaitu *Cost* (C1, C2, C3), *Time* (T1, T2, T3), *Capacity* (KP1), *Capability* (KB1, KB2, KB3), *Productivity* (P1), *Utility* (UT1, UT2), dan *Outcome* (OC1, OC2, OC3, OC4). Seluruh 17 KPI terpilih kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga pilar *Triple Bottom Line* (TBL), dengan 10 KPI berorientasi pada pilar *Profit*, 4 KPI pada pilar *Planet*, dan 1 KPI pada pilar *People*, menegaskan bahwa sistem pengukuran yang dirancang mencerminkan ketiga dimensi keberlanjutan sekaligus.
2. Hasil pembobotan menggunakan metode AHP menunjukkan bahwa dimensi Outcome memperoleh bobot level 1 tertinggi sebesar 0,430, diikuti oleh Capability sebesar 0,212 dan Productivity sebesar 0,095, mencerminkan prioritas pakar perusahaan yang menempatkan hasil akhir pengiriman dan keandalan operasional sebagai dimensi paling menentukan kinerja gudang. Pada level 2, KPI KB3 (Tingkat akurasi stok gudang) mendapatkan bobot tertinggi dalam dimensinya sebesar 0,633, sementara secara bobot global, tiga KPI terpenting adalah OC1 (0,2109), KB3 (0,1343), dan OC2 (0,1241). Seluruh hasil pembobotan dinyatakan konsisten karena nilai Consistency Ratio (CR) pada semua level tidak melebihi ambang batas 0,1. Hasil normalisasi menggunakan Snorm De Boer menunjukkan variasi kinerja yang cukup berarti antar indikator. Tiga KPI dengan skor tertinggi adalah KB3 (100), KB2 (90), dan C3 (89). Skor sempurna pada KB3 mencerminkan bahwa akurasi stok gudang PT Atmaja Jaya telah mencapai standar ideal, sementara KB2 menunjukkan tingkat keandalan vendor yang sangat baik dalam mendukung kelancaran operasional gudang. Adapun C3 mengindikasikan bahwa efisiensi penggunaan energi di gudang telah berjalan pada level yang tinggi. Sebaliknya, tiga KPI dengan skor terendah adalah T3 (50), OC3 (67), dan OC4 (71), yang menjadi area dengan kebutuhan perbaikan paling mendesak.

3. Nilai total kinerja *green warehouse* PT Atmaja Jaya adalah sebesar 81,685, yang masuk dalam kategori *Good Performance*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pergudangan PT Atmaja Jaya sudah berjalan dengan baik dan mampu memenuhi sebagian besar target kinerja yang ditetapkan, sekaligus menjawab urgensi latar belakang bahwa kinerja gudang yang sebelumnya belum pernah diukur secara terstruktur kini terbukti berada pada level solid namun masih memiliki ruang untuk ditingkatkan menuju *Excellent Performance* (di atas 90). KPI yang menjadi prioritas perbaikan, yaitu T3 (Waktu proses QC masuk) dengan skor 50, OC3 (Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman) dengan skor 67, OC4 (Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim) dengan skor 71, KB1 (Tingkat lolos QC masuk) dengan skor 73, P1 (Tingkat kehadiran tenaga kerja gudang) dengan skor 71, dan T2 (Waktu tunggu produk di gudang) dengan skor 60, yang seluruh rekomendasinya dikaitkan secara eksplisit dengan tiga pilar *Triple Bottom Line* yaitu *People*, *Profit*, dan *Planet*.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah saran yang ditujukan kepada PT Atmaja Jaya sebagai objek penelitian dan dunia akademik sebagai pengguna hasil penelitian.

1. Bagi PT Atmaja Jaya

PT Atmaja Jaya disarankan untuk memperbaiki prosedur inspeksi QC masuk dengan menyusun alur kerja yang lebih terstruktur dan seragam antar operator guna mengatasi rendahnya skor T3 yang menjadi temuan paling kritis dalam penelitian ini. Selain itu, sistem administrasi dokumen pengiriman juga perlu dibenahi agar kelengkapan dokumen seperti sertifikat material, laporan inspeksi, dan *packing list* dapat terpenuhi secara konsisten pada setiap transaksi pengiriman. Dari sisi sumber daya manusia, manajemen sebaiknya mulai mempertimbangkan penerapan program insentif kehadiran dan melakukan evaluasi kondisi lingkungan kerja gudang secara berkala agar konsistensi kehadiran tenaga kerja dapat lebih terjaga. Selanjutnya, perusahaan juga disarankan menetapkan target nilai kinerja *green warehouse* sebesar 85–88 pada tahun pertama implementasi perbaikan, dengan target jangka panjang mencapai level *Excellent Performance* di atas 90 setelah seluruh perbaikan berjalan stabil.

2. Bagi Penelitian Selanjutnya

Bagi penelitian selanjutnya, cakupan penelitian sebaiknya diperluas dengan melibatkan beberapa perusahaan *metal casting* di sentra industri Ceper, Klaten agar hasil pengukuran

dapat dijadikan acuan *benchmarking* antar perusahaan. Selain itu, penelitian mendatang disarankan untuk memasukkan indikator emisi GHG secara kuantitatif sebagai KPI tersendiri agar dimensi *green warehouse* dapat diukur secara lebih menyeluruh. Aspek sosial seperti kepuasan tenaga kerja dan kondisi keselamatan kerja juga perlu dipertimbangkan sebagai indikator tambahan sehingga pengukuran kinerja *green warehouse* yang dihasilkan dapat benar-benar mencerminkan ketiga pilar *Triple Bottom Line*. Terakhir, penelitian lanjutan sebaiknya dilakukan secara berkala dalam rentang waktu yang lebih panjang agar tren kinerja *green warehouse* setelah implementasi perbaikan dapat dievaluasi secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Agyabeng-Mensah, Y., Ahenkorah, E., Afum, E., Dacosta, E., & Tian, Z. (2020). Green warehousing, logistics optimization, social values and ethics and economic performance: the role of supply chain sustainability. *The International Journal of Logistics Management*, 31(3), 549–574. <https://doi.org/10.1108/IJLM-10-2019-0275>
- Albab, G. I. S. U., Supriyadi, S., Nalhadi, A., Shofa, M. J., & Maharani, A. (2023). Risk Identification Activities Warehouse using Fuzzy AHP and Fuzzy FMEA Method. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(3), 278. <https://doi.org/10.22441/ijiem.v4i3.20516>
- Ardianti, Y., & Amalia, N. (2022). Kurikulum Merdeka: Pemaknaan Merdeka dalam Perencanaan Pembelajaran di Sekolah Dasar. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pendidikan*, 6(3), 399–407. <https://doi.org/10.23887/jppp.v6i3.55749>
- Bartolini, M., Bottani, E., & Grosse, E. H. (2019). Green warehousing: Systematic literature review and bibliometric analysis. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 226, pp. 242–258). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.055>
- Chandra Tjoe, J., Kosasih, W., & Tjhia, A. (2025). *Perancangan dan Pengukuran Key Performance Indicators (KPIs) dengan Konsep Green Supply Chain Management Studi Kasus: Fulfillment Warehouse*. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmti.v3i3.33042>
- Depken, D., & Zeman, C. (2018). Small business challenges and the triple bottom line, TBL: Needs assessment in a Midwest State, U.S.A. *Technological Forecasting and Social Change*, 135, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.032>
- Dobers, K., Perotti, S., Wilmsmeier, G., Mauer, G., Jarmer, J.-P., Spaggiari, L., Hering, M., Romano, S., & Skalski, M. (2023). Sustainable logistics hubs: greenhouse gas emissions as one sustainability key performance indicator. *Transportation Research Procedia*, 72, 1153–1160. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.572>
- Endra, E., Hidayat, A. N., & Widya, A. R. (2025). Optimalisasi Warehouse Management System Melalui Aplikasi Mobile Scanner Untuk Mendukung Penerapan Green Industry di PT XYZ. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, 5(2), 137–144. <https://doi.org/10.51903/juritek.v5i2.3957>
- Hayari, N. (2023). ANALISIS MINIMALISASI LIMBAH PADAT DOMESTIK DENGAN PENERAPAN PROGRAM GREEN WAREHOUSE DAN OFFICE. *JURNAL TECHLINK*, 7(01), 12–21. <https://doi.org/10.59134/jtnk.v7i01.317>
- Ishizaka, A., Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., & Naim, I. (2022). Sustainable warehouse evaluation with AHPSort traffic light visualisation and post-optimal analysis method. *Journal of the Operational Research Society*, 73(3), 558–575. <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1848361>
- Iskandar, Y., & Sudiar, M. (2022, September 12). *Evaluation of Green Warehouse Performance Indicators Using Analytical Hierarchy Process and Objective Matrix (Case Study: PLN Cilegon)*. <https://doi.org/10.4108/eai.31-3-2022.2320958>
- Liu, L., Zhang, S., Zhang, H., Zhang, Z., & Liu, Y. (2024). Optimal scheduling study of green warehousing microgrid based on improved sparrow search algorithm. *Frontiers in Energy Research*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1383376>
- Loviscek, V. (2021). Triple Bottom Line toward a Holistic Framework for Sustainability: A Systematic Review. *Revista de Administração Contemporânea*, 25(3). <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2021200017.en>
- Manik, M. B. H., Rahma, T. I. F., & Harahap, M. I. (2024). Analisis Pengukuran Kinerja Perusahaan Asuransi Dengan Konsep Balanced Scorecard (Studi Kasus Pada PT. BRILife

- Syariah Cabang Gatot Subroto). *JURNAL MANAJEMEN AKUNTANSI (JUMSI)*. <https://doi.org/10.36987/jums>
- Margareta, W., Ridwan, A. Y., & Muttaqin, P. S. (2020). Green Warehouse Performance Measurement Model for 3PL Warehousing. *ACM International Conference Proceeding Series*, 180–186. <https://doi.org/10.1145/3400934.3400968>
- Mashud, A. H. M., Roy, D., Chakraborty, R. K., Tseng, M. L., & Pervin, M. (2022). An optimum balance among the reduction in ordering cost, product deterioration and carbon emissions: a sustainable green warehouse. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(51), 78029–78051. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21008-0>
- Md Mashud, A. H., Pervin, M., Mishra, U., Daryanto, Y., Tseng, M.-L., & Lim, M. K. (2021). A sustainable inventory model with controllable carbon emissions in green-warehouse farms. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126777. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126777>
- Meliana, D., & Hasibuan, S. (2025). Key Performance Metrics for Green Warehousing in Manufacturing Supply Chains: A Review. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(1), 138. <https://doi.org/10.22441/ijiem.v6i1.29955>
- Muttaqin, P. S., Margareta, W., & Zahira, A. D. (2022). Green warehouse performance monitoring system design using analytical hierarchy process and supply chain operation reference. *Applied Engineering and Technology*, 1(3), 146–153. <https://doi.org/10.3176/aet.v1i1.687>
- Nashrullah, M., Fahyuni, E. F., Nurdyansyah, N., & Untari, R. S. (2023). *Metodologi Penelitian Pendidikan (Prosedur Penelitian, Subyek Penelitian, Dan Pengembangan Teknik Pengumpulan Data)*. Umsida Press. <https://doi.org/10.21070/2023/978-623-464-071-7>
- Nogueira, E., Gomes, S., & Lopes, J. M. (2023). Triple Bottom Line, Sustainability, and Economic Development: What Binds Them Together? A Bibliometric Approach. *Sustainability*, 15(8), 6706. <https://doi.org/10.3390/su15086706>
- Perotti, S., & Colicchia, C. (2023). Greening warehouses through energy efficiency and environmental impact reduction: a conceptual framework based on a systematic literature review. *The International Journal of Logistics Management*, 34(7), 199–234. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2022-0086>
- Peterseim, J. H., White, S., Tadros, A., & Hellwig, U. (2013). Concentrated solar power hybrid plants, which technologies are best suited for hybridisation? *Renewable Energy*, 57, 520–532. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.02.014>
- Pratama, R., Kodrat, K. F., & Sibuea, S. R. (2024). Model Pengukuran Kinerja Rantai Pasok Hijau dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) pada CV Bamb's Home Industries Soya Beans di Kelurahan Mabar Medan. *Factory Jurnal Industri, Manajemen Dan Rekayasa Sistem Industri*, 2(3), 155–163. <https://doi.org/10.56211/factory.v2i3.504>
- Putri, J. S. K., & Pulansari, F. (2023). Measurement of Supply Chain Management Performance in the Wood Pellet Industry Using the SCOR Method Based on AHP, OMAX, and Traffic Light System. *IJIEM - Indonesian Journal of Industrial Engineering and Management*, 4(3), 609. <https://doi.org/10.22441/ijiem.v4i3.21617>
- Rizky Anggraini, D. A., Farida Pulansari, & Nur Rahmawati. (2024). Performance Measurement of Outbound Logistics in the Fertilizer Industry for Distribution Activities Based on Performance Of Activity (POA) Model and Analytical Hierarchy Process(AHP) Method. *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*, 6(3), 0240305. <https://doi.org/10.26877/asset.v6i3.619>

- Rizkya, I., Hidayati, J., Syahputri, K., Sari, R. M., Siregar, I., Siregar, K., & Utaminingrum, J. (2019). Measurement of Supply Chain Performance in Manufacturing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1230(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1230/1/012056>
- Rumahorbo, E., Wahyuda, W., & Profita, A. (2021). Perancangan dan Pengukuran Kinerja Supply Chain dengan Menggunakan Metode SCOR. *MATRIK*, 22(1), 1. <https://doi.org/10.30587/matrik.v22i1.1177>
- Saaty, T. L. (2009). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Aestimum*. <https://doi.org/10.13128/Aestimum-7138>
- Sameer, B., Hanafi, I., & Elbarky, S. (2023). Obtaining green warehouses from converting the potential energy of trucks into Piezoelectricity: A Conceptual Introduction. *International Maritime Transport and Logistics Conference*, 12, 236–250. <https://doi.org/10.21622/marlog.2023.12.1.117>
- Sriwana, I. K., Hijrah S, N., Suwandi, A., & Rasjidin, R. (2021). PENGUKURAN KINERJA RANTAI PASOK MENGGUNAKAN SUPPLY CHAIN OPERATIONS REFERENCE (SCOR) DI UD. ANANDA. *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 8(2), 13–24. <https://doi.org/10.24853/jisi.8.2.13-24>
- Stefana, E., Cocca, P., Marciano, F., Rossi, D., & Tomasoni, G. (2020). A Review of Energy and Environmental Management Practices in Cast Iron Foundries to Increase Sustainability. *Sustainability*, 11(24), 7245. <https://doi.org/10.3390/su11247245>
- Syahfitria, S. A., Rumagit, R. P., Maemunah, S., & Hamdi, A. (2023). Improving Supply Chain Performance with Green Warehouse, Logistics and Green Supply Chain Management. *Jurnal Manajemen Bisnis Transportasi Dan Logistik*, 9(2), 114. <https://doi.org/10.54324/j.mbt.v9i2.1714>
- Tjahjadi, B., Soewarno, N., & Mustikaningtiyas, F. (2021). Good corporate governance and corporate sustainability performance in Indonesia: A triple bottom line approach. *Heliyon*, 7(3), e06453. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06453>
- Torabizadeh, M., Yusof, N. M., Ma'aram, A., & Shahraroun, A. M. (2020). Identifying sustainable warehouse management system indicators and proposing new weighting method. *Journal of Cleaner Production*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119190>

LAMPIRAN

A-Kuisisioner Antar Dimensi

D. PEMBOBOTAN ANTAR KRITERIA (LEVEL 1)

Pada bagian ini, Bapak/Ibu dimohon untuk membandingkan tingkat kepentingan relatif antar kriteria utama dalam pengukuran kinerja gudang barang jadi PT. Almaja Jaya. Kriteria-kriteria tersebut meliputi: Cost, Time, Capacity, Capability, Productivity, Utility, dan Outcome.

Petunjuk: Berilah tanda (X) pada kolom skala yang menurut Bapak/Ibu paling tepat menggambarkan tingkat kepentingan antara kriteria di sebelah kiri terhadap kriteria di sebelah kanan, atau sebaliknya.

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
1. Cost							X											Time
2. Cost							X											Capacity
3. Cost										X								Capability
4. Cost										X								Productivity
5. Cost							X											Utility
6. Cost											X							Outcome
7. Time										X								Cost
8. Time										X								Capacity
9. Time										X								Capability
10. Time										X								Productivity
11. Time										X								Utility
12. Time											X							Outcome
13. Capacity											X							Cost
14. Capacity											X							Time
15. Capacity												X						Capability
16. Capacity												X						Productivity
17. Capacity													X					Utility

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
18. Capacity																X		Outcome
19. Capability							X											Cost
20. Capability							X											Time
21. Capability						X												Capacity
22. Capability							X											Productivity
23. Capability						X												Utility
24. Capability											X							Outcome
25. Productivity										X								Cost
26. Productivity										X								Time
27. Productivity										X								Capacity
28. Productivity											X							Capability
29. Productivity											X							Utility
30. Productivity												X						Outcome
31. Utility													X					Cost
32. Utility													X					Time
33. Utility													X					Capacity
34. Utility													X					Productivity
35. Utility														X				Outcome
36. Utility															X			Cost
37. Outcome																X		Time
38. Outcome																	X	Capacity
39. Outcome																		Utility

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
40. Outcome																X		Capability
41. Outcome																X		Productivity
42. Outcome																	X	Utility

B-Kuisisioner Antar Indikator Dimensi Cost

No.	Kode	Indikator KPI	Satuan	Sifat
1	C1	Biaya operasional proses finishing	Rp/Unit	Lower is better
2	C2	Biaya tenaga kerja gudang	Rp/Bulan	Lower is better
3	C3	Biaya energi operasional gudang	Rp/Bulan	Lower is better

Bandingkan tingkat kepentingan relatif antar indikator KPI pada dimensi Cost:

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
1. C1	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	C2
2. C1	o	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	C3
3. C2	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	C3

D- Kuisioner Antar Indikator Dimensi Capability

No.	Kode	Indikator KPI	Satuan	Sifat
1	KB1	Tingkat lolos QC masuk	%	Higher is better
2	KB2	Konsistensi kinerja vendor transportasi	%	Higher is better
3	KB3	Tingkat akurasi stok gudang	%	Higher is better

Bandingkan tingkat kepentingan relatif antar indikator KPI pada dimensi Capability:

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
1. KB1	o	o	o	o	o	o	☒	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	KB2
2. KB1	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	☒	o	o	o	o	o	o	KB3
3. KB2	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	☒	o	o	o	o	o	KB3

E- Kuisiomer Antar Indikator Dimensi Utility

No.	Kode	Indikator KPI	Satuan	Sifat
1	UT1	Tingkat pemanfaatan peralatan finishing	%	Higher is better
2	UT2	Tingkat pemanfaatan jam operasional gudang	%	Higher is better

Bandingkan tingkat kepentingan relatif antar indikator KPI pada dimensi Utility:

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
1. UT1	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	UT2

F- Kuisisioner Antar Indikator Dimensi Outcome

No.	Kode	Indikator KPI	Satuan	Sifat
1	OC1	Akurasi jumlah produk yang dikirim	%	Higher is better
2	OC2	Persentase produk cacat saat pengiriman	%	Lower is better
3	OC3	Tingkat kelengkapan dokumen pengiriman	%	Higher is better
4	OC4	Tingkat ketepatan spesifikasi produk yang dikirim	%	Higher is better

Bandungkan tingkat kepentingan relatif antar indikator KPI pada dimensi Outcome:

Kriteria / KPI	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kriteria / KPI
1. OC1	o	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	OC2
2. OC1	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	OC3
3. OC1	o	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	OC4
4. OC2	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	OC3

9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9

5. OC2	o	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	OC4
6. OC3	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	OC4