

PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN KINERJA DISTRIBUSI PADA *TRANSPORTATION MANAGEMENT SYSTEM* (TMS) PT XYZ

ALYA NOORISYA SALSABHILA



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FALKUTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada Transportation Management System (TMS) PT XYZ” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tugas akhir ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada IPB University.

Bogor, Juli 2026

Alya Noorisya Salsabhila
F3401221078

ABSTRAK

ALYA NOORISYA SALSABHILA. Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada *Transportation Management System* (TMS) PT XYZ. Dibimbing oleh MACHFUD dan TAUFIK DJATNA.

PT XYZ masih menghadapi kendala dalam pengukuran kinerja distribusi karena data operasional tersebar pada berbagai sistem, perhitungan indikator masih dilakukan secara manual, dan informasi kinerja belum terintegrasi. Penelitian ini bertujuan merancang Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS) menggunakan pendekatan *design thinking* dan *Model-Based Systems Engineering* (MBSE). Perancangan dilakukan melalui *performance measurement engineering*, *requirement engineering*, dan perancangan sistem. Hasil penelitian menghasilkan sistem yang terdiri atas *KPI calculation and analytics engine*, *dashboard analytics*, dan *report export* untuk mengotomatisasi perhitungan KPI dan menyajikan informasi kinerja secara *real-time*. Hasil verifikasi menunjukkan seluruh kebutuhan sistem terpenuhi, sedangkan *User Acceptance Testing* (UAT) memperoleh nilai rata-rata 4,06 dari skala 5. Penelitian ini menghasilkan pendekatan rekayasa yang mendukung pengambilan keputusan distribusi berbasis data.

Kata kunci: *dashboard analytics*, *key performance indicator*, *Model-Based Systems Engineering*, sistem pengukuran kinerja distribusi, *Transportation Management System*

ABSTRACT

ALYA NOORISYA SALSABHILA. Design of a Distribution Performance Measurement System for the *Transportation Management System* (TMS) at PT XYZ. Supervised by MACHFUD and TAUFIK DJATNA.

PT XYZ faces challenges in measuring distribution performance because operational data are fragmented across multiple systems, performance indicators are still calculated manually, and performance information is not integrated. This study aims to design a Distribution Performance Measurement System as a subsystem of the *Transportation Management System* (TMS) using *Design Thinking* and *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) approaches. The system was designed through *Performance Measurement Engineering*, *Requirement Engineering*, and system design. The proposed system consists of a *KPI Calculation and Analytics Engine*, *Dashboard Analytics*, and *Report Export*, enabling automated KPI calculation and real-time distribution performance reporting. Verification confirmed that all system requirements were fulfilled, while *User Acceptance Testing* (UAT) achieved an average score of 4.06 out of 5. This study proposes an engineering approach that supports data-driven distribution decision-making.

Keyword: *dashboard analytics*, *distribution performance measurement system*, *key performance indicator*, *Model-Based Systems Engineering*, *Transportation Management System*



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN KINERJA DISTRIBUSI PADA *TRANSPORTATION MANAGEMENT SYSTEM* (TMS) PT XYZ

ALYA NOORISYA SALSABHILA

Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada
Program Studi Teknik Industri Pertanian

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Tugas Akhir:

- 1 Dr. Muhammad Syukur Sarfat, S.TP., M.Si.
- 2 Prof. Dr. Endang Warsiki, S.TP., M.Si

Perpustakaan IPB University



Judul Tugas Akhir : Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada
Transportation Management System (TMS) PT XYZ
Nama : Alya Noorisya Salsabhila
NIM : F3401221078

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Machfud, M.S.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Eng. Taufik Djatna, S.TP, M.Si



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Ono Suparno, S.TP, M.T
NIP. 197212031997021001



Tanggal Ujian:
15 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Pelaksanaan tugas akhir ini berlangsung dari 04 Februari 2026 hingga 06 Juni 2026 dengan judul “Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada *Transportation Management System* (TMS) PT XYZ” Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri Pertanian, Fakultas Teknik dan Teknologi, IPB University.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dan dukungan selama pelaksanaan serta penyusunan laporan tugas akhir ini, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Machfud, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi selama pelaksanaan dan penyusunan tugas akhir ini.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Taufik Djatna, S.TP., M.Si. selaku *Person in Charge* (PIC) *Capstone project* yang telah memberikan arahan, masukan, dan dukungan selama pelaksanaan proyek.
3. Prof. Dr. Ono Suparno, S.TP., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Pertanian.
4. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Teknik Industri Pertanian atas ilmu, bantuan, dan fasilitas yang telah diberikan selama masa studi.
5. Seluruh jajaran manajemen dan karyawan PT XYZ, yang telah memberikan kesempatan, bimbingan, data, serta pengalaman selama pelaksanaan *Capstone project*.
6. Kedua orang tua dan seluruh keluarga penulis atas doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta motivasi yang tiada henti.
7. Teman-teman Donut Genk, Azmya, Desy, Harley, Elramda, Atur, Jordan, dan Abu, atas kebersamaan, dukungan, semangat, dan persahabatan yang telah diberikan selama ini.
8. Seluruh teman-teman Teknik Industri Pertanian Angkatan 59 (2022) yang telah memberikan semangat, kebersamaan, dan dukungan selama masa perkuliahan.

Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat serta menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan praktik di bidang Teknik Industri Pertanian.

Bogor, Juli 2026

Alya Noorisya Salsabhila

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Distribusi Logistik	5
2.2 <i>Transportation Management System (TMS)</i>	5
2.3 Sistem Pengukuran Kinerja (<i>Performance Measurement System</i>)	6
2.4 <i>Key Performance Indicator</i>	7
2.5 <i>Supply Chain Operations Reference (SCOR)</i>	8
2.6 <i>SMART Criteria</i>	9
2.7 <i>Model-Based Systems Engineering</i>	9
III METODE	11
3.1 Tahapan Desain Teknik	11
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	14
3.3 Prosedur Kerja	14
3.4 Perangkat Penelitian	15
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1 Analisis Sistem Existing	18
4.2 Rekayasa Pengukuran Kinerja (<i>Performance requirement engineering</i>)	23
4.3 Rekayasa Kebutuhan (<i>Requirement Engineering</i>)	35
4.4 Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi	38
4.5 Verifikasi dan Validasi Sistem	50
4.6 Pembahasan dan Implikasi Manajerial	54
V SIMPULAN DAN SARAN	57
5.1 Simpulan	57
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61
RIWAYAT HIDUP	65



DAFTAR TABEL

1	Perangkat keras penelitian	16
2	Perangkat lunak penelitian	16
3	Dokumen pendukung penelitian	17
4	Sistem informasi proses distribusi	19
5	Hasil perhitungan indikator kinerja existing	22
6	<i>Performance requirement</i>	24
7	Penentuan <i>performance requirement</i> berdasarkan SCOR	26
8	<i>Candidate</i> KPI berdasarkan SCOR <i>attributes</i>	27
9	Kriteria SMART	29
10	Matriks skor SMART	30
11	Hasil evaluasi kandidat KPI berdasarkan kriteria SMART	30
12	Kriteria penilaian pada <i>stakeholder confirmation</i>	32
13	Hasil <i>stakeholder confirmation</i> terhadap <i>candidate</i> KPI	32
14	<i>Final</i> katalog KPI	34
15	Pemetaan <i>final</i> KPI pada <i>dashboard</i> TMS	35
16	Pemetaan kebutuhan data untuk perhitungan KPI	36
17	<i>Functional requirement</i>	37
18	<i>Non-functional requirement</i>	37
19	Formula perhitungan KPI	43
20	<i>Dataset analytics dashboard</i>	45
21	Komponen <i>overview dashboard</i>	47
22	Komponen <i>return performance dashboard</i>	48
23	Komponen <i>distribution cost performance dashboard</i>	50
24	<i>Requirement validation matrix</i>	51
25	Hasil <i>user acceptance testing</i> (UAT)	52
26	Analisis waktu penyelesaian aktivitas <i>supervisor</i> logistik	53

DAFTAR GAMBAR

1	Tahapan Desain Teknik Penelitian	12
2	Fishbone Diagram	20
3	Tahapan <i>Performance Measurement Engineering</i>	24
4	Perancangan Arsitektur Sistem	39
5	Arsitektur <i>KPI Calculation and Analytics Engine</i>	40
6	Mekanisme Data Processing	42
7	<i>Overview Dashboard (Prototype/Desain Interface)</i>	47
8	<i>Return Performance Dashboard (Prototype/Desain Interface)</i>	48
9	<i>Distribution Cost Performance Dashboard</i>	49



DAFTAR LAMPIRAN

1	Lampiran 1 Data Primer Penelitian	62
2	Lampiran 2 Data Sekunder Penelitian	63
3	Lampiran 3 Bussiness Process Model and Notation (BPMN) Distribusi	64

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformasi digital mendorong perusahaan untuk mengintegrasikan proses bisnis dengan sistem informasi guna meningkatkan efisiensi operasional, visibilitas proses, dan kualitas pengambilan keputusan. Pada aktivitas distribusi, transformasi tersebut diwujudkan melalui penerapan *Transportation Management System* (TMS) yang mengintegrasikan proses perencanaan pengiriman, pengelolaan armada, pelaksanaan distribusi, hingga pengelolaan informasi operasional dalam satu sistem. Dengan integrasi tersebut, TMS tidak hanya berfungsi sebagai sistem operasional, tetapi juga menjadi sumber data yang mendukung evaluasi kinerja dan pengambilan keputusan secara berbasis data.

Pada industri pangan, khususnya distribusi produk *fresh* dan *frozen*, pengelolaan distribusi memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena harus menjaga kualitas produk sepanjang proses pengiriman dengan tetap memenuhi target waktu pelayanan, kapasitas kendaraan, kondisi lalu lintas, serta karakteristik pengiriman ke banyak titik pelanggan (*multidrop delivery*). Kompleksitas tersebut menuntut perusahaan tidak hanya mampu mengelola aktivitas distribusi secara operasional, tetapi juga melakukan pengukuran dan evaluasi kinerja secara berkelanjutan agar proses distribusi dapat berjalan secara efektif, efisien, dan sesuai dengan target pelayanan pelanggan.

Menurut Bititci *et al.* (1997) dan Neely *et al.* (1995), *Performance Measurement System* (PMS) merupakan suatu sistem yang mengumpulkan, mengolah, menganalisis, dan menyajikan informasi kinerja sebagai dasar pengendalian proses dan pengambilan keputusan. Dengan demikian, pengukuran kinerja tidak berhenti pada penentuan *Key Performance Indicator* (KPI), tetapi mencakup keseluruhan mekanisme yang mentransformasikan data operasional menjadi informasi kinerja yang dapat digunakan untuk monitoring, evaluasi, dan perbaikan berkelanjutan. Dalam konteks sistem distribusi, konsep tersebut diwujudkan melalui Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi (*Distribution Performance Measurement System/DPMS*) yang memanfaatkan data operasional distribusi untuk menghasilkan informasi kinerja secara terintegrasi.

Hasil observasi, wawancara, pemodelan proses bisnis, dan analisis akar penyebab pada proses distribusi PT XYZ menunjukkan bahwa proses monitoring dan evaluasi kinerja distribusi masih dilakukan secara manual melalui pengolahan beberapa dokumen operasional. Pengukuran kinerja yang dilakukan perusahaan masih terbatas pada indikator *On Time In Full* (OTIF), sedangkan informasi mengenai indikator kinerja distribusi lainnya belum dapat diperoleh secara otomatis sebagai dasar monitoring dan evaluasi. Kondisi tersebut menyebabkan informasi kinerja distribusi belum tersaji secara komprehensif sehingga proses evaluasi dan pengambilan keputusan masih memerlukan pengolahan data secara manual. Berdasarkan data operasional periode Oktober–Desember 2025, nilai OTIF tercatat sebesar 79,78%, OTD sebesar 99,48%, dan Fill Rate sebesar 86,31%, yang menunjukkan masih terdapat peluang peningkatan kinerja distribusi, khususnya pada aspek pemenuhan pesanan dan efektivitas pelayanan distribusi.

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan tersebut, proyek Capstone mengembangkan *Transportation Management System* secara *end-to-end* untuk

mendukung keseluruhan proses distribusi, meliputi *Route Planning*, *Distribution Monitoring*, *Electronic Proof of Delivery* (e-POD), dan pengelolaan informasi distribusi dalam satu sistem terintegrasi. Dalam pengembangan tersebut, penelitian ini secara khusus berfokus pada perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai salah satu subsistem pada *Transportation Management System* (TMS) yang bertugas memanfaatkan data operasional dari modul-modul lain untuk menghasilkan informasi kinerja distribusi. Dengan demikian, ruang lingkup penelitian ini tidak mencakup pengembangan seluruh TMS, melainkan pengembangan subsistem yang bertanggung jawab terhadap pengukuran, analisis, dan penyajian informasi kinerja distribusi.

Berbagai penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem pengukuran kinerja distribusi melalui identifikasi KPI, penerapan kerangka Supply Chain Operations Reference (SCOR), maupun pengembangan dashboard monitoring. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penentuan indikator kinerja atau visualisasi informasi, sementara penelitian yang mengintegrasikan Performance Measurement Engineering, Requirement Engineering, dan implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai bagian dari pengembangan Transportation Management System (TMS) masih relatif terbatas. Sejalan dengan kebutuhan tersebut, proyek Capstone mengembangkan Transportation Management System secara end-to-end yang mencakup Route Planning, Distribution Monitoring, Electronic Proof of Delivery (e-POD), dan pengelolaan informasi distribusi dalam satu sistem terintegrasi. Dalam ruang lingkup tersebut, penelitian ini berfokus pada pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem TMS yang memanfaatkan data operasional dari berbagai modul untuk menghasilkan informasi kinerja distribusi. Dengan demikian, penelitian ini tidak mencakup pengembangan seluruh TMS, melainkan berfokus pada subsistem pengukuran kinerja distribusi yang terintegrasi dengan modul operasional lainnya.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini merancang Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem pada Transportation Management System (TMS) untuk mendukung proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi berbasis data. Perancangan dilakukan melalui pendekatan rekayasa sistem yang diawali dengan identifikasi kebutuhan pengukuran kinerja, penyusunan indikator kinerja menggunakan kerangka Supply Chain Operations Reference (SCOR) dan validasi SMART, dilanjutkan dengan Requirement Engineering, hingga perancangan Data Integration Layer, KPI Calculation and Analytics Engine, *Dashboard analytics*, dan *report export* sebagai komponen utama sistem. Kontribusi penelitian ini tidak hanya menghasilkan indikator kinerja atau dashboard monitoring, tetapi juga menghasilkan rancangan sistem yang menghubungkan kebutuhan pengukuran kinerja dengan implementasi sistem informasi sehingga mendukung penyediaan informasi kinerja distribusi secara terintegrasi untuk proses pengambilan keputusan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi kebutuhan pengukuran kinerja distribusi berdasarkan kondisi operasional dan kebutuhan pengguna pada proses distribusi PT XYZ?
2. Bagaimana merancang Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS) berdasarkan kebutuhan pengukuran kinerja distribusi yang telah diidentifikasi?
3. Bagaimana memverifikasi dan memvalidasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang dikembangkan agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan tujuan pengukuran kinerja distribusi?

1.3 Tujuan

Tujuan umum penelitian ini adalah merancang Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS) PT XYZ berdasarkan kebutuhan pengukuran kinerja distribusi. Tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kebutuhan pengukuran kinerja distribusi berdasarkan kondisi operasional, proses bisnis, dan kebutuhan pengguna pada PT XYZ.
2. Merancang dan mengimplementasikan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS) berdasarkan kebutuhan pengukuran kinerja distribusi.
3. Memverifikasi dan memvalidasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi melalui *Requirement Validation* dan *User Acceptance Test* (UAT) untuk memastikan sistem memenuhi kebutuhan pengguna.

1.4 Manfaat

1) Manfaat bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan membantu PT XYZ meningkatkan efektivitas monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi melalui Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang mampu mengolah data operasional *Transportation Management System* (TMS) menjadi informasi kinerja secara otomatis.

2) Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu Teknik Industri Pertanian, khususnya pada bidang rekayasa sistem pengukuran kinerja distribusi, melalui integrasi *Performance Measurement Engineering*, *Requirement Engineering*, dan *Model-Based Systems Engineering* dalam perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

3) Manfaat Praktis (*Engineering*)

Penelitian ini diharapkan menjadi acuan dalam perancangan dan implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS), serta memberikan pendekatan rekayasa yang sistematis yang dapat diterapkan pada pengembangan sistem distribusi di perusahaan dengan karakteristik operasional yang serupa.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dilakukan pada proses distribusi produk *fresh* dan *frozen* di PT XYZ. Penelitian ini merupakan bagian dari *Capstone project* yang mengembangkan *Transportation Management System* (TMS) secara *end-to-end* untuk mendukung proses distribusi perusahaan. Dalam ruang lingkup tersebut, penelitian individu ini secara khusus berfokus pada perancangan dan implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai salah satu subsistem pada *Transportation Management System* (TMS).

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan pengukuran kinerja distribusi menggunakan pendekatan *Performance Measurement Engineering* dan *Requirement Engineering*, sedangkan indikator kinerja utama (*Key Performance Indicator/KPI*) yang diimplementasikan merupakan indikator yang telah melalui proses identifikasi, pemetaan menggunakan kerangka *Supply Chain Operations Reference* (SCOR), validasi SMART, serta mempertimbangkan ketersediaan data operasional dan kapabilitas *Transportation Management System* (TMS) yang dikembangkan.

Data yang digunakan berasal dari data operasional distribusi PT XYZ dengan periode Oktober–Desember 2025 sebagai data pengembangan sistem dan periode Mei–Juni 2026 sebagai data validasi. Implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi dalam penelitian ini mencakup mekanisme integrasi data operasional, *Performance Calculation and Analytics Engine*, *Dashboard analytics*, dan *report export* yang terintegrasi sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS).

Penelitian ini tidak mencakup pengembangan algoritma optimasi rute, sistem monitoring distribusi, maupun modul operasional *Transportation Management System* (TMS) lainnya karena ruang lingkup penelitian individu dibatasi pada pengembangan subsistem pengukuran kinerja distribusi sebagai bagian dari pengembangan *Transportation Management System* (TMS) secara keseluruhan.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Distribusi Logistik

Distribusi merupakan salah satu fungsi utama dalam manajemen logistik yang bertanggung jawab menyalurkan produk dari titik asal menuju pelanggan dengan jumlah, kondisi, lokasi, dan waktu yang sesuai. Menurut Bowersox, Closs, dan Cooper (2020), logistik adalah bagian dari manajemen rantai pasok yang berfungsi merencanakan, mengimplementasikan, dan mengendalikan aliran barang, jasa, serta informasi secara efektif dan efisien dari titik asal hingga titik konsumsi untuk memenuhi kebutuhan pelanggan.

Distribusi tidak hanya berorientasi pada perpindahan produk, tetapi juga mencakup pengelolaan sumber daya transportasi, penjadwalan pengiriman, pengendalian biaya, serta koordinasi informasi antar pihak yang terlibat. Chopra dan Meindl (2019) menjelaskan bahwa keputusan distribusi memengaruhi keseimbangan antara tingkat pelayanan dan biaya logistik sehingga memerlukan pengelolaan yang terintegrasi. Pujawan dan Mahendrawathi (2017) menambahkan bahwa aktivitas distribusi merupakan penyumbang terbesar biaya logistik pada banyak perusahaan sehingga peningkatan efisiensi distribusi memberikan dampak signifikan terhadap kinerja rantai pasok secara keseluruhan.

Pada industri pangan, khususnya distribusi produk fresh dan frozen, kompleksitas distribusi meningkat karena produk memiliki umur simpan terbatas (*Perishable product*) dan memerlukan penerapan cold chain logistics. Proses distribusi harus mampu menjaga kualitas produk selama penyimpanan, transportasi, dan pengiriman kepada pelanggan dengan tetap mempertimbangkan kapasitas kendaraan, waktu pelayanan (*Time Window*), kondisi lalu lintas, serta pola pengiriman ke banyak pelanggan (*multidrop delivery*).

Seiring meningkatnya kompleksitas tersebut, aktivitas distribusi menghasilkan data operasional yang semakin beragam, seperti data pengiriman, waktu pelayanan, biaya transportasi, utilisasi armada, serta status penyelesaian pengiriman. Pengelolaan data tersebut secara manual menjadi semakin sulit dilakukan sehingga perusahaan membutuhkan sistem informasi yang mampu mengintegrasikan proses distribusi sekaligus menghasilkan data operasional secara konsisten. Agar aktivitas tersebut dapat dikelola secara efektif dan efisien, diperlukan sistem informasi yang mampu mengintegrasikan seluruh proses distribusi, yaitu *Transportation Management System*.

2.2 Transportation Management System (TMS)

Transportation Management System (TMS) merupakan sistem informasi yang digunakan untuk merencanakan, mengendalikan, melaksanakan, dan mengevaluasi aktivitas transportasi dalam suatu jaringan distribusi. Menurut Bowersox, Closs, dan Cooper (2020), TMS mendukung pengambilan keputusan pada aktivitas transportasi melalui fungsi perencanaan pengiriman, penjadwalan kendaraan, pemilihan rute, pemantauan pengiriman, serta evaluasi kinerja distribusi. Chopra dan Meindl (2019) juga menjelaskan bahwa sistem informasi transportasi berperan penting dalam meningkatkan visibilitas distribusi dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data pada aktivitas logistik.

Secara fungsional, TMS mengintegrasikan berbagai proses distribusi, mulai dari penerimaan pesanan, perencanaan rute, pelaksanaan pengiriman, pemantauan armada, validasi *Proof of Delivery* (POD), hingga pencatatan biaya distribusi. Integrasi tersebut memungkinkan seluruh aktivitas distribusi terdokumentasi secara sistematis sehingga menghasilkan data operasional yang konsisten dan dapat ditelusuri. Selain meningkatkan efisiensi operasional, TMS juga mengurangi duplikasi pencatatan, meningkatkan akurasi informasi, serta mempercepat koordinasi antar bagian yang terlibat dalam proses distribusi.

Namun demikian, keberhasilan implementasi TMS tidak hanya ditentukan oleh kemampuannya mendukung aktivitas operasional. Data operasional yang dihasilkan oleh TMS perlu diolah menjadi informasi yang mampu menggambarkan kondisi kinerja distribusi sehingga dapat dimanfaatkan untuk proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Dengan kata lain, TMS berfungsi sebagai sistem operasional yang menghasilkan data, sedangkan proses transformasi data menjadi informasi kinerja memerlukan suatu sistem pengukuran kinerja yang terintegrasi.

Meskipun *Transportation Management System* mampu mengintegrasikan proses distribusi secara *end-to-end* dan menghasilkan data operasional secara konsisten, data tersebut belum secara langsung menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja distribusi. Oleh karena itu, diperlukan suatu mekanisme yang mampu menghitung, menganalisis, dan menyajikan informasi kinerja berdasarkan data operasional yang dihasilkan oleh *Transportation Management System*. Dalam konteks pengembangan sistem distribusi, kebutuhan tersebut diwujudkan melalui Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai salah satu subsistem pada *Transportation Management System*. Subsistem ini memanfaatkan data operasional dari berbagai modul TMS untuk menghasilkan informasi kinerja yang mendukung proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi. Konsep mengenai sistem pengukuran kinerja tersebut dibahas lebih lanjut pada subbab berikutnya

2.3 Sistem Pengukuran Kinerja (*Performance Measurement System*)

Sistem Pengukuran Kinerja (*Performance Measurement System* atau PMS) merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mengumpulkan, mengolah, menganalisis, dan menyajikan informasi kinerja guna mendukung pengendalian proses, evaluasi organisasi, serta pengambilan keputusan. Neely, Gregory, dan Platts (1995) mendefinisikan PMS sebagai seperangkat metrik yang digunakan untuk mengukur efisiensi dan efektivitas suatu tindakan, sedangkan Bititci *et al.* (1997) memandang PMS sebagai sistem informasi yang menjadi inti dalam manajemen kinerja karena menghubungkan data operasional dengan proses pengambilan keputusan.

Perkembangan konsep PMS menunjukkan bahwa sistem pengukuran kinerja tidak lagi dipandang sebagai sekadar kumpulan indikator, melainkan sebagai suatu proses yang dimulai dari identifikasi kebutuhan informasi, penentuan tujuan pengukuran, penyusunan indikator, implementasi sistem, hingga evaluasi berkelanjutan. Neely *et al.* (2000) menjelaskan bahwa perancangan sistem pengukuran kinerja harus dilakukan secara sistematis agar indikator yang dihasilkan mampu merepresentasikan tujuan organisasi, dapat diukur secara konsisten, serta memberikan manfaat bagi proses pengambilan Keputusan.

Dalam konteks distribusi, konsep tersebut diwujudkan melalui Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi (*Distribution Performance Measurement System/DPMS*) yang memanfaatkan data operasional distribusi untuk menghasilkan informasi kinerja sebagai dasar monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Sistem ini menghubungkan data operasional yang dihasilkan selama proses distribusi dengan informasi kinerja yang menggambarkan tingkat efektivitas dan efisiensi aktivitas distribusi. Dengan demikian, sistem pengukuran kinerja distribusi tidak hanya berfungsi menghitung indikator kinerja, tetapi juga mentransformasikan data operasional menjadi informasi yang mendukung perbaikan kinerja secara berkelanjutan.

Pengukuran kinerja distribusi bertujuan mengevaluasi pencapaian tujuan operasional distribusi melalui berbagai aspek, seperti keandalan pelayanan, ketepatan waktu pengiriman, efisiensi biaya, pemanfaatan sumber daya, dan kualitas proses distribusi. Gunasekaran *et al.* (2004) menjelaskan bahwa pengukuran tersebut menjadi dasar bagi organisasi untuk melakukan monitoring, mengidentifikasi penyimpangan operasional, menentukan prioritas perbaikan, serta mengevaluasi efektivitas kebijakan distribusi. Oleh karena itu, indikator yang digunakan harus mampu merepresentasikan kondisi operasional secara akurat, memiliki definisi yang jelas, dapat dihitung berdasarkan data yang tersedia, serta relevan dengan tujuan bisnis perusahaan.

Pada distribusi produk pangan, indikator yang umum digunakan antara lain On Time In Full (OTIF), On Time Delivery (OTD), Fill Rate, Return Rate, Load Factor, Cost per Kilogram, Average Delivery Time, serta berbagai indikator biaya distribusi lainnya. Indikator-indikator tersebut menggambarkan kinerja distribusi dari aspek keandalan pelayanan, responsivitas, efisiensi pemanfaatan sumber daya, maupun efisiensi biaya sehingga memberikan gambaran menyeluruh mengenai kinerja distribusi perusahaan.

Namun demikian, tidak seluruh indikator yang tersedia dalam literatur dapat diterapkan secara langsung pada setiap organisasi. Pemilihan indikator harus mempertimbangkan tujuan organisasi, karakteristik proses distribusi, kebutuhan pengguna, ketersediaan data operasional, serta kemampuan sistem informasi yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan suatu kerangka yang mampu memetakan indikator-indikator tersebut secara sistematis berdasarkan dimensi kinerja rantai pasok. Salah satu kerangka yang paling banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah *Supply Chain Operations Reference* (SCOR), yang akan dibahas pada subbab berikutnya.

2.4 Key Performance Indicator

Key Performance Indicator (KPI) merupakan ukuran kinerja utama yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat pencapaian tujuan organisasi pada aspek-aspek yang bersifat kritis terhadap keberhasilan proses bisnis. Parmenter (2015) menjelaskan bahwa KPI berbeda dengan ukuran operasional biasa karena berfokus pada faktor-faktor keberhasilan utama (*critical success factors*) yang memerlukan perhatian manajemen secara berkelanjutan. Oleh karena itu, KPI harus mampu memberikan informasi yang relevan, mudah dipahami, serta mendorong tindakan perbaikan apabila terjadi penyimpangan kinerja.

Suatu KPI yang baik harus memiliki karakteristik yang jelas, dapat diukur, memiliki penanggung jawab, realistis untuk dicapai, dan dievaluasi dalam periode

tertentu. Selain itu, KPI harus memiliki keterkaitan langsung dengan tujuan organisasi sehingga informasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Dalam konteks distribusi, KPI digunakan untuk mengukur berbagai aspek kinerja, seperti ketepatan pengiriman, tingkat pemenuhan pesanan, efisiensi biaya distribusi, utilisasi armada, maupun kualitas pelayanan kepada pelanggan.

Meskipun KPI merupakan komponen utama dalam sistem pengukuran kinerja, indikator yang digunakan pada setiap proses bisnis dapat berbeda sesuai dengan karakteristik aktivitas yang diukur. Pada konteks distribusi, diperlukan indikator-indikator yang mampu merepresentasikan kinerja operasional distribusi secara komprehensif, baik dari aspek pelayanan, ketepatan waktu, efisiensi biaya, maupun pemanfaatan sumber daya.

2.5 Supply Chain Operations Reference (SCOR)

Supply Chain Operations Reference (SCOR) merupakan kerangka kerja pengukuran dan peningkatan kinerja rantai pasok yang awalnya dikembangkan oleh Supply Chain Council (SCC) dan saat ini dikelola oleh Association for Supply Chain Management (ASCM) melalui *SCOR Digital Standard* (SCOR DS). Kerangka kerja ini menyediakan pendekatan yang sistematis untuk menghubungkan proses bisnis rantai pasok dengan atribut kinerja (*Performance Attributes*), metrik pengukuran, praktik terbaik (*best practices*), serta kapabilitas (*capabilities*) yang diperlukan dalam pengelolaan rantai pasok.

Penelitian ini menggunakan *Supply Chain Operations Reference Digital Standard* (SCOR DS) *Version 13.0* yang diterbitkan oleh *Association for Supply Chain Management* (ASCM) pada tahun 2022. *SCOR DS Version 13.0* mengelompokkan pengukuran kinerja rantai pasok ke dalam enam *performance attributes*, yaitu *Reliability*, *Responsiveness*, *Agility*, *Cost*, *Asset Management Efficiency*, dan *Sustainability* (ASCM 2022). Keenam atribut tersebut merepresentasikan dimensi kinerja rantai pasok yang berbeda sehingga organisasi dapat memilih indikator yang sesuai dengan karakteristik proses bisnis, tujuan organisasi, serta kebutuhan operasionalnya.

Dalam penelitian ini, atribut yang digunakan meliputi *Reliability*, *Responsiveness*, *Cost*, dan *Asset Management Efficiency* karena dinilai paling relevan dengan proses distribusi PT XYZ. Atribut *Reliability* digunakan untuk merepresentasikan kemampuan distribusi dalam memenuhi pesanan pelanggan secara tepat dan lengkap, *Responsiveness* menggambarkan kecepatan proses distribusi, *Cost* digunakan untuk mengevaluasi efisiensi biaya distribusi, sedangkan *Asset Management Efficiency* digunakan untuk mengukur efektivitas pemanfaatan sumber daya distribusi, khususnya kapasitas kendaraan dan armada. Adapun atribut *Agility* dan *Sustainability* tidak digunakan karena berada di luar ruang lingkup penelitian serta belum didukung oleh kebutuhan operasional maupun ketersediaan data pada *Transportation Management System* yang dikembangkan.

Keunggulan SCOR dibandingkan pendekatan lain adalah kemampuannya menyediakan struktur yang sistematis dalam proses identifikasi indikator kinerja. SCOR membantu memastikan bahwa indikator yang dipilih tidak hanya mencerminkan kebutuhan operasional perusahaan, tetapi juga mewakili dimensi kinerja rantai pasok yang relevan serta memiliki keterkaitan dengan tujuan strategis organisasi. Dengan demikian, pemilihan indikator tidak dilakukan secara subjektif,

melainkan berdasarkan kerangka pengukuran yang terstruktur dan telah digunakan secara luas dalam penelitian maupun praktik manajemen rantai pasok.

Dalam penelitian ini, SCOR digunakan sebagai kerangka untuk memetakan kebutuhan pengukuran kinerja distribusi menjadi kandidat *Key Performance Indicator* (KPI). Kandidat KPI yang dihasilkan selanjutnya dievaluasi menggunakan *SMART Criteria* sehingga hanya indikator yang memenuhi aspek Specific, Measurable, Achievable, Relevant, dan Time-bound, serta didukung oleh ketersediaan data operasional dan kapabilitas *Transportation Management System* (TMS) yang diimplementasikan ke dalam Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

2.6 SMART Criteria

SMART merupakan metode yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan suatu indikator kinerja berdasarkan lima karakteristik utama, yaitu Specific, Measurable, Achievable, Relevant, dan Time-bound. Menurut Parmenter (2015), indikator yang memenuhi seluruh karakteristik SMART akan lebih mudah dipahami, diukur, dikendalikan, serta digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dibandingkan indikator yang bersifat umum dan tidak memiliki batasan yang jelas.

Kriteria Specific memastikan bahwa indikator memiliki tujuan pengukuran yang jelas dan tidak menimbulkan interpretasi yang berbeda. Measurable menunjukkan bahwa indikator dapat dihitung secara kuantitatif menggunakan data yang tersedia. Achievable memastikan bahwa target indikator realistis untuk dicapai sesuai kondisi operasional perusahaan. Relevant menunjukkan bahwa indikator memiliki hubungan langsung dengan tujuan organisasi, sedangkan Time-bound memastikan bahwa pengukuran dilakukan dalam periode evaluasi yang telah ditentukan.

Dalam pengembangan sistem pengukuran kinerja, SMART tidak hanya digunakan untuk mengevaluasi kualitas indikator secara konseptual, tetapi juga untuk menilai kelayakan implementasi indikator pada sistem informasi. Indikator yang memenuhi SMART umumnya memiliki definisi operasional yang jelas, metode perhitungan yang terukur, sumber data yang tersedia, serta relevan dengan kebutuhan pengguna sehingga lebih mudah diterjemahkan menjadi kebutuhan sistem.

Pada penelitian ini, SMART digunakan untuk mengevaluasi setiap kandidat KPI berdasarkan aspek Specific, Measurable, Achievable, Relevant, dan Time-bound. Pada penelitian ini, aspek Measurable dan Achievable juga digunakan untuk memastikan bahwa indikator didukung oleh data operasional yang tersedia dan dapat diimplementasikan pada *Transportation Management System*. Dengan demikian, setiap kandidat KPI dievaluasi berdasarkan kesesuaiannya terhadap kebutuhan operasional, ketersediaan data, dan kelayakan implementasi dalam *Transportation Management System*. Hasil evaluasi SMART selanjutnya menghasilkan *Final KPI Catalogue* yang menjadi dasar penyusunan kebutuhan sistem melalui proses *Requirement Engineering*.

2.7 Model-Based Systems Engineering

Model-Based Systems Engineering (MBSE) merupakan pendekatan rekayasa sistem yang menggunakan model sebagai media utama dalam mendefinisikan, menganalisis, merancang, mengimplementasikan, serta memverifikasi suatu sistem

sepanjang system life cycle. Menurut International Council on Systems Engineering (INCOSE, 2023), MBSE menggantikan pendekatan pengembangan berbasis dokumen (document-based systems engineering) dengan model yang mampu menggambarkan hubungan antara kebutuhan, fungsi, arsitektur, implementasi, hingga proses verifikasi secara terintegrasi. Pendekatan ini meningkatkan konsistensi desain, mempermudah komunikasi antar *stakeholder*, serta menjaga keterlacakan (traceability) selama proses pengembangan sistem.

Salah satu karakteristik utama MBSE adalah kemampuannya menjaga hubungan antara stakeholder needs, system requirements, Perancangan Arsitektur Sistem, implementation, serta verification and validation. Keterlacakan tersebut memungkinkan setiap komponen sistem ditelusuri kembali kepada kebutuhan pengguna yang mendasarinya sehingga mengurangi risiko ketidaksesuaian antara sistem yang dikembangkan dengan kebutuhan operasional. Oleh karena itu, MBSE banyak diterapkan pada pengembangan sistem yang kompleks dan melibatkan berbagai subsistem yang saling terintegrasi.

Dalam pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi, MBSE digunakan sebagai kerangka metodologis untuk memastikan bahwa kebutuhan pengukuran kinerja dapat diterjemahkan secara sistematis menjadi kebutuhan sistem, kemudian diwujudkan dalam desain, implementasi, serta proses verifikasi dan validasi. Melalui pendekatan ini, Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi dikembangkan sebagai subsistem pada *Transportation Management System* sehingga tetap terintegrasi dengan modul-modul operasional lainnya dalam mendukung monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi

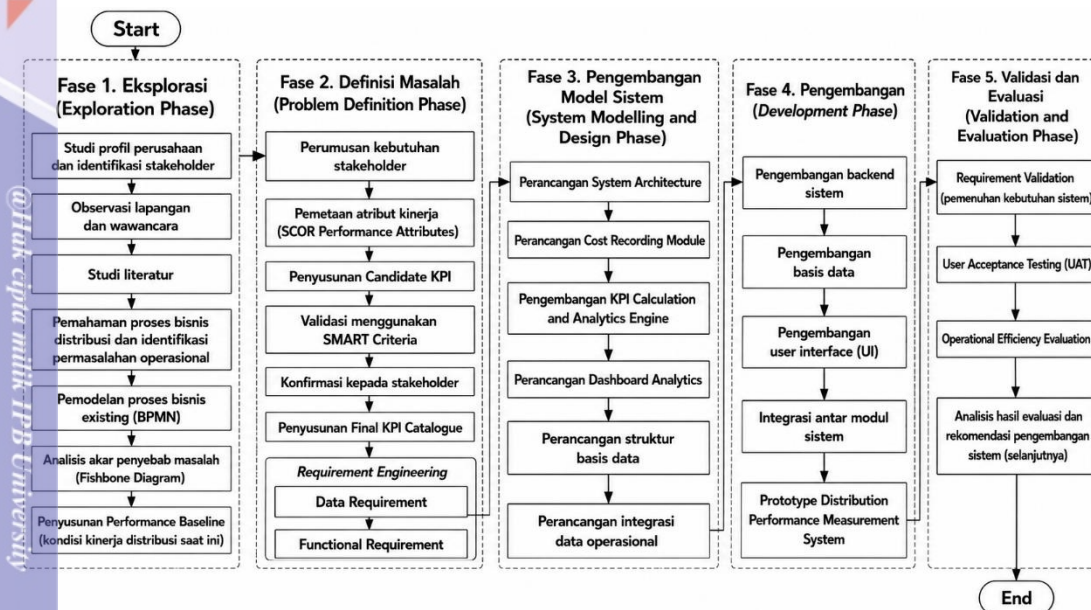
III METODE

3.1 Tahapan Desain Teknik

Penelitian ini menggunakan kombinasi pendekatan *Design Thinking* dan *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) dalam perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi (*Distribution Performance Measurement System/DPMS*) yang terintegrasi pada *Transportation Management System* (TMS) PT XYZ. *Design Thinking* digunakan pada tahap awal penelitian sebagai pendekatan human-centered problem solving untuk memahami kebutuhan pengguna, mengidentifikasi permasalahan operasional, serta merumuskan kebutuhan sistem berdasarkan kondisi nyata di lapangan. Menurut Brown (2008), *Design Thinking* mengintegrasikan kebutuhan pengguna, kemungkinan teknologi, dan kebutuhan bisnis dalam menghasilkan solusi yang efektif.

Selanjutnya, MBSE digunakan sebagai metodologi utama dalam proses perancangan, pengembangan, hingga validasi sistem. Menurut INCOSE (2023), MBSE merupakan pendekatan rekayasa sistem yang menggunakan model sebagai media utama untuk mendefinisikan, menganalisis, merancang, mengimplementasikan, serta memverifikasi sistem sehingga hubungan antara kebutuhan pengguna, kebutuhan sistem, rancangan solusi, implementasi, hingga proses validasi dapat ditelusuri secara sistematis (traceability). Pendekatan ini banyak diterapkan pada pengembangan sistem kompleks karena mampu meningkatkan konsistensi desain, mengurangi ambiguitas kebutuhan, serta mempermudah komunikasi antar *stakeholder* (Friedenthal *et al.*, 2015).

Kombinasi kedua pendekatan tersebut dipilih karena perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi tidak hanya memerlukan solusi teknis berupa pengembangan perangkat lunak, tetapi juga memerlukan pemahaman yang komprehensif terhadap proses bisnis distribusi, kebutuhan informasi manajerial, karakteristik data operasional, serta kebutuhan pengguna pada berbagai tingkatan organisasi. *Design Thinking* digunakan pada fase eksplorasi dan definisi masalah untuk memastikan solusi yang dikembangkan benar-benar berorientasi pada kebutuhan pengguna, sedangkan MBSE digunakan mulai tahap perancangan model sistem hingga validasi untuk memastikan keterlacakan hubungan antara kebutuhan, desain, implementasi, dan hasil pengujian sistem. Tahapan desain teknik penelitian terdiri atas lima fase sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Tahapan Desain Teknik Penelitian

3.1.1 Fase Eksplorasi

Fase eksplorasi bertujuan memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap kondisi operasional distribusi PT XYZ Depo Cikupa. Pada fase ini dilakukan studi profil perusahaan, identifikasi stakeholder, observasi lapangan, wawancara, studi dokumentasi, serta studi literatur untuk memahami proses bisnis distribusi, karakteristik operasional, dan permasalahan yang dihadapi perusahaan. Observasi dilakukan terhadap seluruh aktivitas distribusi, sedangkan wawancara dilakukan kepada supervisor logistik, manager logistik, admin distribusi, admin kasir, admin POD, dan driver untuk memperoleh informasi mengenai proses bisnis existing, kebutuhan informasi kinerja, serta kebutuhan pengguna terhadap sistem yang akan dikembangkan.

Fase eksplorasi mengadopsi prinsip Empathize pada *Design Thinking* untuk memahami kebutuhan pengguna, proses bisnis, dan permasalahan operasional sebagai dasar perumusan kebutuhan sistem. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem yang dirancang berangkat dari kebutuhan nyata pengguna dan karakteristik operasional perusahaan.

Selanjutnya dilakukan pemodelan proses bisnis existing menggunakan *Business Process Model and Notation* (BPMN) untuk menggambarkan alur aktivitas distribusi, aktor yang terlibat, aliran informasi, serta dokumen operasional yang digunakan. Berdasarkan hasil BPMN dilakukan analisis akar penyebab menggunakan Fishbone Diagram sehingga diperoleh faktor-faktor utama penyebab rendahnya efektivitas pengukuran kinerja distribusi. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk menyusun *Performance Baseline* yang menggambarkan kondisi kinerja distribusi sebelum pengembangan sistem.

3.1.2 Fase Definisi Masalah

Fase definisi masalah bertujuan menerjemahkan hasil eksplorasi menjadi kebutuhan sistem yang akan digunakan sebagai dasar pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi. Pada fase ini disusun *Stakeholder Requirement*

berdasarkan kebutuhan pengguna yang diperoleh melalui observasi dan wawancara, kemudian dirumuskan *Performance Requirement* sebagai target peningkatan kinerja distribusi yang ingin dicapai melalui sistem.

Selanjutnya dilakukan proses *Performance Measurement Engineering*, yang meliputi pemetaan kandidat KPI dilakukan menggunakan atribut performa pada SCOR DS *Version* 13.0, penyusunan *Candidate KPI*, validasi menggunakan *SMART Criteria*, konfirmasi kepada stakeholder (*Stakeholder confirmation*), serta penyusunan *Final KPI Catalogue*. Tahapan ini bertujuan memastikan bahwa indikator kinerja yang dipilih relevan dengan kebutuhan operasional perusahaan, didukung oleh ketersediaan data, serta layak diimplementasikan pada *Transportation Management System*.

Setelah *Final KPI Catalogue* diperoleh, dilakukan proses *Requirement Engineering* untuk menerjemahkan kebutuhan pengukuran kinerja menjadi kebutuhan sistem. Tahapan ini meliputi penyusunan *Information Requirement*, *Data Requirement*, *Functional Requirement*, dan *Non-Functional Requirement* sebagai dasar perancangan sistem pada fase berikutnya.

3.1.3 Fase Pengembangan Model Sistem

Fase pengembangan model sistem bertujuan menerjemahkan seluruh kebutuhan sistem menjadi rancangan teknis menggunakan pendekatan *Model-Based Systems Engineering* (MBSE). Pada fase ini dilakukan Perancangan Arsitektur Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai acuan hubungan antar komponen sistem serta mekanisme aliran data yang mendukung proses pengukuran kinerja distribusi.

Selanjutnya dilakukan perancangan *KPI Calculation and Analytics Engine* yang berfungsi mengolah data operasional menjadi informasi kinerja distribusi secara otomatis, kemudian menyajikannya melalui *Dashboard analytics*. Selain itu disusun rancangan struktur basis data beserta mekanisme integrasi data operasional dari berbagai modul *Transportation Management System* sehingga seluruh indikator kinerja dapat dihitung secara otomatis berdasarkan data operasional yang tersedia.

Output fase ini berupa dokumen desain sistem yang mencakup arsitektur sistem, rancangan modul, struktur basis data, serta mekanisme integrasi data sebagai acuan implementasi perangkat lunak pada fase berikutnya.

3.1.4 Fase Pengembangan

Fase pengembangan merupakan tahap implementasi rancangan sistem ke dalam bentuk perangkat lunak menggunakan pendekatan MBSE. Implementasi meliputi pengembangan backend, pengembangan basis data, pengembangan *User interface* (UI), serta integrasi antar modul sehingga seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terpadu.

Pada penelitian ini implementasi difokuskan pada pengembangan *KPI Calculation and Analytics Engine*, dan *Dashboard analytics* sebagai komponen utama Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi. Seluruh modul kemudian diintegrasikan sehingga menghasilkan prototipe Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang siap digunakan dalam proses verifikasi dan validasi..

3.1.5 Fase Validasi dan Evaluasi

Fase validasi dan evaluasi bertujuan memastikan bahwa Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan pengguna serta memberikan manfaat terhadap proses operasional distribusi. Verifikasi dilakukan melalui Requirement Validation untuk mengevaluasi kesesuaian implementasi terhadap kebutuhan sistem, sedangkan validasi dilakukan menggunakan *User Acceptance Testing* (UAT) yang melibatkan pengguna utama sistem.

Selanjutnya dilakukan *Operational Efficiency Evaluation* untuk mengevaluasi manfaat implementasi sistem melalui analisis waktu penyelesaian aktivitas (*Activity Completion Time Analysis*), analisis penghematan waktu kerja (*Labor Time Saving Analysis*), serta estimasi penghematan biaya operasional administratif (*Estimated Operational Cost Saving*). Hasil evaluasi digunakan untuk menilai efektivitas implementasi sistem dalam meningkatkan proses pengukuran kinerja distribusi sekaligus menjadi dasar penyusunan rekomendasi pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya..

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT XYZ, khususnya pada Depo Cikupa yang berlokasi di Jl. Raya Serang No. Km. 20, Cibadak, Kecamatan Cikupa, Kabupaten Tangerang, Banten 15710. Depo Cikupa merupakan salah satu pusat distribusi produk makanan segar (fresh food) dan makanan beku (frozen food) yang melayani proses distribusi ke berbagai pelanggan di wilayah operasional perusahaan.

Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada karakteristik aktivitas distribusi yang melibatkan proses perencanaan pengiriman, pengelolaan armada, pelaksanaan distribusi, pencatatan biaya operasional, serta evaluasi kinerja distribusi yang masih dilakukan secara manual. Kondisi tersebut sesuai dengan ruang lingkup penelitian yang berfokus pada perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang terintegrasi dengan *Transportation Management System* (TMS).

Penelitian dilaksanakan selama periode 04 Februari 2026 hingga 06 Juni 2026. Selama periode tersebut dilakukan kegiatan observasi lapangan, wawancara dengan *stakeholder*, pengumpulan data operasional, analisis sistem existing, perancangan sistem pengukuran kinerja distribusi, implementasi sistem, serta proses verifikasi dan validasi terhadap sistem yang dikembangkan

3.3 Prosedur Kerja

Pengumpulan data merupakan tahapan yang bertujuan memperoleh informasi yang diperlukan dalam proses analisis sistem existing, perancangan sistem pengukuran kinerja distribusi, pengembangan sistem, serta proses verifikasi dan validasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer digunakan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi operasional dan kebutuhan pengguna, sedangkan data sekunder digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja distribusi, perancangan indikator kinerja, serta implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

3.3.1 Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi lapangan dan wawancara semi-terstruktur dengan pihak operasional distribusi PT XYZ Depo Cikupa. Pengumpulan data primer bertujuan untuk memperoleh pemahaman mengenai proses bisnis distribusi, aktivitas operasional, kendala yang dihadapi dalam proses monitoring distribusi, serta kebutuhan pengguna terhadap sistem yang akan dikembangkan.

Observasi dilakukan dengan mengikuti alur aktivitas distribusi mulai dari penerimaan data pengiriman, proses perencanaan rute, pelaksanaan distribusi, pencatatan biaya operasional, hingga proses evaluasi kinerja distribusi. Hasil observasi digunakan sebagai dasar dalam penyusunan Business Process Model menggunakan *Business Process Model and Notation* (BPMN) serta identifikasi aktivitas yang menghasilkan data kinerja distribusi.

Selain observasi, wawancara dilakukan kepada beberapa *stakeholder* yang terlibat secara langsung dalam proses distribusi, yaitu supervisor logistik, manager logistik, admin distribusi, admin kasir, admin POD, dan driver. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur untuk memperoleh informasi mengenai proses bisnis existing, permasalahan distribusi, kebutuhan informasi kinerja, kebutuhan fungsional sistem, serta mekanisme evaluasi kinerja distribusi yang diterapkan oleh perusahaan. Rincian data primer yang dikumpulkan disajikan pada lampiran 1.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen operasional internal PT XYZ Depo Cikupa yang berkaitan dengan aktivitas distribusi. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses analisis sistem existing, penyusunan *Performance Baseline*, perumusan indikator kinerja, pengembangan KPI Calculation Engine, serta proses verifikasi sistem.

Data historis Oktober–Desember 2025 digunakan sebagai data pengembangan sistem (development dataset) karena mewakili kondisi operasional distribusi perusahaan sebelum implementasi sistem. Data tersebut dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kondisi existing, menghitung *Performance Baseline*, menyusun kebutuhan kinerja (*Performance Requirement*), serta merancang indikator kinerja distribusi.

Selanjutnya, data operasional Mei dan Juni 2026 digunakan sebagai data verifikasi dan validasi (validation dataset). Penggunaan data yang berbeda antara tahap pengembangan dan tahap pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menghitung indikator kinerja secara konsisten pada data operasional yang tidak digunakan selama proses perancangan, sehingga mengurangi potensi overfitting terhadap data historis perusahaan. Rincian data sekunder yang digunakan dalam penelitian disajikan pada lampiran 2.

3.4 Perangkat Penelitian

Penelitian ini menggunakan berbagai perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk mendukung proses analisis sistem, pemodelan, pengembangan, implementasi, serta verifikasi Sistem Pengukuran Kinerja

Distribusi yang terintegrasi pada *Transportation Management System* PT XYZ. Perangkat yang digunakan disesuaikan dengan tahapan pengembangan sistem berbasis *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) sehingga mampu mendukung proses pemodelan sistem, pengelolaan basis data, pengembangan aplikasi, serta pengujian sistem.

3.4.1 Perangkat Keras

Perangkat keras digunakan untuk mendukung proses pengolahan data, pemodelan sistem, pengembangan aplikasi, serta pengujian prototipe. Spesifikasi perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Perangkat keras penelitian

Perangkat	Spesifikasi
Laptop	Lenovo T490
Processor	Intel Core i5 gen 8th
RAM	16 GB
Storage	SSD 512 GB
Sistem Operasi	Windows 11 64-bit

3.4.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak digunakan untuk mendukung proses pemodelan sistem, pengembangan backend, pengelolaan basis data, implementasi dashboard, serta proses analisis data. Rincian perangkat lunak yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Perangkat lunak penelitian

Perangkat Lunak	Fungsi
SAP Power Designer	Pemodelan <i>Business Process Model and Notation</i> (BPMN)
Canva	Penyusunan diagram sistem dan Fishbone Diagram
Visual Studio Code	Pengembangan source code sistem
Python 3.11	Pengembangan <i>KPI Calculation and Analytics Engine</i>
FastAPI	Pengembangan REST API backend
React.js	Pengembangan <i>Dashboard analytics</i>
PostgreSQL	Database Management System
pgAdmin	Administrasi basis data
Microsoft Excel	Pengolahan data operasional dan validasi data
GitHub	Version control dan dokumentasi pengembangan sistem

3.4.3 Dokumen Pendukung Penelitian

Selain perangkat keras dan perangkat lunak, penelitian ini juga memanfaatkan beberapa dokumen operasional perusahaan sebagai sumber utama pengembangan sistem. Dokumen tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *Performance Baseline*, pengembangan indikator kinerja, serta implementasi KPI Calculation Engine.

Tabel 3. 3 Dokumen pendukung penelitian

Dokumen	Pemanfaatan
Shipment JKF	Perhitungan OTIF, OTD, Average Delivery Time, Fuel Consumption
Rekapitulasi Pengiriman Ayam	Fill Rate, Load Factor
Proposal Trade Return	Return Rate
Rekapitulasi Biaya Operasional (BOP)	Total Distribution Cost, Cost per KG
Master Data Customer	Dashboard dan analisis distribusi
Master Data Armada	Analisis utilisasi armada



IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Sistem Existing

Saat ini perusahaan telah memanfaatkan beberapa sistem informasi untuk mendukung aktivitas operasional distribusi, namun pemanfaatannya masih berorientasi pada pelaksanaan transaksi dan administrasi sehingga data operasional belum terintegrasi menjadi informasi kinerja yang dapat digunakan secara komprehensif. Akibatnya, proses evaluasi kinerja distribusi masih dilakukan melalui rekapitulasi data dari berbagai sumber, sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama, belum mampu menyajikan informasi kinerja secara terintegrasi dan tepat waktu sehingga proses monitoring, evaluasi, serta pengambilan keputusan operasional masih bergantung pada rekapitulasi data secara manual. Oleh karena itu, pada subbab ini dilakukan analisis terhadap kondisi existing yang meliputi proses bisnis distribusi, aktivitas operasional, sistem yang digunakan, sumber data distribusi, akar permasalahan, serta mekanisme pengukuran kinerja yang berjalan sebagai dasar dalam merancang Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

4.1.1 Analisis Proses Bisnis

Pada penelitian ini, proses bisnis dimodelkan menggunakan *Business Process Model and Notation* (BPMN) karena mampu merepresentasikan hubungan antar stakeholder, urutan aktivitas, titik pengambilan keputusan, serta aliran informasi yang terjadi selama proses distribusi berlangsung. Pemodelan proses bisnis tidak hanya digunakan untuk menggambarkan urutan pekerjaan, tetapi juga untuk mengidentifikasi keterkaitan antar proses yang menjadi sumber terbentuknya data operasional sebagai dasar pengukuran kinerja distribusi. Diagram BPMN proses bisnis distribusi existing disajikan pada Lampiran 3.

Berdasarkan Lampiran 3, proses distribusi melibatkan sembilan stakeholder, yaitu customer, sales, admin distribusi, supervisor logistik, admin warehouse, staff warehouse, driver, admin POD, dan kasir. Secara umum, proses bisnis distribusi terdiri atas tiga fase utama, yaitu fase perencanaan, fase pelaksanaan, dan fase pengendalian distribusi.

Fase perencanaan diawali dengan penerimaan *Purchase Order* dari pelanggan yang selanjutnya diproses menjadi *Shipment Order* sebagai dasar penyusunan rencana distribusi. Pada fase ini, supervisor logistik berperan sebagai lapisan pengendalian (*Control Layer*) melalui kegiatan review shipment plan, koordinasi ketersediaan armada dengan penyedia jasa logistik (*Third-Party Logistics*), pengelolaan uang jalan, serta persetujuan (*dispatch approval*) sebelum distribusi dilaksanakan.

Pada fase pelaksanaan, proses distribusi dilakukan sesuai rencana pengiriman yang telah disusun. Selama proses tersebut, supervisor logistik tetap menjalankan fungsi koordinasi dan monitoring terhadap kondisi operasional armada sehingga apabila terjadi perubahan kondisi lapangan maupun kendala distribusi, keputusan operasional dapat segera dikoordinasikan dengan pihak terkait.

Setelah proses pengiriman selesai, sistem memasuki fase pengendalian dan penyelesaian administrasi (*control and settlement*), yaitu tahap penyelesaian seluruh aktivitas administratif distribusi. Berbeda dengan dua fase sebelumnya

yang berorientasi pada pelaksanaan distribusi, fase ini berfungsi sebagai mekanisme pengendalian administratif untuk memastikan seluruh aktivitas distribusi telah terdokumentasi dan dapat dipertanggungjawabkan.

Selain menggambarkan struktur proses, *Business Process Model and Notation* (BPMN) juga menunjukkan aliran informasi (*Information Flow*) yang menghubungkan setiap stakeholder sepanjang proses distribusi, mulai dari tahap perencanaan, pelaksanaan, hingga pengendalian. Setiap informasi yang dihasilkan menjadi masukan (*Input*) bagi aktivitas berikutnya sehingga membentuk aliran informasi yang mendukung keseluruhan proses distribusi.

Namun, hasil pemodelan BPMN menunjukkan bahwa meskipun proses bisnis telah memiliki alur operasional yang terstruktur, integrasi informasi antaraktivitas belum terbentuk secara menyeluruh. Data operasional yang dihasilkan pada setiap fase masih tersebar pada berbagai sistem dan media, seperti SAP, Microsoft Excel, SharePoint, dokumen fisik, serta komunikasi langsung antarstakeholder. Akibatnya, data tersebut belum dapat ditransformasikan secara langsung menjadi informasi kinerja yang mendukung proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi secara berkelanjutan.

4.1.2 Analisis Sistem Informasi

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, sistem yang digunakan meliputi SAP (System Application and Products in Data Processing), Microsoft Excel, SoloFleet, serta dokumen fisik sebagai media administrasi distribusi. Berikut ringkasan fungsi sistem, data yang dihasilkan, serta tingkat integrasinya disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Sistem informasi proses distribusi

Sistem Informasi	Fungsi Operasional	Data yang Dihasilkan	Tingkat Integrasi
SAP	Pengelolaan transaksi distribusi, data pelanggan, stok, dan shipment	<i>Shipment Order</i> , master customer, stok, data transaksi	Belum terintegrasi langsung dengan sistem monitoring dan pelaporan distribusi
Microsoft Excel	Routing, pencatatan biaya, rekapitulasi dan pelaporan	<i>Delivery Route</i> , biaya operasional, laporan distribusi	Berdiri sendiri dan memerlukan <i>Input</i> manual
SharePoint	Penyimpanan dan distribusi dokumen	<i>Purchase Order</i> , dokumen distribusi	Berfungsi sebagai media berbagi dokumen, bukan basis data operasional
SoloFleet	Monitoring armada berbasis GPS	Lokasi armada, histori perjalanan	Tidak terhubung dengan data order maupun POD
Dokumen Fisik	Administrasi distribusi	Surat jalan, POD, dokumen retur	Memerlukan proses <i>Input</i> ulang ke sistem

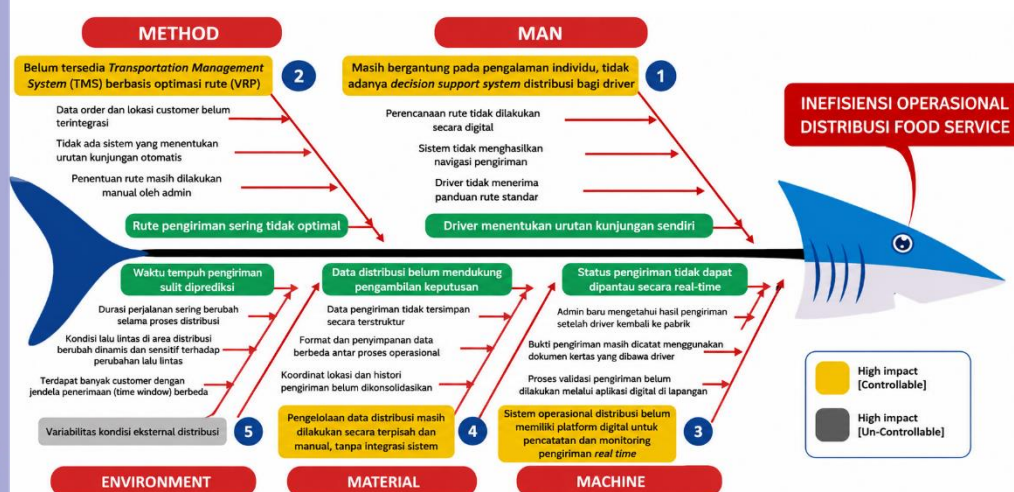
Berdasarkan Tabel 4.1 terlihat bahwa setiap sistem telah mampu mendukung fungsi operasional pada proses distribusi, namun hubungan antar sistem masih bersifat parsial. Data yang dihasilkan oleh masing-masing sistem

belum mengalir secara otomatis menuju sistem lainnya sehingga perpindahan informasi masih mengandalkan proses ekspor-impor data, *Input* ulang, maupun pertukaran dokumen antar unit kerja. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa arsitektur sistem informasi yang digunakan masih berorientasi pada *transaction processing*, yaitu mendukung penyelesaian aktivitas operasional, dibandingkan membangun aliran informasi yang terintegrasi untuk kebutuhan monitoring dan evaluasi kinerja.

Meskipun setiap sistem telah menghasilkan data operasional sesuai dengan fungsinya, data tersebut belum dapat dikonsolidasikan menjadi informasi kinerja yang akurat, konsisten, dan tersedia secara real-time. Akibatnya, proses monitoring kinerja distribusi masih bergantung pada rekapitulasi manual dari berbagai sumber data sehingga menghambat evaluasi operasional dan pengambilan keputusan berbasis data secara tepat waktu. Temuan ini menunjukkan bahwa permasalahan utama perusahaan bukan terletak pada keterbatasan jumlah aplikasi yang digunakan, melainkan belum adanya mekanisme integrasi yang mampu menghubungkan data operasional dari berbagai sistem menjadi informasi kinerja yang terstruktur. Oleh karena itu, kebutuhan perusahaan bukan sekadar menambah aplikasi baru, tetapi mengembangkan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem yang mengintegrasikan data operasional menjadi informasi kinerja untuk mendukung monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi. Temuan tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam penyusunan analisis akar permasalahan dan identifikasi performance measurement gap pada tahap berikutnya.

4.1.3 Analisis Akar Permasalahan

Setelah dilakukan analisis terhadap proses bisnis dan sistem informasi existing, tahap berikutnya adalah mengidentifikasi akar penyebab yang menghambat efektivitas operasional distribusi. Identifikasi akar permasalahan dilakukan menggunakan Fishbone Diagram (Cause and Effect Diagram) dengan pendekatan 6M (*Man, Method, Machine, Material, Measurement, dan Environment*). Hasil analisis akar permasalahan disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Fishbone Diagram

Berdasarkan Gambar 4.2, penyebab inefisiensi operasional distribusi tidak berasal dari satu faktor tunggal, melainkan merupakan kombinasi beberapa faktor yang saling berkaitan. Hasil analisis menunjukkan bahwa akar penyebab utama dapat dikelompokkan menjadi lima aspek, yaitu metode distribusi, sumber daya manusia, sistem informasi, pengelolaan data, dan kondisi operasional distribusi.

(1) Metode distribusi belum mendukung pengambilan keputusan berbasis system

Pada aspek Method, proses perencanaan distribusi masih dilakukan secara manual dan belum didukung oleh sistem yang memiliki kemampuan optimasi rute berbasis yang sesuai dengan kondisi distribusi Japfa. Penyusunan urutan kunjungan pelanggan masih bergantung pada pengalaman Admin Distribusi tanpa mempertimbangkan optimasi jarak tempuh maupun urutan pelayanan secara sistematis. Akibatnya, rute distribusi yang dihasilkan belum tentu merupakan rute paling efisien sehingga berpotensi meningkatkan jarak tempuh, waktu distribusi, serta biaya transportasi.

(2) Pengambilan keputusan operasional masih bergantung pada pengalaman individu

Pada aspek Man, proses distribusi masih sangat dipengaruhi oleh pengalaman individu, baik pada tahap perencanaan maupun pelaksanaan distribusi. Driver belum memperoleh panduan rute maupun navigasi pengiriman yang dihasilkan secara otomatis oleh sistem sehingga penentuan urutan kunjungan masih dapat berubah sesuai kondisi di lapangan. Ketergantungan terhadap pengalaman individu menyebabkan standar pelaksanaan distribusi menjadi sulit dikendalikan serta meningkatkan variasi performa antar pengemudi.

(3) Sistem informasi belum mendukung monitoring distribusi secara real-time

Pada aspek Machine, perusahaan telah memanfaatkan beberapa sistem informasi untuk mendukung aktivitas distribusi, namun belum memiliki platform digital yang mampu mengintegrasikan proses pencatatan dan monitoring pengiriman secara real-time. Informasi status pengiriman baru diperoleh setelah Driver kembali ke depo dan menyerahkan dokumen fisik kepada admin POD untuk dilakukan proses verifikasi. Kondisi tersebut menyebabkan manajemen belum dapat memonitor perkembangan distribusi secara langsung ketika proses pengiriman sedang berlangsung.

(4) Data distribusi masih terfragmentasi dan belum terintegrasi

Pada aspek Material, data operasional distribusi dihasilkan oleh berbagai sistem dengan format penyimpanan yang berbeda sehingga belum membentuk satu basis data yang terintegrasi. Data transaksi, data rute distribusi, data lokasi armada, dokumen pengiriman, serta biaya operasional masih tersimpan pada media yang berbeda dan memerlukan proses rekapitulasi manual sebelum dapat digunakan sebagai laporan distribusi. Fragmentasi data tersebut menyebabkan informasi operasional sulit dikonsolidasikan menjadi informasi kinerja yang akurat dan konsisten.

(5) Variabilitas lingkungan distribusi meningkatkan kompleksitas operasional

Pada aspek Environment, karakteristik distribusi food service memiliki tingkat dinamika yang tinggi karena dipengaruhi oleh kondisi lalu lintas, penyebaran lokasi pelanggan, serta perbedaan jadwal penerimaan barang (*delivery Time Window*). Faktor-faktor tersebut berada di luar kendali perusahaan, namun memberikan pengaruh langsung terhadap ketepatan waktu pengiriman dan efisiensi distribusi. Oleh karena itu, sistem distribusi memerlukan kemampuan adaptasi terhadap perubahan kondisi operasional agar pelayanan kepada pelanggan tetap dapat dipertahankan.

Hasil analisis Fishbone menunjukkan bahwa kelima faktor penyebab tersebut saling berkaitan dan membentuk suatu permasalahan sistemik. Dengan demikian, peningkatan kinerja distribusi tidak dapat dicapai hanya melalui perbaikan pada satu aspek, tetapi memerlukan pendekatan yang mampu mengintegrasikan proses bisnis, sistem informasi, data operasional, dan mekanisme pengukuran kinerja secara menyeluruh. Temuan ini memperkuat kebutuhan akan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi sebagai subsistem yang mentransformasikan data operasional menjadi informasi kinerja untuk mendukung monitoring dan pengambilan keputusan.

4.1.4 Performance Baseline

Performance Baseline bertujuan menggambarkan tingkat kinerja distribusi berdasarkan data operasional existing sehingga area yang memerlukan peningkatan dapat diidentifikasi secara objektif. Berdasarkan hasil wawancara, PT XYZ menggunakan On-Time In-Full (OTIF) sebagai indikator utama dalam mengevaluasi kinerja distribusi. Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa data operasional yang tersedia, yaitu Shipment JKF, Rekapitulasi Pengiriman Ayam, Proposal Trade Return, dan Rekapitulasi Biaya Operasional (BOP), sebenarnya memungkinkan perhitungan berbagai metrik performa lainnya meskipun belum dimanfaatkan dalam proses evaluasi.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perhitungan *Baseline Performance Metrics* menggunakan data operasional periode Oktober–Desember 2025. Perhitungan tersebut bertujuan memperoleh gambaran kondisi aktual distribusi sebelum dilakukan proses rekayasa indikator kinerja. Baseline ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan performance improvement objective serta pemilihan indikator kinerja yang akan diimplementasikan pada Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan indikator kinerja existing

Baseline Performance Metric	Nilai	Interpretasi Singkat
OTIF	79,78%	Tingkat ketepatan dan kelengkapan pengiriman
OTD	99,48%	Ketepatan waktu pengiriman
Fill Rate	86,31%	Kemampuan memenuhi permintaan

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan indikator kinerja existing (*lanjutan*)

Baseline Performance Metric	Nilai	Interpretasi Singkat
Average Delivery Time	45 menit	Rata-rata waktu pelayanan
Load Factor	44,10%	Tingkat utilisasi armada
Fuel Efficiency	3,44 Km/L	Efisiensi konsumsi BBM
Cost per Kg	Rp625/Kg	Efisiensi biaya distribusi
Driver Working Hours	12 jam 33 menit	Beban kerja pengemudi

Sumber: Data operasional distribusi Perusahaan bulan Oktober-Desember 2025

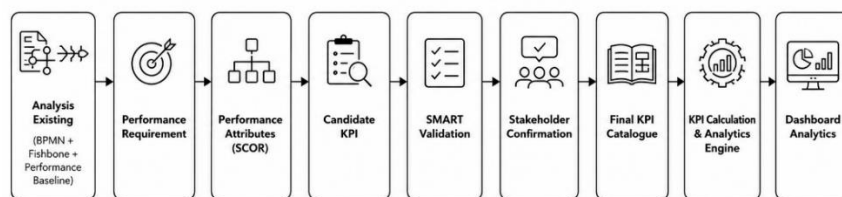
Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beberapa indikator masih memiliki ruang peningkatan yang signifikan. Nilai OTIF sebesar 79,78% dan Fill Rate sebesar 86,31% menunjukkan bahwa tingkat pemenuhan layanan distribusi belum optimal, sedangkan Load Factor sebesar 44,10% mengindikasikan rendahnya pemanfaatan kapasitas armada. Di sisi lain, rata-rata jam kerja pengemudi mencapai 12 jam 33 menit, yang menunjukkan tingginya beban operasional dalam proses distribusi. Temuan tersebut menjadi dasar dalam penyusunan *Performance Requirement* serta penentuan indikator kinerja yang akan dikembangkan pada tahap berikutnya.

4.2 Rekayasa Pengukuran Kinerja (*Performance requirement engineering*)

Berdasarkan hasil analisis sistem existing pada Subbab 4.1, diketahui bahwa permasalahan utama PT XYZ terletak pada belum adanya mekanisme yang mampu mentransformasikan data operasional menjadi informasi kinerja yang mendukung monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan tahapan *Performance Measurement Engineering* untuk menerjemahkan kebutuhan operasional perusahaan menjadi kebutuhan pengukuran kinerja yang terstruktur sebelum dilakukan proses *Requirement Engineering* dan perancangan sistem.

Menurut Bititci *et al.* (1997), *Performance Measurement System* merupakan sistem informasi yang menjadi inti dari *Performance Management System* karena berfungsi mengubah data operasional menjadi informasi kinerja yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan dan perbaikan berkelanjutan. Dengan demikian, sistem pengukuran kinerja tidak hanya berfungsi menghasilkan indikator, tetapi juga harus mampu mengintegrasikan data operasional, mengolah data tersebut menjadi informasi yang bermakna, serta mendukung proses evaluasi performa organisasi secara berkelanjutan.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu pendekatan rekayasa (*engineering approach*) yang mampu menerjemahkan kebutuhan operasional perusahaan menjadi indikator kinerja yang relevan, terukur, dan dapat diimplementasikan pada *Transportation Management System*. Pada penelitian ini, proses tersebut dilakukan melalui tahapan *Performance Measurement Engineering* ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Tahapan *Performance Measurement Engineering*

4.2.1 *Performance Requirement*

Tahap pertama dalam *Performance Measurement Engineering* adalah mengidentifikasi *Performance Requirement*, yaitu kebutuhan kinerja yang harus dipenuhi oleh sistem pengukuran kinerja distribusi. Identifikasi *Performance Requirement* dilakukan berdasarkan hasil analisis proses bisnis distribusi menggunakan *Business Process Model and Notation* (BPMN), analisis akar penyebab menggunakan Fishbone Diagram, serta performa baseline yang telah dibahas pada Subbab 4.1. Ketiga analisis tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi existing dengan kondisi yang diharapkan sehingga kebutuhan kinerja yang dirumuskan benar-benar mencerminkan permasalahan operasional perusahaan.

Berdasarkan hasil sintesis analisis pada BPMN dan Fishbone diagram, kebutuhan utama sistem tidak hanya berupa digitalisasi proses administrasi distribusi, tetapi juga peningkatan kemampuan perusahaan dalam mengukur, memantau, serta mengevaluasi kinerja distribusi secara objektif. Oleh karena itu, *Performance Requirement* pada penelitian ini difokuskan pada peningkatan kualitas pengukuran kinerja distribusi melalui integrasi data operasional, otomatisasi perhitungan indikator kinerja, penyediaan *dashboard analytics*, serta penyediaan informasi yang mampu mendukung proses pengambilan keputusan.

Tabel 4. 3 *Performance requirement*

<i>Performance Requirement</i>	Kondisi existing	<i>Engineering Objective</i>	Implikasi Sistem
Meningkatkan keandalan pengukuran kinerja distribusi	Perhitungan KPI masih dilakukan secara manual menggunakan Microsoft Excel	Mengotomatisasi proses perhitungan KPI agar lebih cepat, konsisten, dan akurat	KPI Calculation Engine
Meningkatkan visibilitas kinerja distribusi	Monitoring dilakukan setelah seluruh proses distribusi selesai dan belum tersedia secara real-time	Menyediakan monitoring kinerja distribusi secara real-time	<i>Dashboard analytics</i>
Meningkatkan integrasi data distribusi	Data operasional masih tersebar pada <i>Shipment JKF</i> , Rekapitulasi Pengiriman Ayam, Proposal <i>Trade Return</i> , dan Rekapitulasi BOP	Mengintegrasikan seluruh sumber data distribusi ke dalam satu sistem	Data Integration Layer

Tabel 4. 3 *Performance requirement (lanjutan)*

<i>Performance Requirement</i>	<i>Kondisi existing</i>	<i>Engineering Objective</i>	<i>Implikasi Sistem</i>
Meningkatkan dukungan pengambilan keputusan	Supervisor logistik belum memiliki <i>dashboard analytics</i> sebagai dasar evaluasi performa	Menyediakan <i>dashboard analytics</i> dan laporan KPI yang terintegrasi	Executive Dashboard dan <i>report export</i>

Berdasarkan Tabel 4.3, setiap *Performance Requirement* tidak hanya merepresentasikan kebutuhan peningkatan kinerja distribusi, tetapi juga menjadi dasar dalam menentukan komponen utama Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang akan dikembangkan. Dengan demikian, proses ini menunjukkan adanya hubungan yang dapat ditelusuri (*traceability*) antara permasalahan operasional yang diidentifikasi pada Subbab 4.1 dengan solusi rekayasa yang dirancang. Setiap kebutuhan kinerja diterjemahkan menjadi tujuan rekayasa (*Engineering Objective*) dan implikasi sistem sehingga pengembangan DPMS tidak dilakukan berdasarkan asumsi, tetapi berdasarkan kebutuhan operasional perusahaan.

4.2.2 Penentuan *Performance Attributes* Berdasarkan SCOR

Pada penelitian ini digunakan *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) Model sebagai kerangka kerja dalam mengelompokkan kebutuhan pengukuran kinerja distribusi. SCOR merupakan model referensi yang dikembangkan oleh Supply Chain Council dan saat ini dikelola oleh Association for Supply Chain Management (ASCM). Model ini menyediakan kerangka pengukuran kinerja yang menghubungkan tujuan proses rantai pasok dengan atribut performa dan metrik pengukuran yang terstandarisasi. Menurut ASCM, *Performance Attributes* merepresentasikan karakteristik utama yang harus dicapai oleh suatu proses rantai pasok dan menjadi dasar dalam pemilihan indikator kinerja yang relevan.

Penggunaan SCOR pada penelitian ini tidak dimaksudkan untuk memodelkan seluruh proses rantai pasok perusahaan, melainkan digunakan sebagai kerangka konseptual untuk mengelompokkan kebutuhan pengukuran kinerja distribusi. Dengan demikian, setiap *Performance Requirement* yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya dapat diterjemahkan menjadi atribut performa yang sesuai sebelum dilakukan perumusan kandidat indikator kinerja.

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan kinerja pada Subbab 4.2.1, empat atribut dipandang paling relevan, yaitu *Reliability*, *Responsiveness*, *Cost*, dan *Asset Management Efficiency*. Sementara itu, atribut *Agility* tidak digunakan karena penelitian ini tidak membahas kemampuan perusahaan dalam merespons perubahan jaringan rantai pasok, fluktuasi permintaan, maupun perubahan strategi bisnis secara makro. Hubungan antara *Performance Requirement* dengan atribut performa SCOR disajikan pada Tabel 4.4. Penentuan atribut performa mengacu pada SCOR DS *Version* 13.0 yang dikembangkan oleh ASCM (2022).

Tabel 4. 4 Penentuan *performance requirement* berdasarkan SCOR

<i>Performance Requirement</i>	SCOR Performance Attribute	Justifikasi
Meningkatkan keandalan pengukuran kinerja distribusi	<i>Reliability</i>	Fokus utama distribusi adalah memenuhi pesanan pelanggan secara tepat waktu dan lengkap sehingga diperlukan indikator yang mampu mengukur keandalan pelayanan distribusi.
Meningkatkan visibilitas kinerja distribusi	<i>Responsiveness</i>	Monitoring kinerja memerlukan indikator yang menggambarkan kecepatan proses distribusi dan penyediaan informasi kepada pengguna.
Meningkatkan kemampuan evaluasi efisiensi biaya distribusi	<i>Cost</i>	Efisiensi biaya merupakan salah satu sasaran utama pengelolaan distribusi sehingga diperlukan indikator yang mampu mengevaluasi penggunaan sumber daya finansial.
Meningkatkan efektivitas pemanfaatan armada distribusi	<i>Asset Management Efficiency</i>	Distribusi membutuhkan pemanfaatan armada yang optimal sehingga diperlukan indikator untuk mengevaluasi utilisasi aset distribusi.

Hasil pemetaan menunjukkan bahwa keempat atribut SCOR yang dipilih telah mampu merepresentasikan seluruh kebutuhan kinerja distribusi yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa ruang lingkup pengukuran kinerja pada penelitian telah mencakup aspek keandalan pelayanan, kecepatan distribusi, efisiensi biaya, serta pemanfaatan aset distribusi. Dengan demikian, penggunaan SCOR tidak hanya berfungsi sebagai kerangka klasifikasi KPI, tetapi juga memastikan bahwa indikator yang dikembangkan memiliki keterkaitan dengan tujuan peningkatan kinerja distribusi.

4.2.3 Perumusan *Candidate KPI*

Berdasarkan atribut performa SCOR yang telah ditetapkan, tahapan berikutnya adalah menyusun daftar kandidat indikator kinerja (*candidate Key Performance Indicator*). Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi seluruh indikator yang secara konseptual mampu merepresentasikan setiap atribut performa SCOR sebelum dilakukan proses seleksi lebih lanjut.

Perumusan kandidat KPI tidak dilakukan secara langsung berdasarkan kondisi perusahaan, melainkan diawali melalui identifikasi indikator yang banyak digunakan pada literatur mengenai pengukuran kinerja distribusi, SCOR Model, serta penelitian terdahulu mengenai *Transportation Management System* dan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi. Pendekatan tersebut bertujuan agar proses pemilihan indikator tidak bersifat subjektif, tetapi memiliki dasar teoritis yang kuat.

Selain mempertimbangkan kesesuaian terhadap atribut performa SCOR, setiap kandidat indikator juga dievaluasi berdasarkan keterkaitannya dengan proses bisnis distribusi PT XYZ serta potensi ketersediaan data operasional

perusahaan. Oleh karena itu, seluruh indikator yang tercantum pada tahap ini masih bersifat kandidat dan belum seluruhnya akan digunakan pada sistem akhir. Proses penyaringan selanjutnya dilakukan melalui Data Availability Assessment, evaluasi menggunakan SMART *Criteria*, serta konfirmasi bersama stakeholder perusahaan. Hasil identifikasi kandidat indikator kinerja berdasarkan atribut performa SCOR disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 *Candidate KPI berdasarkan SCOR attributes*

SCOR Performance Attribute	Candidate KPI	Tujuan Pengukuran	Sumber Data Potensial
<i>Reliability</i>	<i>On-Time In-Full (OTIF)</i>	Mengukur ketepatan waktu dan kelengkapan pengiriman	Shipment JKF, Rekap Pengiriman
	<i>On-Time Delivery (OTD)</i>	Mengukur ketepatan waktu pengiriman	Shipment JKF
	<i>Fill Rate</i>	Mengukur tingkat pemenuhan pesanan pelanggan	Rekap Pengiriman
	<i>Return Rate</i>	Mengukur persentase produk yang dikembalikan	Proposal Trade Return
	<i>Perfect Order Rate</i>	Mengukur persentase pengiriman tanpa kesalahan	Shipment JKF, POD, Return
	<i>Order Fulfillment Rate</i>	Mengukur kemampuan memenuhi seluruh permintaan pelanggan	Rekap Pengiriman
	<i>Order Accuracy Rate</i>	Mengukur ketepatan item yang dikirim kepada pelanggan	Shipment JKF, POD
	<i>Product Quality at Delivery</i>	Mengukur kondisi produk saat diterima pelanggan	Proposal Trade Return
	<i>Temperature Compliance Rate</i>	Mengukur kepatuhan distribusi terhadap standar suhu cold chain	Data sensor suhu/logging kendaraan*
<i>Responsiveness</i>	<i>Average Delivery Time</i>	Mengukur rata-rata waktu pengiriman	Shipment JKF
	<i>Delivery Cycle Time</i>	Mengukur durasi distribusi dari loading hingga diterima pelanggan	Shipment JKF
	<i>Order Cycle Time</i>	Mengukur waktu sejak order diterima hingga pengiriman selesai	SAP, Shipment JKF

Tabel 4. 5 *Candidate KPI berdasarkan SCOR attributes (lanjutan)*

<i>SCOR Performance Attribute</i>	<i>Candidate KPI</i>	<i>Tujuan Pengukuran</i>	<i>Sumber Data Potensial</i>
<i>Cost</i>	<i>Order Response Time</i>	Mengukur kecepatan sistem merespons order distribusi	SAP
	<i>Real-Time Tracking Availability</i>	Mengukur ketersediaan monitoring GPS secara real-time	GPS/TMS
	<i>Customer Inquiry Response Time</i>	Mengukur kecepatan respons terhadap pertanyaan pelanggan	Customer Service Log
	<i>Rerouting Response Time</i>	Mengukur kecepatan penyesuaian rute akibat perubahan kondisi operasional	TMS Routing Log
	<i>Total Distribution Cost</i>	Mengukur total biaya distribusi	Rekapitulasi BOP
	<i>Cost per KG</i>	Mengukur biaya distribusi per kilogram produk	Rekapitulasi BOP
	<i>Cost per Delivery</i>	Mengukur biaya rata-rata setiap pengiriman	Rekapitulasi BOP
	<i>Fuel Consumption</i>	Mengukur efisiensi penggunaan bahan bakar	Shipment JFK, BOP
	<i>Transportation Cost Efficiency</i>	Mengukur proporsi biaya transportasi terhadap aktivitas distribusi	BOP
	<i>Distribution Cost as Percentage of Sales</i>	Mengukur kontribusi biaya distribusi terhadap penjualan	BOP, Data Penjualan*
<i>Asset Management Efficiency</i>	<i>Empty Run Ratio</i>	Mengukur persentase perjalanan kosong armada	GPS/TMS*
	<i>Load Factor</i>	Mengukur tingkat utilisasi kapasitas kendaraan	Rekap Pengiriman
	<i>Fleet Utilization Rate</i>	Mengukur tingkat pemanfaatan armada	Data Armada armada
	<i>Vehicle Capacity Utilization</i>	Mengukur utilisasi kapasitas muatan kendaraan	Rekap Pengiriman
	<i>Vehicle Turnaround Time</i>	Mengukur waktu armada kembali ke depot setelah distribusi	Shipment JFK

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 4. 5 *Candidate KPI* berdasarkan SCOR *attributes* (lanjutan)

<i>SCOR Performance Attribute</i>	<i>Candidate KPI</i>	Tujuan Pengukuran	Sumber Data Potensial
	<i>Route Optimization Effectiveness</i>	Mengukur efektivitas hasil optimasi rute dibanding kondisi aktual	Shipment JFK, Modul Routing*
	<i>Stops per Route per Vehicle</i>	Mengukur produktivitas armada berdasarkan jumlah titik layanan	Shipment JFK

Berdasarkan Tabel 4.5 diperoleh sejumlah kandidat indikator kinerja yang mewakili empat atribut performa SCOR. Jumlah kandidat yang relatif banyak menunjukkan bahwa setiap atribut performa dapat direpresentasikan oleh lebih dari satu indikator, bergantung pada tujuan pengukuran dan karakteristik proses distribusi yang akan dievaluasi.

Temuan ini menunjukkan bahwa proses penyusunan kandidat KPI tidak hanya mempertimbangkan kelengkapan indikator berdasarkan literatur, tetapi juga memperhatikan kesesuaian terhadap karakteristik operasional perusahaan. Oleh karena itu, tahap ini berfungsi sebagai proses divergensi yang menghasilkan berbagai alternatif indikator sebelum dilakukan penyaringan secara bertahap berdasarkan aspek teknis dan kebutuhan implementasi sistem.

4.2.4 SMART Validation

Tahap sebelumnya menunjukkan bahwa tidak seluruh *Candidate KPI* memiliki ketersediaan data yang memadai untuk dihitung secara otomatis. Namun demikian, ketersediaan data saja belum cukup untuk menjadikan suatu indikator sebagai *Key Performance Indicator* (KPI). Suatu KPI harus mampu menggambarkan performa proses bisnis secara jelas, dapat diukur secara konsisten, realistis untuk diterapkan, relevan terhadap tujuan organisasi, serta memiliki periode pengukuran yang terdefinisi.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan SMART Validation sebagai tahap penyaringan lanjutan terhadap *Candidate KPI* yang telah memenuhi aspek ketersediaan data. Validasi dilakukan menggunakan lima kriteria SMART yang meliputi Specific, Measurable, Achievable, Relevant, dan Time-bound. Tahap ini bertujuan memastikan bahwa indikator yang dipilih tidak hanya dapat dihitung oleh sistem, tetapi juga mampu memberikan informasi yang bermakna bagi proses evaluasi kinerja distribusi.

Tabel 4. 6 Kriteria SMART

Kriteria	Definisi dalam penelitian
<i>Specific</i>	KPI secara jelas mengukur satu aspek kinerja distribusi.
<i>Measurable</i>	KPI dapat dihitung menggunakan data operasional perusahaan.
<i>Achievable</i>	KPI dapat diimplementasikan melalui mekanisme perhitungan pada TMS

Tabel 4. 6 Kriteria SMART (*lanjutan*)

Kriteria	Definisi dalam penelitian
<i>Relevant</i>	KPI mendukung kebutuhan evaluasi Supervisor dan Manager Logistik.
<i>Time-bound</i>	KPI memiliki periode pengukuran yang jelas (harian, mingguan, bulanan).

Tabel 4. 7 Matriks skor SMART

Skor	Kriteria
2	Memenuhi sepenuhnya
1	Memenuhi sebagian
0	Tidak memenuhi

Keterangan:

- 9–10 → Lolos
- 7–8 → Dipertimbangkan
- <7 → Tidak dipilih

Tabel 4. 8 Hasil evaluasi kandidat KPI berdasarkan kriteria SMART

<i>Candidate KPI</i>	S	M	A	R	T	Total	Status
OTIF	2	2	2	2	2	10	Lolos
OTD	2	2	2	2	2	10	Lolos
Fill Rate	2	2	2	2	2	10	Lolos
Return Rate	2	2	2	2	2	10	Lolos
Perfect Order Rate	2	1	1	1	2	8	Dipertimbangkan
Order Fulfillment Rate	2	1	2	0	2	7	Dipertimbangkan
Order Accuracy Rate	2	1	1	2	2	8	Dipertimbangkan
Product Quality at Delivery	2	2	1	2	2	9	Lolos
Temperature Compliance Rate	2	0	0	2	2	6	Tidak dipilih
Average Delivery Time	2	2	2	2	2	10	Lolos
Delivery Cycle Time	2	2	2	1	2	9	Lolos
Order Cycle Time	2	1	1	1	2	7	Tidak dipilih
Order Response Time	2	1	1	1	2	7	Tidak dipilih
Real-Time Tracking Availability	2	1	1	2	2	8	Dipertimbangkan
Customer Inquiry Response Time	2	0	0	0	2	4	Tidak dipilih

Tabel 4. 8 Hasil evaluasi kandidat KPI berdasarkan kriteria SMART (*lanjutan*)

<i>Candidate KPI</i>	S	M	A	R	T	Total	Status
Rerouting Response Time	2	0	0	1	2	5	Tidak dipilih
Total Distribution Cost	2	2	2	2	2	8	Dipertimbangkan
Cost per KG	2	2	2	2	2	10	Lolos
Cost per Delivery	2	2	2	2	2	10	Lolos
Fuel Consumption	2	2	2	2	2	10	Lolos
Transportation Cost Efficiency	2	1	1	2	2	8	Dipertimbangkan
Distribution Cost as Percentage of Sales	2	0	0	1	2	5	Tidak dipilih
Empty Run Ratio	2	0	0	1	2	5	Tidak dipilih
Load Factor	2	2	2	2	2	10	Lolos
Fleet Utilization Rate	2	1	1	2	2	8	Dipertimbangkan
Vehicle Capacity Utilization	2	2	2	1	2	9	Lolos
Vehicle Turnaround Time	2	1	1	2	2	8	Dipertimbangkan
Route Optimization Effectiveness	2	0	0	1	2	5	Tidak dipilih
Stops per Route per Vehicle	2	2	2	1	2	9	Lolos

Hasil validasi menunjukkan bahwa indikator yang dipilih telah memenuhi prinsip SMART sebagaimana dikemukakan oleh Doran (1981), yaitu spesifik terhadap aspek performa yang diukur, dapat dihitung menggunakan data operasional perusahaan, realistis untuk diimplementasikan pada *Transportation Management System*, relevan terhadap kebutuhan Supervisor dan Manager Logistik, serta memiliki periode pengukuran yang jelas. Dengan demikian, KPI yang dihasilkan tidak hanya layak secara konseptual, tetapi juga layak diimplementasikan pada sistem yang dikembangkan.

Tahap ini menghasilkan daftar KPI yang telah memenuhi aspek konseptual dan teknis, namun masih memerlukan konfirmasi akhir dari stakeholder untuk memastikan kesesuaiannya terhadap kebutuhan operasional perusahaan.

4.2.5 Stakeholder confirmation

Sebelum *candidate KPI* ditetapkan sebagai indikator akhir, dilakukan *Stakeholder confirmation* untuk memastikan bahwa indikator yang dipilih benar-benar mampu mendukung proses monitoring dan evaluasi distribusi di PT XYZ. Konfirmasi dilakukan melalui wawancara dan diskusi dengan *stakeholder* utama yang terlibat dalam proses distribusi, yaitu supervisor logistik dan manager logistik PT XYZ Depo Cikupa. Kedua *stakeholder* dipilih karena memiliki tanggung jawab langsung dalam mengevaluasi kinerja distribusi, melakukan monitoring operasional, serta mengambil keputusan terkait aktivitas pengiriman.

Pada tahap ini, setiap *candidate KPI* dievaluasi berdasarkan tiga aspek utama, yaitu:

1. Kesesuaian dengan kebutuhan monitoring operasional, yaitu apakah indikator benar-benar diperlukan untuk memantau aktivitas distribusi sehari-hari.
2. Manfaat terhadap pengambilan keputusan, yaitu apakah informasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar evaluasi dan perbaikan distribusi.
3. Kesesuaian dengan implementasi *Transportation Management System*, yaitu apakah indikator dapat ditampilkan dan dimanfaatkan melalui dashboard yang dirancang.

Tabel 4. 9 Kriteria penilaian pada *stakeholder confirmation*

Aspek Penilaian	Deskripsi
Operational Relevance	KPI mendukung monitoring aktivitas distribusi
Decision Support	KPI membantu pengambilan keputusan Supervisor/Manager
System Suitability	KPI sesuai dengan fungsi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi

Keterangan:

- 3 : Sangat Sesuai
- 2 : Sesuai
- 1 : Kurang Sesuai
- 0 : Tidak diperlukan

Tabel 4. 10 Hasil *stakeholder confirmation* terhadap *candidate KPI*

<i>Candidate KPI</i>	Operational Relevance	Decision Support	System Suitability	Keputusan
OTIF	3	3	3	Diterima
OTD	3	3	3	Diterima
Fill Rate	3	3	3	Diterima
Return Rate	3	3	3	Diterima
Perfect Order Rate	2	1	1	Tidak dipilih
Order Fulfillment Rate	2	2	1	Tidak dipilih
Order Accuracy Rate	2	1	1	Tidak dipilih
Product Quality at Delivery	2	1	1	Tidak dipilih
Average Delivery Time	3	3	3	Diterima
Real-Time Tracking Availability	2	1	1	Tidak dipilih
Total Distribution Cost	3	3	3	Diterima
Cost per KG	3	3	3	Diterima

Tabel 4. 10 Hasil *stakeholder confirmation* terhadap *candidate KPI* (lanjutan)

<i>Candidate KPI</i>	Operational Relevance	Decision Support	System Suitability	Keputusan
Cost per Delivery	3	2	3	Diterima
Fuel Consumption	3	3	3	Diterima
Transportation Cost Efficiency	2	2	1	Tidak dipilih
Load Factor	3	3	3	Diterima
Fleet Utilization Rate	2	2	1	Tidak dipilih
Vehicle Capacity Utilization	2	1	1	Tidak Dipilih
Vehicle Turnaround Time	2	1	1	Tidak dipilih
Delivery Cycle Time	2	1	2	Tidak Dipilih

Hasil konfirmasi menunjukkan bahwa sebagian besar indikator yang telah lolos SMART Validation dinilai relevan oleh *stakeholder* karena mampu memberikan informasi yang dibutuhkan untuk memantau kinerja distribusi. Konfirmasi *stakeholder* juga menunjukkan bahwa pemilihan KPI tidak hanya didasarkan pada pendekatan teoritis, tetapi juga mempertimbangkan kebutuhan pengguna akhir (*user-centered engineering*). Pendekatan ini memastikan bahwa setiap indikator yang dipilih benar-benar mendukung aktivitas monitoring dan pengambilan keputusan sehingga meningkatkan peluang keberhasilan implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi di lingkungan operasional perusahaan.

4.2.6 Final KPI Catalogue

Tahap akhir dalam proses *Performance Measurement Engineering* adalah penyusunan Final KPI Catalogue. Katalog KPI merupakan hasil akhir dari proses seleksi yang dilakukan secara bertahap melalui identifikasi *candidate KPI* berdasarkan SCOR *Performance Attributes*, evaluasi ketersediaan data (Data Availability Assessment), validasi menggunakan SMART *Criteria*, serta konfirmasi bersama *stakeholder*. Dengan demikian, indikator yang ditetapkan tidak hanya memiliki dasar teoritis yang kuat, tetapi juga sesuai dengan kebutuhan operasional perusahaan serta dapat dihitung menggunakan data yang tersedia.

Hasil proses seleksi menunjukkan bahwa terdapat sembilan indikator kinerja yang memenuhi seluruh kriteria dan dinilai mampu merepresentasikan kinerja distribusi PT XYZ. Kesembilan indikator tersebut mencakup empat dimensi utama kinerja distribusi, yaitu *Reliability*, *Responsiveness*, *Cost*, dan *Asset Management Efficiency*. Seluruh KPI selanjutnya menjadi dasar dalam penyusunan kebutuhan informasi (*Information Requirement*), kebutuhan data (*Data Requirement*), perancangan KPI *Calculation Engine*, serta pengembangan dashboard pada *Transportation Management System*.

Tabel 4. 11 *Final* katalog KPI

SCOR <i>Performance Attribute</i>	Final KPI	Definisi	Tujuan Pengukuran	Frekuensi
<i>Reliability</i>	<i>On-Time In-Full (OTIF)</i>	Persentase pengiriman tepat waktu dan lengkap sesuai pesanan.	Mengukur tingkat keberhasilan pemenuhan layanan distribusi.	Harian, Mingguan, Bulanan
	<i>On-Time Delivery (OTD)</i>	Persentase pengiriman yang tiba sesuai jadwal.	Mengukur ketepatan waktu proses distribusi.	Harian, Mingguan, Bulanan
	<i>Fill Rate</i>	Persentase jumlah produk yang berhasil dipenuhi dibandingkan dengan total permintaan pelanggan.	Mengukur kemampuan perusahaan dalam memenuhi permintaan pelanggan.	Harian, Mingguan, Bulanan
	<i>Return Rate</i>	Persentase produk yang dikembalikan terhadap total produk yang didistribusikan.	Mengukur kualitas hasil distribusi serta efektivitas proses pengiriman.	Bulanan
<i>Responsiveness</i>	<i>Average Delivery Time</i>	Rata-rata waktu sejak kendaraan berangkat hingga pengiriman selesai.	Mengukur kecepatan pelayanan distribusi kepada pelanggan.	Harian, Mingguan, Bulanan
<i>Cost</i>	<i>Total Distribution Cost</i>	Total biaya operasional distribusi dalam periode tertentu.	Mengukur efisiensi biaya distribusi secara keseluruhan	Bulanan
	<i>Cost per KG</i>	Rata-rata biaya distribusi yang dikeluarkan untuk setiap kilogram produk yang dikirim.	Mengukur efisiensi biaya distribusi berdasarkan volume produk yang didistribusikan.	Harian, Bulanan
	<i>Fuel Consumption</i>	Tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan distribusi berdasarkan jarak tempuh.	Mengukur efisiensi penggunaan bahan bakar selama aktivitas distribusi.	Harian, Bulanan
<i>Asset Management Efficiency</i>	<i>Load Factor</i>	Persentase pemanfaatan kapasitas muatan kendaraan terhadap kapasitas maksimum kendaraan.	Mengukur tingkat utilisasi armada distribusi.	Harian, Mingguan, Bulanan

Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 4. 11 *Final* katalog KPI (*lanjutan*)

SCOR <i>Performance Attribute</i>	Final KPI	Definisi	Tujuan Pengukuran	Frekuensi
	<i>Fuel Consumption</i>	Tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan distribusi berdasarkan jarak tempuh.	Mengukur efisiensi penggunaan bahan bakar selama aktivitas distribusi.	Harian, Bulanan
<i>Asset Management Efficiency</i>	<i>Load Factor</i>	Persentase pemanfaatan kapasitas muatan kendaraan terhadap kapasitas maksimum kendaraan.	Mengukur tingkat utilisasi armada distribusi.	Harian, Mingguan, Bulanan

Tabel 4. 12 Pemetaan *final* KPI pada *dashboard* TMS

Dashboard	KPI
<i>Executive Performance Dashboard</i>	<i>OTIF, OTD, Fill Rate, Return Rate, Average Delivery Time</i>
<i>Distribution Cost Dashboard</i>	<i>Total Distribution Cost, Cost per KG, Fuel Consumption</i>
<i>Fleet Performance Dashboard</i>	<i>Load Factor</i>

Hasil penyusunan *Final KPI Catalogue* menunjukkan bahwa proses *Performance Measurement Engineering* berhasil mentransformasikan kebutuhan operasional perusahaan menjadi seperangkat indikator kinerja yang memiliki dasar teoritis, didukung oleh ketersediaan data, serta tervalidasi oleh *stakeholder*. Katalog KPI tersebut selanjutnya menjadi fondasi utama dalam penyusunan *Information Requirement, Data Requirement, dan Functional Requirement* pada tahap *Requirement Engineering*, sehingga keterkaitan antara kebutuhan bisnis, indikator kinerja, dan implementasi sistem tetap terjaga sesuai prinsip *Model-Based Systems Engineering*.

4.3 Rekayasa Kebutuhan (*Requirement Engineering*)

Tahap *Performance Measurement Engineering* menghasilkan *Final KPI Catalogue* yang menjadi dasar dalam pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi. Namun, daftar KPI tersebut belum dapat diimplementasikan secara langsung ke dalam *Transportation Management System* tanpa terlebih dahulu diterjemahkan menjadi kebutuhan sistem (*system requirements*). Oleh karena itu, pada tahap ini dilakukan *Requirement Engineering* untuk mengidentifikasi kebutuhan informasi, kebutuhan data, dan kebutuhan fungsional yang diperlukan agar sistem mampu menghitung, mengolah, serta menyajikan indikator kinerja secara otomatis.

Menurut Pohl (2010), *Requirement Engineering* merupakan proses menerjemahkan kebutuhan bisnis dan kebutuhan pengguna menjadi kebutuhan

sistem yang dapat diimplementasikan selama proses pengembangan perangkat lunak. Sejalan dengan konsep tersebut, *Requirement Engineering* pada penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan goal-driven, yaitu dengan menjadikan setiap KPI pada Final KPI *Catalogue* sebagai titik awal dalam menentukan informasi yang dibutuhkan pengguna, data yang diperlukan untuk proses perhitungan, serta fungsi-fungsi yang harus tersedia pada sistem. Dengan pendekatan ini, seluruh kebutuhan sistem memiliki keterlacakan (*traceability*) terhadap indikator kinerja yang telah dirumuskan pada tahap sebelumnya sehingga rancangan sistem yang dihasilkan tetap konsisten dengan tujuan pengukuran kinerja distribusi.

4.3.1 Data Requirement

Pada tahap ini setiap KPI dianalisis untuk mengidentifikasi elemen data yang diperlukan dalam proses perhitungan. Seluruh kebutuhan data ditelusuri terhadap sumber data existing perusahaan sehingga dapat diketahui apakah sistem memerlukan data baru atau hanya melakukan integrasi terhadap data yang telah tersedia.

Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan data telah tersedia pada dokumen operasional perusahaan, yaitu Shipment JKF, Rekapitulasi Pengiriman Ayam, Proposal Trade Return, dan Rekapitulasi Biaya Operasional (BOP). Oleh karena itu, sistem yang dirancang tidak membutuhkan proses pencatatan baru, tetapi berfokus pada integrasi data dan otomatisasi perhitungan KPI.

Tabel 4. 13 Pemetaan kebutuhan data untuk perhitungan KPI

KPI	Elemen data	Sumber data
OTIF	Delivery Date, Requested Date, Order Quantity, Delivered Quantity	Shipment JKF, Rekap Pengiriman
OTD	Delivery Date, Requested Date	Shipment JKF
Fill Rate	Order Quantity, Delivered Quantity	Rekap Pengiriman
Return Rate	Return Quantity, Return Category	Proposal Trade Return
Average Delivery Time	Departure Time, Arrival Time	Shipment JKF
Total Distribution Cost	Fuel Cost, Toll Cost, Parking Cost, Helper Cost, Other Cost	Rekapitulasi BOP
Cost per KG	Total Distribution Cost, Delivered Weight	Rekapitulasi BOP, Rekap Pengiriman
Fuel Consumption	Distance Travelled, Fuel Used	Shipment JKF, Rekapitulasi BOP
Load Factor	Delivered Weight, Vehicle Capacity	Rekap Pengiriman

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa seluruh kebutuhan data berasal dari data operasional yang telah tersedia pada perusahaan sehingga pengembangan sistem tidak memerlukan mekanisme pencatatan baru. Temuan

ini menunjukkan bahwa fokus pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi berada pada proses integrasi, transformasi, dan pengolahan data menjadi informasi kinerja, bukan pada pembangunan sistem akuisisi data baru.

4.3.2 Functional Requirement

Tahap terakhir dalam *Requirement Engineering* adalah penyusunan kebutuhan fungsional (*Functional Requirement*). Kebutuhan fungsional menjelaskan kemampuan yang harus dimiliki sistem agar mampu mengolah data operasional menjadi informasi kinerja sesuai dengan KPI yang telah ditetapkan. Seluruh fungsi sistem dirumuskan berdasarkan *Information Requirement* dan *Data Requirement* sehingga setiap fungsi memiliki keterkaitan langsung dengan proses pengukuran kinerja distribusi.

Tabel 4. 14 *Functional requirement*

Kode	<i>Functional Requirement</i>
FR-01	Sistem mengintegrasikan data operasional distribusi dari berbagai sumber data TMS.
FR-02	Sistem menghitung KPI secara otomatis berdasarkan formula
FR-03	Sistem menampilkan dashboard Overview Performance.
FR-04	Sistem menampilkan dashboard Distribution Cost Performance.
FR-05	Sistem menampilkan dashboard Return Performance.
FR-06	Sistem menampilkan tren historis KPI berdasarkan periode.
FR-07	Sistem menghasilkan laporan KPI dalam format PDF dan Excel.

Tabel 4. 15 *Non-functional requirement*

Kode	Aspek Kualitas	<i>Non-Functional Requirement</i>
NFR-01	<i>Usability</i>	Sistem menyajikan informasi dashboard dalam bentuk visual yang mudah dipahami dan mendukung proses monitoring serta evaluasi kinerja distribusi.
NFR-02	<i>Reliability</i>	Sistem menghasilkan perhitungan KPI secara konsisten berdasarkan data operasional yang tersimpan pada Operational Database TMS.
NFR-03	Data Consistency	Sistem menjaga konsistensi data antara Performance Calculation & Analytics Engine, dashboard analytics, dan report export sehingga informasi yang ditampilkan berasal dari sumber data yang sama.
NFR-04	<i>Data Integrity</i>	Sistem menjaga integritas data operasional selama proses integrasi, penyimpanan, perhitungan KPI, dan penyajian informasi sehingga hasil pengukuran tetap akurat dan konsisten.

Berbeda dengan kebutuhan fungsional yang menjelaskan kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi tertentu, kebutuhan non-fungsional mendefinisikan karakteristik kualitas yang harus dipenuhi oleh Sistem

Pengukuran Kinerja Distribusi. Pada penelitian ini, kebutuhan non-fungsional difokuskan pada aspek *usability*, *Reliability*, *consistency*, dan *data integrity* karena keempat aspek tersebut berpengaruh langsung terhadap kualitas informasi kinerja yang dihasilkan serta kemudahan pengguna dalam memanfaatkan sistem sebagai pendukung monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi.

Seluruh kebutuhan fungsional menunjukkan bahwa Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi dirancang sebagai subsistem analitik pada *Transportation Management System* yang bertugas mengintegrasikan data operasional, menghitung KPI secara otomatis melalui *KPI Calculation and Analytics Engine*, serta menyajikan informasi kinerja dalam bentuk dashboard analitik dan laporan. Dengan demikian, setiap fungsi yang dirancang memiliki keterlacakan terhadap KPI hasil *Performance Measurement Engineering* sehingga sistem tidak hanya berperan sebagai media visualisasi, tetapi sebagai mekanisme yang mentransformasikan data operasional menjadi informasi kinerja untuk mendukung monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi berbasis data.

4.4 Perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi

Subbab ini menjelaskan proses perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang dikembangkan berdasarkan hasil *Requirement Engineering* pada tahap sebelumnya. Sistem dirancang untuk mengintegrasikan data operasional distribusi dari berbagai sumber, melakukan perhitungan indikator kinerja secara otomatis, serta menyajikan informasi performa melalui *Dashboard analytics* yang mendukung monitoring dan pengambilan keputusan.

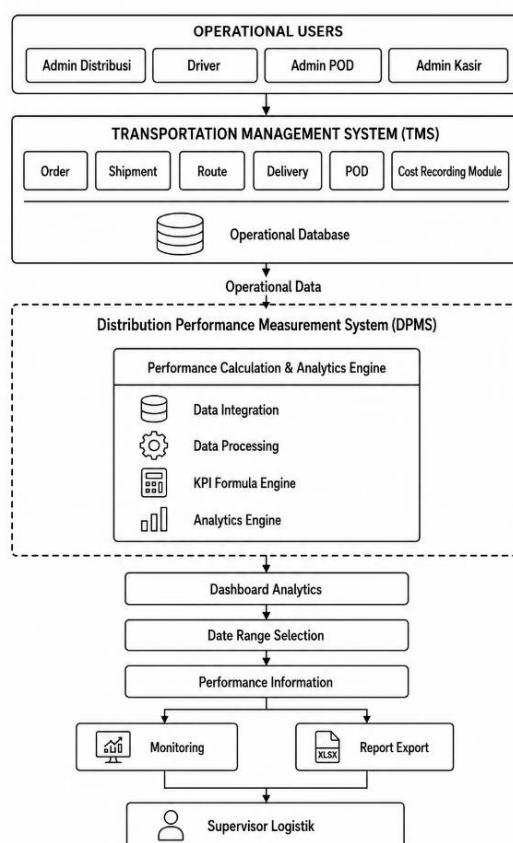
Berbeda dengan kondisi existing yang masih mengandalkan proses pengolahan data secara manual menggunakan beberapa file Microsoft Excel, sistem yang dirancang mengintegrasikan seluruh proses mulai dari pencatatan biaya, transformasi data operasional, perhitungan KPI, hingga visualisasi dashboard ke dalam satu platform *Transportation Management System*. Perancangan sistem terdiri atas empat komponen utama, yaitu Perancangan Arsitektur Sistem, KPI Calculation Engine, dan *dashboard analytics*.

4.4.1 Perancangan Arsitektur Sistem

Tahap pertama dalam perancangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi adalah menyusun arsitektur sistem yang menjadi dasar pengembangan seluruh komponen sistem. Menurut ISO/IEC/IEEE 42010:2022, arsitektur sistem merupakan representasi struktur suatu sistem yang menggambarkan komponen penyusun, hubungan antar komponen, serta prinsip-prinsip yang digunakan dalam perancangannya. Sejalan dengan konsep tersebut, arsitektur pada penelitian ini disusun sebagai blueprint yang menerjemahkan hasil *Requirement Engineering* menjadi struktur sistem yang mampu mengintegrasikan data operasional, melakukan pengukuran kinerja, serta menyajikan informasi yang mendukung proses monitoring dan pengambilan keputusan.

Berdasarkan hasil *Requirement Engineering*, Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi dirancang menggunakan pendekatan data-driven dan modular architecture. Pendekatan data-driven dipilih karena seluruh indikator kinerja

dihitung berdasarkan data operasional yang dihasilkan selama proses distribusi pada *Transportation Management System* (TMS), sedangkan pendekatan modular digunakan untuk memisahkan fungsi pencatatan transaksi operasional, pengolahan data, penyajian informasi, dan pelaporan ke dalam komponen yang memiliki tanggung jawab berbeda namun tetap saling terintegrasi. Pendekatan tersebut mempermudah proses pengembangan, pemeliharaan, serta penambahan indikator kinerja pada masa mendatang tanpa memengaruhi keseluruhan mekanisme sistem. Selain itu, pendekatan ini juga sejalan dengan konsep *Requirement Engineering* menurut Pohl (2010) yang menekankan bahwa kebutuhan bisnis dan kebutuhan pengguna harus diterjemahkan menjadi struktur sistem yang dapat diimplementasikan.



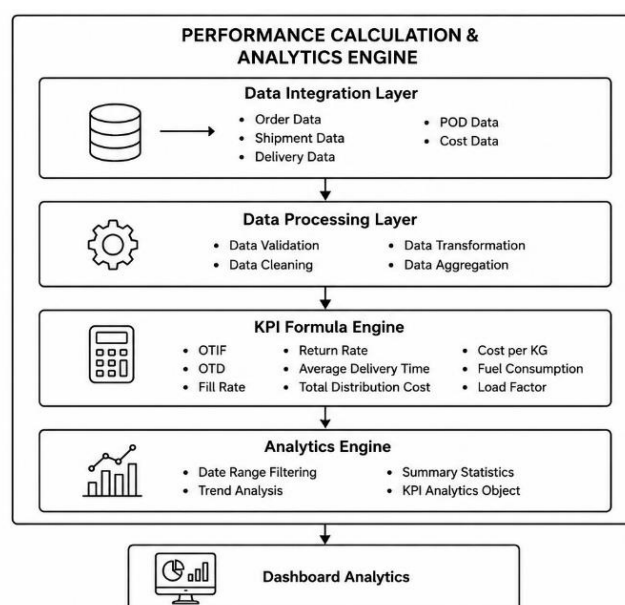
Gambar 4. 3 Perancangan Arsitektur Sistem

Arsitektur yang dihasilkan menunjukkan bahwa Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi tidak berfungsi sebagai sistem operasional yang menerima transaksi secara langsung, melainkan sebagai subsistem analitik yang memanfaatkan data operasional dari *Transportation Management System* untuk menghasilkan informasi kinerja distribusi secara otomatis. Temuan ini sejalan dengan konsep *Performance Measurement System Engineering* yang dikemukakan oleh Neely *et al.* (2000), bahwa sistem pengukuran kinerja tidak hanya ditentukan oleh indikator yang digunakan, tetapi juga oleh mekanisme pengelolaan data yang mampu mentransformasikan data operasional menjadi informasi yang mendukung pengambilan keputusan. Selain itu, hubungan antara kebutuhan pengguna, data operasional, proses perhitungan indikator, hingga

penyajian informasi yang ditunjukkan pada arsitektur sistem mencerminkan prinsip traceability dalam *Model-Based Systems Engineering* (INCOSE, 2023), sehingga setiap keluaran sistem dapat ditelusuri kembali kepada kebutuhan sistem yang telah dirumuskan pada tahap *Performance Measurement Engineering* dan *Requirement Engineering*.

4.4.2 Performance Calculation and *Analytics Engine*

Performance Calculation and *Analytics Engine* merupakan komponen inti pada Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang berfungsi mentransformasikan data operasional distribusi menjadi informasi kinerja yang mendukung proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Berbeda dengan *Transportation Management System* yang berfokus pada pencatatan aktivitas operasional, engine ini berperan mengolah data operasional yang telah tersimpan pada Operational Database menjadi indikator kinerja sesuai kebutuhan pengguna. Dengan demikian, fungsi utama engine bukan hanya melakukan perhitungan KPI, tetapi juga memastikan bahwa informasi yang dihasilkan bersifat konsisten, akurat, dan siap digunakan oleh *dashboard analytics*.



Gambar 4. 4 Arsitektur *KPI Calculation and Analytics Engine*

Gambar 4.6 menunjukkan arsitektur Performance Calculation and *Analytics Engine* yang dikembangkan pada penelitian ini. Data operasional yang dihasilkan oleh berbagai modul *Transportation Management System*, seperti Order, Shipment, Delivery, *Proof of Delivery* (POD), dan *Cost Recording Module*, terlebih dahulu diintegrasikan melalui proses Data Integration. Selanjutnya sistem melakukan Data Processing untuk mempersiapkan data sebelum proses perhitungan indikator dilakukan. Data yang telah siap diproses kemudian dihitung menggunakan *KPI Formula Engine* berdasarkan formula setiap indikator yang telah ditetapkan pada *Final KPI Catalogue*. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya diolah oleh *Analytics Engine* menjadi informasi kinerja yang siap dikirimkan kepada *dashboard analytics* untuk divisualisasikan maupun diekspor menjadi laporan sesuai periode analisis yang dipilih pengguna.

Arsitektur tersebut menunjukkan bahwa *Performance Calculation and Analytics Engine* tidak hanya berfungsi sebagai modul perhitungan KPI, tetapi sebagai mekanisme yang menghubungkan data operasional dengan informasi kinerja secara terintegrasi. Pembagian proses ke dalam beberapa komponen juga mencerminkan prinsip modularity dan traceability pada *Model-Based Systems Engineering* (INCOSE, 2023), di mana setiap informasi yang dihasilkan dapat ditelusuri kembali hingga sumber data operasional yang mendasarinya. Dengan demikian, engine menjadi penghubung utama antara aktivitas operasional pada *Transportation Management System* dengan proses monitoring dan evaluasi yang dilakukan melalui Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

4.4.3.1 Data Integration

Tahap pertama pada *Performance Calculation and Analytics Engine* adalah Data Integration, yaitu proses mengumpulkan dan mengintegrasikan data operasional yang dihasilkan oleh berbagai modul pada *Transportation Management System* ke dalam satu mekanisme pengolahan data. Pada penelitian ini, proses Data Integration memanfaatkan data yang tersimpan pada Operational Database TMS, meliputi data Order, Shipment, Delivery, *Proof of Delivery* (POD), serta *Cost Recording Module*. Untuk memperoleh data sesuai kebutuhan analisis, backend melakukan proses pengambilan (*query*) berdasarkan periode evaluasi yang dipilih oleh pengguna. Sebagai contoh, potongan program berikut menunjukkan mekanisme pengambilan data biaya operasional yang digunakan sebagai masukan dalam proses perhitungan KPI biaya.

```
expenses = db.query(models.OperationalExpense).filter(
    models.OperationalExpense.date >= start_date,
    models.OperationalExpense.date <= end_date
).all()
total_cost = sum([float(e.total) for e in expenses])
```

Potongan program tersebut menunjukkan bahwa backend mengintegrasikan seluruh data biaya operasional berdasarkan rentang waktu (*date range*) yang dipilih pengguna.

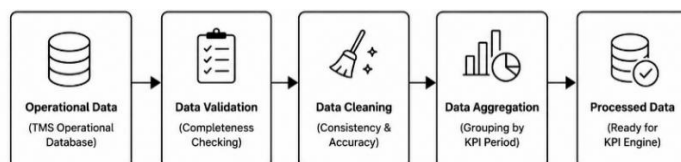
Hasil perancangan menunjukkan bahwa Data Integration berperan sebagai fondasi bagi keseluruhan *Performance Calculation and Analytics Engine*. Tanpa proses integrasi yang baik, indikator kinerja tidak dapat dihitung secara otomatis karena setiap KPI memerlukan kombinasi data yang berasal dari modul operasional yang berbeda. Temuan ini sejalan dengan konsep *Performance Measurement System Engineering* menurut Neely *et al.* (2000), yang menekankan bahwa kualitas sistem pengukuran kinerja sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem dalam mengintegrasikan data operasional sebelum proses analisis dilakukan.

4.4.3.2 Data Processing

Setelah data operasional berhasil diintegrasikan dari berbagai modul pada *Transportation Management System*, tahap berikutnya adalah Data Processing, yaitu proses mempersiapkan data agar memenuhi kebutuhan perhitungan indikator kinerja. Berbeda dengan Data Integration yang

berfokus pada pengumpulan data dari berbagai sumber, Data Processing berfungsi memastikan bahwa data yang digunakan telah memenuhi aspek kelengkapan, konsistensi, dan kesesuaian dengan kebutuhan setiap indikator sehingga proses perhitungan KPI dapat dilakukan secara otomatis dan menghasilkan informasi yang akurat.

Berdasarkan hasil perancangan, mekanisme Data Processing pada Performance Calculation and *Analytics Engine* terdiri atas tiga tahapan utama, yaitu Data Validation, Data Cleaning, dan Data Aggregation, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 5 Mekanisme Data Processing

Tahap Data Validation dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh data operasional yang diperlukan dalam proses pengukuran kinerja telah tersedia dan memenuhi kebutuhan setiap indikator. Proses ini mencakup pemeriksaan kelengkapan atribut data (completeness checking) sehingga hanya data yang memenuhi kebutuhan perhitungan KPI yang diteruskan ke tahap berikutnya.

Selanjutnya dilakukan Data Cleaning untuk meningkatkan kualitas data sebelum proses perhitungan indikator dilakukan. Pada tahap ini sistem menangani data yang tidak lengkap (missing value), menghilangkan data duplikat, serta mengabaikan data yang tidak memenuhi aturan operasional perusahaan. Dengan mekanisme tersebut, proses perhitungan KPI dilakukan menggunakan data yang telah konsisten sehingga mengurangi potensi kesalahan pengukuran akibat kualitas data yang rendah.

Tahap terakhir adalah Data Aggregation, yaitu proses mengelompokkan dan merangkum data operasional sesuai kebutuhan analisis. Data yang telah divalidasi dan dibersihkan dikelompokkan berdasarkan periode pengukuran, seperti harian, mingguan, atau bulanan, serta disesuaikan dengan kebutuhan setiap indikator kinerja. Hasil proses ini berupa processed data yang siap digunakan oleh KPI *Formula Engine* untuk menghitung nilai setiap KPI secara otomatis.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa mekanisme Data Processing tidak hanya berfungsi sebagai proses teknis pengolahan data, tetapi juga sebagai mekanisme yang menjamin kualitas data sebelum dilakukan pengukuran kinerja. Temuan ini sejalan dengan konsep *Performance Measurement System Engineering* yang dikemukakan oleh Neely *et al.* (2000), bahwa kualitas informasi kinerja sangat dipengaruhi oleh kualitas data yang menjadi dasar proses pengukuran. Oleh karena itu, penerapan Data Validation, Data Cleaning, dan Data Aggregation pada penelitian ini memastikan bahwa setiap indikator dihitung menggunakan data operasional yang telah memenuhi aspek kelengkapan, konsistensi, dan relevansi sesuai kebutuhan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

4.4.3.3 KPI Formula Engine

Setelah data operasional melalui proses validasi, pembersihan, dan agregasi pada tahap Data Processing, tahap berikutnya adalah KPI *Formula Engine*. Komponen ini berfungsi menerapkan formula matematis setiap indikator kinerja terhadap data yang telah diproses sehingga menghasilkan nilai *Key Performance Indicator* (KPI) secara otomatis. Berbeda dengan proses existing yang masih mengandalkan perhitungan manual menggunakan Microsoft Excel, *Formula Engine* memungkinkan seluruh indikator dihitung secara konsisten berdasarkan data operasional yang tersimpan pada Operational Database *Transportation Management System* (TMS). Dengan demikian, proses pengukuran kinerja tidak lagi bergantung pada rekapitulasi manual, tetapi dilakukan secara otomatis setiap kali data operasional diperbarui.

Formula yang diterapkan pada engine disusun berdasarkan Final KPI *Catalogue* hasil tahap *Performance Measurement Engineering*. Setiap formula mengacu pada definisi operasional indikator, kebutuhan pengguna, serta ketersediaan data pada *Transportation Management System* sehingga seluruh indikator dapat dihitung menggunakan data yang sama secara konsisten. Pendekatan ini menjaga keterlacakan (*traceability*) antara kebutuhan pengukuran kinerja, rancangan indikator, dan implementasi sistem sesuai prinsip *Model-Based Systems Engineering*.

Tabel 4. 16 Formula perhitungan KPI

KPI	Formula	Input Data
OTIF	$(\text{On-Time \& In-Full Delivery} / \text{Total Delivery}) \times 100\%$	Requested Date, Delivery Date, Ordered Qty, Delivered Qty
OTD	$(\text{On-Time Delivery} / \text{Total Delivery}) \times 100\%$	Requested Date, Delivery Date
Fill Rate	$(\text{Delivered Qty} / \text{Ordered Qty}) \times 100\%$	Ordered Qty, Delivered Qty
Return Rate	$(\text{Returned Qty} / \text{Delivered Qty}) \times 100\%$	Return Qty, Delivered Qty
Average Delivery Time	$\Sigma(\text{Arrival} - \text{Departure}) / \text{Total Delivery}$	Departure, Arrival
Total Distribution Cost	$\Sigma(\text{Fuel} + \text{Toll} + \text{Parking} + \text{Helper} + \text{Others})$	Operational Expense
Cost per KG	$\text{Total Distribution Cost} / \text{Total Delivered Weight}$	Cost, Weight
Fuel Consumption	$\text{Total Distance} / \text{Fuel Used}$	Distance, Fuel
Load Factor	$(\text{Delivered Weight} / \text{Vehicle Capacity}) \times 100\%$	Weight, Capacity

Hasil perancangan dan implementasi KPI Formula Engine menunjukkan bahwa engine ini, sebagai bagian integral dari Performance Calculation and Analytics Engine, berfungsi menerapkan seluruh formula perhitungan Final KPI secara otomatis dan konsisten berdasarkan data operasional terbaru yang tersimpan pada Operational Database Transportation Management System (TMS). Melalui penerapan formula yang telah didefinisikan pada Final KPI Catalogue, sistem mengimplementasikan seluruh formula perhitungan Final KPI secara otomatis, konsisten, dan berdasarkan data operasional terbaru yang tersimpan pada Operational Database *Transportation Management System* (TMS). Data operasional yang dihasilkan dari berbagai modul TMS diintegrasikan ke dalam KPI *Calculation and Analytics Engine*, kemudian diproses menggunakan mekanisme perhitungan yang sesuai untuk setiap indikator kinerja. Hasil perhitungan selanjutnya diteruskan ke *dashboard Analytics* untuk visualisasi informasi secara *real-time* serta *report export* sebagai penyusunan laporan kinerja distribusi. Dengan mekanisme tersebut, KPI *Calculation and Analytics Engine* membangun alur pengukuran kinerja yang terintegrasi mulai dari akuisisi data operasional, perhitungan seluruh Final KPI, hingga penyajian informasi kinerja yang mendukung proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan distribusi.

4.4.3.4 *Analytics Engine*

Setelah seluruh indikator kinerja berhasil dihitung oleh KPI *Formula Engine*, tahap berikutnya adalah *Analytics Engine*. Komponen ini berfungsi mengolah hasil perhitungan KPI menjadi informasi analitis yang siap digunakan oleh *dashboard analytics*. Berbeda dengan KPI *Formula Engine* yang menghasilkan nilai masing-masing indikator secara individual, *Analytics Engine* bertugas menyusun, mengelompokkan, dan menyiapkan hasil perhitungan sesuai kebutuhan analisis pengguna sehingga informasi dapat ditampilkan secara terstruktur tanpa memerlukan proses pengolahan ulang pada sisi frontend.

Berdasarkan hasil *Requirement Engineering*, proses analitik dilakukan melalui dua mekanisme utama, yaitu Analytics Aggregation dan Analytics Object Generation. Kedua mekanisme tersebut memungkinkan seluruh informasi kinerja disusun berdasarkan kebutuhan pengguna serta periode analisis yang dipilih sebelum dikirimkan ke *dashboard analytics*.

4.4.3.4.1 Analytics Aggregation

Tahap pertama pada *Analytics Engine* adalah Analytics Aggregation, yaitu proses mengelompokkan hasil perhitungan KPI menjadi beberapa kelompok informasi sesuai kebutuhan monitoring pengguna. Berbeda dengan proses agregasi pada Data Processing yang bertujuan menyiapkan data operasional sebelum perhitungan indikator, agregasi pada tahap ini dilakukan terhadap hasil perhitungan KPI sehingga menghasilkan informasi yang lebih mudah dianalisis oleh pengguna.

Berdasarkan hasil *Information Requirement*, *Analytics Engine* menghasilkan beberapa kelompok informasi utama, yaitu Executive

Performance, Distribution Cost, Fleet Performance, Today's Fulfillment, dan Historical Trend.

Tabel 4. 17 *Dataset analytics dashboard*

Analytics Dataset	KPI yang Disajikan
Executive Performance	OTIF, OTD, Fill Rate, Return Rate, Average Delivery Time
Distribution Cost	Distribution cost, Cost per KG Cost per trip, Fuel Consumption
Fleet Performance	Load Factor
Today's Fulfillment	Completed, Remaining, In Transit, Completion Rate
Historical Trend	OTIF Trend, Volume Trend

Pengelompokan tersebut memungkinkan setiap dashboard memperoleh informasi yang telah disusun sesuai kebutuhan analisis tanpa harus melakukan proses agregasi ulang pada sisi frontend.

4.4.3.4.2 Analytics Object

Setelah proses agregasi selesai dilakukan, *Analytics Engine* membentuk analytics object yang berisi seluruh informasi kinerja distribusi. Analytics object merupakan struktur data yang digunakan sebagai media pertukaran informasi antara backend dan *dashboard analytics* melalui layanan REST API. Dengan pendekatan tersebut, seluruh dashboard menggunakan sumber data yang sama sehingga konsistensi informasi dapat dipertahankan. Sebagai bukti implementasi, backend menyusun hasil analitik ke dalam satu objek data sebagaimana ditunjukkan pada potongan program berikut.

```
return {
  "status": "success",
  "transportCost": round(total_cost, 2),
  "fillRate": fill_rate,
  "returnRate": return_rate,
  "damageRate": damage_rate
},
"today_target": round(today_target_kg, 1),
"today_remaining": round(today_remaining_kg, 1),
"completed_qty": round(completed_qty_kg, 1),
"otifTrend": otif_trend,
"volumeTrend": volume_trend
```

Potongan program tersebut menunjukkan bahwa backend tidak hanya menghasilkan nilai masing-masing KPI, tetapi juga mengintegrasikan seluruh hasil analisis ke dalam satu analytics object yang siap digunakan oleh *dashboard analytics*. Pendekatan ini menerapkan konsep single source of truth, yaitu seluruh visualisasi dashboard menggunakan dataset yang sama sehingga mengurangi potensi inkonsistensi informasi antarhalaman dashboard.

4.4.3 Dashboard analytics

Dashboard analytics merupakan presentation layer pada Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang berfungsi menyajikan informasi kinerja distribusi dalam bentuk visual sehingga mudah dipahami oleh pengguna. Berbeda dengan Performance Calculation and *Analytics Engine* yang bertanggung jawab melakukan proses pengolahan data dan perhitungan indikator, *dashboard analytics* hanya memanfaatkan analytics object yang dihasilkan oleh backend untuk ditampilkan dalam bentuk kartu indikator, grafik, tabel, maupun visualisasi interaktif. Dengan demikian, seluruh proses komputasi dilakukan pada backend, sedangkan dashboard berfungsi sebagai media komunikasi informasi kepada pengguna.

Dashboard dirancang berdasarkan *Information Requirement* dan *Functional Requirement* yang telah diidentifikasi pada tahap *Requirement Engineering*. Setiap komponen visual memiliki keterkaitan langsung dengan kebutuhan informasi supervisor logistik sehingga informasi yang disajikan tidak hanya menggambarkan kondisi operasional distribusi, tetapi juga mendukung proses monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan. Selain itu, dashboard menyediakan fasilitas date range selection sehingga pengguna dapat menentukan periode analisis sebelum sistem menampilkan hasil perhitungan KPI yang sesuai dengan rentang waktu tersebut.

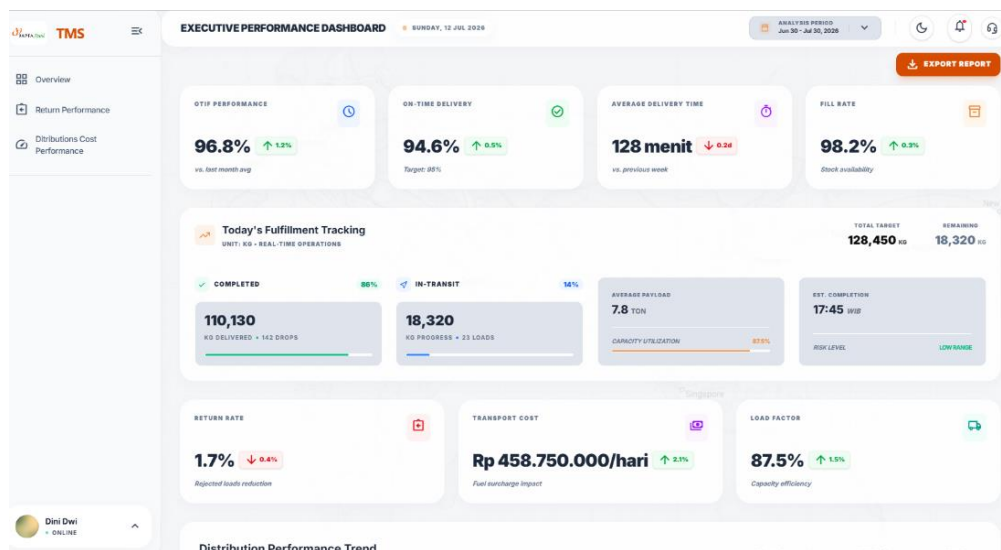
Berdasarkan hasil perancangan, *dashboard analytics* terdiri atas tiga halaman utama, yaitu *Overview Dashboard*, *Return Performance Dashboard*, dan *Logistic Efficiency Dashboard*. Pembagian tersebut dilakukan agar informasi yang disajikan sesuai dengan konteks analisis masing-masing aspek kinerja distribusi. Seluruh halaman dashboard memanfaatkan analytics object yang sama sehingga setiap visualisasi menampilkan informasi yang konsisten tanpa memerlukan proses perhitungan ulang pada sisi frontend. Pendekatan ini menerapkan konsep single source of truth, di mana seluruh informasi berasal dari satu sumber analitik yang sama sehingga meningkatkan konsistensi dan keandalan informasi.

4.4.4.1 Overview Dashboard

Overview Dashboard merupakan halaman utama pada Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang dirancang untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi kinerja distribusi perusahaan. Dashboard ini menjadi media utama bagi supervisor logistik dalam melakukan monitoring terhadap pelaksanaan distribusi karena mengintegrasikan informasi mengenai tingkat pelayanan distribusi, progres operasional harian, efisiensi biaya, serta pemanfaatan armada dalam satu tampilan. Penyajian informasi secara terintegrasi tersebut mengurangi ketergantungan terhadap proses rekapitulasi manual yang sebelumnya dilakukan menggunakan beberapa dokumen dan aplikasi yang berbeda.

Berdasarkan hasil perancangan, *Overview Dashboard* menyajikan informasi dalam bentuk KPI cards, grafik tren, serta panel monitoring operasional. KPI cards digunakan untuk menampilkan ringkasan indikator utama distribusi, sedangkan Today's Fulfillment Tracking menyajikan perkembangan aktivitas distribusi harian sehingga pengguna dapat memantau status penyelesaian pengiriman secara langsung. Selain itu, Distribution

Performance Trend digunakan untuk memperlihatkan perubahan kinerja distribusi pada periode tertentu sehingga kecenderungan peningkatan maupun penurunan kinerja dapat diamati dengan lebih mudah. Dashboard juga menyediakan fasilitas pemilihan periode analisis (date range selection) dan export report sehingga pengguna dapat melakukan evaluasi berdasarkan rentang waktu tertentu sekaligus menghasilkan laporan kinerja sesuai kebutuhan.



Gambar 4. 6 Overview Dashboard (Prototype/Desain Interface)

Tabel 4. 18 Komponen overview dashboard

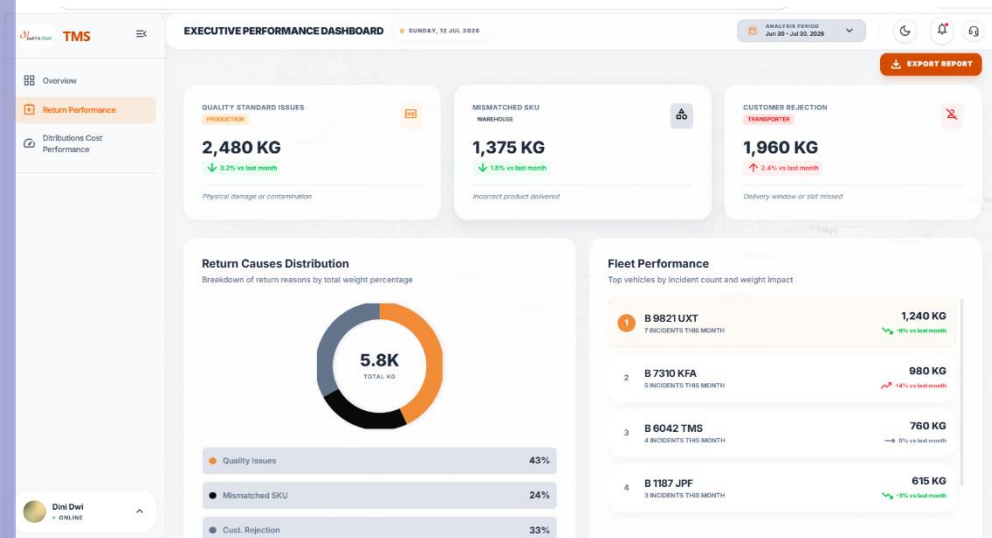
Komponen	Informasi yang Ditampilkan	Fungsi
KPI Cards	Ringkasan KPI distribusi	Monitoring performa utama
Today's Fulfillment Tracking	Status distribusi harian	Monitoring operasional
Distribution Performance Trend	Tren kinerja distribusi	Analisis historis
Date Range Selection	Periode analisis	Filter data
Export Report	Ekspor laporan	Dokumentasi hasil analisis

Hasil perancangan menunjukkan bahwa *Overview Dashboard* tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi informasi, tetapi juga sebagai sarana monitoring operasional dan pendukung pengambilan keputusan. Penyajian berbagai indikator dalam satu tampilan memungkinkan supervisor logistik memperoleh gambaran kondisi distribusi secara cepat, mengidentifikasi penyimpangan performa sejak dini, serta menentukan prioritas tindak lanjut berdasarkan informasi yang dihasilkan oleh Performance Calculation and *Analytics Engine*.

4.4.4.2 Return Performance Dashboard

Return Performance Dashboard dirancang untuk mendukung proses evaluasi terhadap kualitas distribusi melalui penyajian informasi mengenai kejadian retur produk. Dashboard ini dikembangkan sebagai respons terhadap kebutuhan perusahaan untuk mengidentifikasi penyebab retur secara lebih sistematis, mengingat pada sistem sebelumnya informasi retur masih tersebar pada dokumen operasional sehingga proses evaluasi memerlukan penelusuran data secara manual.

Berdasarkan hasil perancangan, dashboard menyajikan informasi dalam bentuk KPI cards, diagram distribusi penyebab retur, informasi performa armada, serta riwayat transaksi retur. Penyajian kategori penyebab retur memudahkan pengguna mengidentifikasi faktor dominan yang mempengaruhi kualitas distribusi, sedangkan visualisasi distribusi penyebab retur memberikan gambaran proporsi setiap kategori permasalahan. Dashboard juga dilengkapi dengan fasilitas pemilihan periode analisis dan export report sehingga proses evaluasi dapat dilakukan secara lebih fleksibel sesuai kebutuhan pengguna.



Gambar 4. 7 Return Performance Dashboard (Prototype)

Tabel 4. 19 Komponen *return performance dashboard*

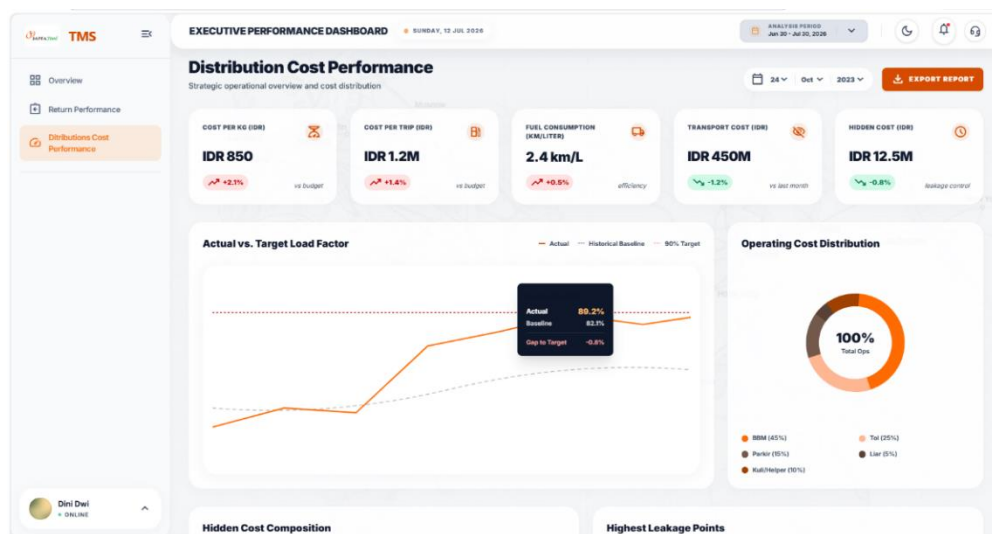
Komponen	Informasi yang Ditampilkan	Fungsi
KPI Cards	Ringkasan kategori retur	Monitoring kualitas distribusi
Return Causes Distribution	Proporsi penyebab retur	Analisis penyebab retur
Fleet Performance	Armada dengan insiden tertinggi	Evaluasi armada
Historical Return Audit	Riwayat transaksi retur	Audit operasional
Date Range Selection & Filter	Periode analisis	Filter data
Export Report	Ekspor laporan	Dokumentasi hasil evaluasi

Hasil perancangan menunjukkan bahwa *Return Performance Dashboard* mampu mendukung proses evaluasi kualitas distribusi secara lebih terstruktur. Informasi yang disajikan tidak hanya membantu mengidentifikasi penyebab utama terjadinya retur, tetapi juga memberikan dasar bagi supervisor logistik dalam menentukan tindakan perbaikan terhadap proses distribusi maupun performa armada sehingga upaya peningkatan kualitas pelayanan dapat dilakukan secara lebih tepat sasaran.

4.4.4.3 *Distribution Cost Performance Dashboard*

Distribution Cost Performance Dashboard dirancang untuk mendukung proses monitoring terhadap efisiensi biaya distribusi dan pemanfaatan armada. Dashboard ini memanfaatkan hasil analisis yang dihasilkan oleh Performance Calculation and *Analytics Engine* sehingga pengguna dapat mengevaluasi kondisi biaya distribusi secara menyeluruh tanpa harus melakukan rekapitulasi data biaya secara manual sebagaimana dilakukan pada sistem sebelumnya.

Berdasarkan hasil perancangan, dashboard menyajikan informasi menggunakan kombinasi KPI cards, grafik perbandingan utilisasi armada, diagram distribusi biaya operasional, komposisi biaya tersembunyi (hidden cost), serta informasi mengenai titik pemborosan biaya (highest leakage points). Seluruh informasi tersebut disusun dalam satu tampilan yang dilengkapi dengan fasilitas date range selection dan export report, sehingga pengguna dapat melakukan analisis biaya berdasarkan periode tertentu serta menghasilkan laporan evaluasi secara langsung.



Gambar 4. 8 *Distribution Cost Performance Dashboard (Prototype)*

Tabel 4. 20 Komponen *distribution cost performance dashboard*

Komponen	Informasi yang Ditampilkan	Fungsi
KPI Cards	Ringkasan indikator biaya	Monitoring biaya distribusi
Actual vs Target Load Factor	Perbandingan utilisasi armada	Evaluasi utilisasi armada
Operating Cost Distribution	Komposisi biaya operasional	Analisis struktur biaya
Hidden Cost Composition	Komposisi biaya tersembunyi	Identifikasi pemborosan
Highest Leakage Points	Lokasi/sumber pemborosan terbesar	Prioritas perbaikan
Date Range Selection	Periode analisis	Filter data
Export Report	Ekspor laporan	Dokumentasi hasil analisis

Hasil perancangan menunjukkan bahwa *Distribution Cost Performance Dashboard* mampu mendukung proses pengendalian biaya distribusi melalui penyajian informasi yang lebih komprehensif dibandingkan sistem sebelumnya. Integrasi informasi mengenai struktur biaya, pemanfaatan armada, dan sumber pemborosan memungkinkan supervisor logistik melakukan evaluasi efisiensi operasional secara lebih cepat serta menentukan prioritas perbaikan berdasarkan data yang dihasilkan oleh sistem.

4.5 Verifikasi dan Validasi Sistem

Setelah proses perancangan dan implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada *Transportation Management System* selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah System Verification and Validation. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan yang dirumuskan pada tahap *Requirement Engineering* serta mampu menjalankan fungsi yang diharapkan oleh pengguna.

Dalam penelitian ini, proses verifikasi dan validasi dilakukan menggunakan dua pendekatan. Verifikasi dilakukan melalui Requirement Validation Matrix untuk memastikan keterlacakan (traceability) antara kebutuhan sistem dengan implementasi modul yang dikembangkan. Selanjutnya, validasi dilakukan melalui *User Acceptance Testing* (UAT) untuk mengevaluasi tingkat penerimaan pengguna terhadap sistem berdasarkan aspek fungsionalitas, reliabilitas, usability, dan efisiensi. Pendekatan tersebut sesuai dengan prinsip *Model-Based Systems Engineering* (MBSE) yang menekankan bahwa setiap kebutuhan sistem harus dapat ditelusuri hingga tahap implementasi dan diverifikasi sebelum sistem dinyatakan memenuhi tujuan pengembangannya.

Melalui tahapan tersebut, penelitian tidak hanya menunjukkan bahwa seluruh modul berhasil diimplementasikan, tetapi juga membuktikan bahwa Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi mampu memenuhi kebutuhan pengukuran kinerja distribusi yang telah diidentifikasi pada tahap analisis sistem.

4.5.1 Requirement Validation Matrix

Requirement Validation Matrix digunakan sebagai alat verifikasi untuk memastikan bahwa setiap kebutuhan fungsional memiliki implementasi yang jelas pada Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi. Matriks ini menyajikan hubungan antara requirement yang diperoleh pada tahap *Requirement Engineering*, modul implementasi yang dikembangkan, bukti implementasi, serta status ketercapaiannya. Penyusunan matriks tersebut memungkinkan proses verifikasi dilakukan secara sistematis karena setiap requirement dapat ditelusuri (*traceable*) hingga komponen sistem yang mengimplementasikannya.

Pada penelitian ini, ruang lingkup validasi difokuskan pada modul yang dikembangkan dalam penelitian individu, yaitu *Performance Calculation and Analytics Engine*, *dashboard analytics*, dan *report export*. Setiap *requirement* dinyatakan terpenuhi (*Pass*) apabila fungsi yang dirancang telah berhasil diimplementasikan dan dapat dijalankan sesuai spesifikasi.

Tabel 4. 21 *Requirement validation matrix*

Kode	Functional Requirement	Implementasi pada Sistem	Bukti Implementasi
FR-01	Sistem mengintegrasikan data operasional distribusi dari berbagai sumber data TMS.	<i>Data Integration Module</i>	Data operasional dari berbagai sumber berhasil diintegrasikan dan digunakan sebagai input perhitungan KPI serta visualisasi dashboard.
FR-02	Sistem menghitung KPI distribusi secara otomatis.	<i>KPI Calculation and Analytics Engine</i>	Seluruh KPI berhasil dihitung secara otomatis sesuai formula implementasi.
FR-03	Sistem menampilkan Overview Dashboard.	<i>Dashboard analytics</i>	Overview Dashboard berhasil menampilkan KPI sesuai periode analisis.
FR-04	Sistem menampilkan Distribution Cost Performance Dashboard.	<i>Dashboard analytics</i>	Dashboard biaya distribusi berhasil menampilkan seluruh indikator biaya distribusi.
FR-05	Sistem menampilkan Return Performance Dashboard.	<i>Dashboard analytics</i>	Dashboard retur berhasil menampilkan indikator Return Performance.
FR-06	Sistem menampilkan tren historis KPI berdasarkan periode.	<i>Dashboard analytics</i>	Grafik tren historis berhasil berubah sesuai periode yang dipilih pengguna.
FR-07	Sistem menghasilkan laporan KPI dalam PDF dan Excel.	<i>Report export</i>	Laporan KPI berhasil diekspor dalam format PDF dan Excel.

Berdasarkan *Requirement Validation Matrix*, seluruh kebutuhan fungsional yang menjadi ruang lingkup penelitian berhasil diimplementasikan pada sistem dengan status *Pass*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terdapat keterlacakan (*requirement traceability*) yang baik antara kebutuhan pengguna, rancangan sistem, dan implementasi modul. Dengan kata lain, setiap requirement

yang dirumuskan pada tahap *Requirement Engineering* telah diterjemahkan menjadi fungsi yang dapat dijalankan pada *Transportation Management System*, sehingga Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi memenuhi spesifikasi desain yang telah ditetapkan sebelum dilakukan pengujian penerimaan oleh pengguna.

4.5.2 User Acceptance Testing (UAT)

4.5.2.1 Metode

Setelah seluruh kebutuhan sistem berhasil diverifikasi, tahap berikutnya adalah melakukan *User Acceptance Testing* (UAT) untuk mengevaluasi tingkat penerimaan pengguna terhadap Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang telah dikembangkan. UAT merupakan metode pengujian yang dilakukan secara langsung oleh pengguna akhir (*end user*) untuk memastikan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan operasional serta mudah digunakan pada kondisi kerja yang sebenarnya.

Pengujian dilakukan oleh *Supervisor Logistik* sebagai pengguna utama *dashboard analytics* yang bertanggung jawab terhadap *monitoring* dan evaluasi kinerja distribusi. Penilaian dilakukan menggunakan skala *Likert* 1–5 yang mencakup empat dimensi, yaitu *Functionality*, *Reliability*, *Usability*, dan *Efficiency*. Keempat dimensi tersebut dipilih karena mampu menggambarkan kualitas sistem dari sisi kelengkapan fungsi, keandalan sistem, kemudahan penggunaan, serta kemampuan sistem dalam meningkatkan efisiensi proses kerja.

Interpretasi hasil penilaian menggunakan skala *Likert* 1–5 dilakukan berdasarkan kategori sebagai berikut: skor 1,0–1,8 dikategorikan *Tidak Baik*, 1,9–2,7 *Kurang Baik*, 2,8–3,6 *Cukup Baik*, 3,7–4,5 *Baik*, dan 4,6–5,0 *Sangat Baik*. Kategorisasi ini digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi tingkat penerimaan pengguna terhadap setiap dimensi kualitas sistem maupun tingkat penerimaan sistem secara keseluruhan.

4.5.2.2 Hasil User Acceptance Testing

Hasil *User Acceptance Testing* menunjukkan tingkat penerimaan *Supervisor Logistik* terhadap Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada empat dimensi kualitas sistem.

Tabel 4. 22 Hasil *user acceptance testing* (UAT)

Pengguna	<i>Functionality</i>	<i>Reliability</i>	<i>Usability</i>	<i>Efficiency</i>
Supervisor Logistik	4,25	4,00	4,00	4,00
Rata-rata	4,06			

Berdasarkan hasil *User Acceptance Testing*, sistem memperoleh nilai rata-rata keseluruhan sebesar 4,06 dari skala 5 dan termasuk dalam kategori baik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi telah dapat diterima oleh pengguna utama dan mampu mendukung kebutuhan *monitoring* serta evaluasi kinerja distribusi.

Hasil *User Acceptance Testing* tersebut melengkapi *Requirement Validation* yang sebelumnya menunjukkan bahwa seluruh *functional requirement* dalam ruang lingkup penelitian telah berhasil diimplementasikan

dengan status *Pass*. Dengan demikian, verifikasi tidak hanya menunjukkan kesesuaian implementasi terhadap spesifikasi sistem, tetapi *User Acceptance Testing* memberikan bukti penerimaan sistem dari sisi pengguna utama.

4.5.3 Operational Efficiency Evaluation

Selain mengevaluasi penerimaan pengguna melalui *User Acceptance Testing*, dilakukan evaluasi efisiensi operasional untuk mengetahui perubahan waktu yang diperlukan dalam proses pengukuran dan monitoring kinerja distribusi setelah implementasi sistem. Evaluasi dilakukan menggunakan pendekatan *before-after analysis* dengan membandingkan waktu penyelesaian aktivitas pada kondisi *existing* dan setelah implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi.

Evaluasi difokuskan pada *Supervisor Logistik* sebagai pengguna utama *dashboard analytics*. Pada kondisi *existing*, proses pengukuran dan monitoring kinerja masih memerlukan rekapitulasi serta pengolahan data dari beberapa sumber. Setelah sistem diterapkan, data operasional diproses secara otomatis oleh *KPI Calculation and Analytics Engine* dan hasil pengukuran disajikan melalui *dashboard analytics*.

Tabel 4. 23 Analisis waktu penyelesaian aktivitas *supervisor logistik*

Aktivitas	Sebelum TMS (detik)	Sesudah TMS (detik)	Penghematan (detik)	Efisiensi
Menghitung indikator kinerja distribusi	10.800	60	10.740	99,44%
Melakukan monitoring kinerja distribusi melalui <i>dashboard analytics</i>	10.800	1.800	9.000	83,33%
Rata-rata Efisiensi				91,39%

Berdasarkan Tabel 4.23, implementasi *KPI Calculation and Analytics Engine* dan *dashboard analytics* mampu meningkatkan efisiensi proses analisis kinerja distribusi dengan rata-rata efisiensi sebesar 91,39%. Aktivitas menghitung indikator kinerja distribusi mengalami penurunan waktu penyelesaian dari 10.800 detik (180 menit) menjadi 60 detik (1 menit) atau meningkat sebesar 99,44%. Peningkatan tersebut terjadi karena sistem secara otomatis mengintegrasikan data distribusi, menerapkan formula perhitungan KPI, dan menghasilkan indikator kinerja tanpa memerlukan proses rekapitulasi maupun perhitungan manual menggunakan Microsoft Excel.

Selain itu, aktivitas monitoring kinerja distribusi mengalami penurunan waktu dari 10.800 detik (180 menit) menjadi 1.800 detik (30 menit) atau meningkat sebesar 83,33%. Sebelum implementasi sistem, supervisor logistik harus mengumpulkan dan membandingkan informasi dari beberapa laporan operasional secara manual. Setelah *dashboard analytics* diterapkan, seluruh indikator kinerja ditampilkan secara terintegrasi dalam satu antarmuka sehingga proses evaluasi kinerja distribusi dapat dilakukan dengan lebih cepat dan sistematis.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa sistem memberikan dampak terhadap efisiensi waktu pada aktivitas pengukuran dan monitoring kinerja distribusi. Pengurangan waktu terutama berasal dari otomatisasi perhitungan KPI dan integrasi informasi kinerja dalam satu *dashboard*, sehingga aktivitas yang sebelumnya memerlukan pengolahan data secara manual dapat dilakukan dengan lebih ringkas.

4.6 Pembahasan dan Implikasi Manajerial

4.6.1 Ketercapaian Tujuan Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, seluruh tujuan penelitian telah berhasil dicapai melalui tahapan pengembangan sistem menggunakan pendekatan *Model-Based Systems Engineering* (MBSE).

Tujuan pertama berhasil dicapai melalui analisis sistem existing yang mengidentifikasi kondisi proses distribusi, kebutuhan *stakeholder*, serta permasalahan pengukuran kinerja distribusi. Hasil analisis menunjukkan bahwa perusahaan telah memiliki data operasional yang memadai, namun belum terintegrasi menjadi informasi kinerja yang mendukung pengambilan keputusan.

Tujuan kedua berhasil dicapai melalui *Performance Measurement Engineering* dan *Requirement Engineering*. Tahapan tersebut menghasilkan *Final KPI Catalogue* yang disusun berdasarkan kebutuhan perusahaan, dipetakan menggunakan atribut performa SCOR, divalidasi menggunakan kriteria SMART, kemudian diterjemahkan melalui *Requirement Engineering* menjadi kebutuhan sistem dan diimplementasikan ke dalam *KPI Calculation and Analytics Engine* sehingga seluruh *Final KPI* dapat dihitung secara otomatis berdasarkan data operasional *Transportation Management System*.

Tujuan ketiga berhasil diwujudkan melalui implementasi *KPI Calculation and Analytics Engine*, *dashboard analytics*, dan *report export* yang terintegrasi dalam *Transportation Management System*. Selanjutnya, hasil *Requirement Validation* dan User Acceptance Test menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna dan dapat mendukung proses monitoring serta evaluasi kinerja distribusi secara otomatis.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil menghasilkan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang mampu mentransformasikan data operasional *Transportation Management System* menjadi informasi kinerja distribusi secara otomatis. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan rekayasa yang digunakan mampu menghubungkan kebutuhan pengukuran kinerja dengan implementasi sistem secara terstruktur sehingga menghasilkan subsistem yang layak diterapkan untuk mendukung pengelolaan kinerja distribusi..

4.6.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi tidak hanya menghasilkan dashboard visualisasi, tetapi membangun mekanisme yang menghubungkan data operasional dengan proses pengukuran kinerja secara otomatis. Berbeda dengan pendekatan yang langsung mengadopsi indikator, penelitian ini menerapkan *Performance Measurement Engineering* untuk merumuskan KPI berdasarkan kondisi existing, kebutuhan

perusahaan, atribut performa SCOR, dan validasi SMART sehingga indikator yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan operasional.

Selanjutnya, *Requirement Engineering* memastikan setiap kebutuhan pengukuran kinerja diterjemahkan menjadi kebutuhan sistem yang dapat diimplementasikan. Pendekatan ini menjaga keterlacakan antara kebutuhan pengguna, indikator kinerja, fungsi sistem, hingga proses verifikasi dan validasi.

Implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi melalui *KPI Calculation and Analytics Engine*, *dashboard analytics*, dan *report export* memungkinkan data operasional yang dihasilkan *Transportation Management System* (TMS) diolah menjadi informasi kinerja secara otomatis. Hasil verifikasi dan validasi menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna dan mendukung monitoring serta evaluasi kinerja distribusi secara lebih cepat, konsisten, dan berbasis data..

4.6.3 Implikasi Manajerial

Implementasi Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi memberikan implikasi terhadap pengelolaan distribusi di PT XYZ, khususnya dalam meningkatkan kualitas monitoring dan pengambilan keputusan operasional. *Transportation Management System* (TMS) menghasilkan data operasional dari berbagai aktivitas distribusi yang kemudian dimanfaatkan oleh Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi melalui *KPI Calculation and Analytics Engine* untuk menghitung seluruh *Final KPI* secara otomatis.

Selain meningkatkan efisiensi proses administrasi, sistem juga menyediakan *dashboard analytics* yang menyajikan indikator kinerja distribusi secara terintegrasi. Informasi tersebut memberikan dasar yang lebih objektif bagi Supervisor dan Manager Logistik dalam melakukan monitoring kinerja distribusi, mengevaluasi efisiensi operasional, serta menetapkan tindakan perbaikan berdasarkan data aktual. Dengan demikian, Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi tidak hanya berfungsi sebagai alat pelaporan, tetapi juga mendukung penerapan data-driven decision making dalam pengelolaan distribusi perusahaan..

4.6.4 Keterbatasan Penelitian

Meskipun penelitian ini berhasil menghasilkan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi yang memenuhi kebutuhan pengguna, masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil penelitian.

Pertama, implementasi sistem dilakukan pada ruang lingkup operasional PT XYZ Depo Cikupa sehingga karakteristik proses bisnis, data operasional, maupun kebutuhan pengguna yang digunakan dalam penelitian masih merepresentasikan kondisi pada satu lokasi operasional. Oleh karena itu, penerapan sistem pada depo lain memerlukan penyesuaian terhadap karakteristik distribusi, struktur organisasi, maupun kebijakan operasional yang berlaku.

Kedua, indikator kinerja yang diimplementasikan pada penelitian ini disusun berdasarkan hasil *Performance Measurement Engineering* dengan mempertimbangkan kebutuhan operasional dan ketersediaan data. Seluruh *Final KPI* yang ditetapkan pada penelitian ini telah berhasil diimplementasikan berdasarkan data operasional yang tersedia pada *Transportation Management*

System. Namun, indikator lain yang memerlukan sumber data tambahan, seperti sensor suhu rantai dingin, telematika kendaraan, atau sensor konsumsi bahan bakar aktual, belum dapat dikembangkan karena data tersebut belum tersedia pada sistem operasional perusahaan.

Ketiga, penelitian berfokus pada perancangan dan implementasi sistem pengukuran kinerja distribusi serta verifikasi terhadap ketercapaian kebutuhan pengguna. Oleh karena itu, evaluasi dampak implementasi terhadap peningkatan kinerja distribusi dalam jangka panjang, seperti perubahan tren KPI setelah sistem digunakan secara rutin, belum menjadi ruang lingkup penelitian ini..

4.6.5 Peluang Pengembangan Sistem

Pengembangan berikutnya tidak lagi berfokus pada implementasi *Final* KPI karena seluruh indikator telah diimplementasikan pada penelitian ini, melainkan pada perluasan sumber data, peningkatan kemampuan analitik, serta pengembangan fungsi prediktif sistem.

Keterbatasan penelitian sekaligus membuka peluang untuk pengembangan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi pada penelitian selanjutnya. Pengembangan pertama dapat dilakukan melalui integrasi yang lebih luas dengan sumber data operasional, seperti perangkat GPS, *sensor Internet of Things* (IoT), maupun sistem telematika kendaraan. Integrasi tersebut memungkinkan proses pengumpulan data dilakukan secara otomatis sehingga indikator yang berkaitan dengan posisi armada, konsumsi bahan bakar, maupun kondisi distribusi dapat dihitung secara lebih akurat dan *real-time*.

Selain peningkatan pada aspek akuisisi data, kemampuan analitik sistem juga dapat dikembangkan dengan menerapkan metode *predictive analytics* maupun *machine learning*. Pendekatan tersebut memungkinkan sistem tidak hanya menyajikan informasi mengenai kondisi kinerja saat ini, tetapi juga memprediksi kecenderungan kinerja distribusi, mengidentifikasi potensi penyimpangan indikator, serta memberikan rekomendasi tindakan korektif sebelum permasalahan terjadi.

Dari sisi implementasi, Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi juga berpotensi dikembangkan sebagai platform yang mendukung pengelolaan distribusi pada beberapa depo (multi-depot) dengan karakteristik operasional yang berbeda. Pengembangan tersebut dapat disertai dengan penyediaan *mobile dashboard*, mekanisme notifikasi (alert), serta integrasi dengan modul optimasi rute sehingga seluruh proses perencanaan, pelaksanaan, monitoring, dan evaluasi distribusi dapat dilakukan dalam satu ekosistem *Transportation Management System* yang terintegrasi.

Dengan arah pengembangan tersebut, Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi tidak hanya berfungsi sebagai sistem pengukuran kinerja, tetapi berpotensi berkembang menjadi *intelligent decision support system* yang mampu mendukung proses pengambilan keputusan distribusi secara lebih proaktif, adaptif, dan berbasis data

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil merancang Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi (DPMS) sebagai subsistem pada *Transportation Management System* (TMS) PT XYZ melalui pendekatan *Model-Based Systems Engineering* (MBSE). Berdasarkan tujuan penelitian, diperoleh simpulan sebagai berikut.

1. Kebutuhan pengukuran kinerja distribusi berhasil diidentifikasi melalui analisis sistem existing, proses bisnis, kebutuhan *stakeholder*, serta analisis data operasional distribusi. Hasil identifikasi menunjukkan bahwa perusahaan telah memiliki data operasional yang memadai, namun proses pengukuran kinerja masih terbatas pada indikator tertentu dan dilakukan secara manual sehingga informasi kinerja belum tersaji secara terintegrasi. Melalui tahapan *Performance Measurement Engineering*, diperoleh katalog KPI yang telah dipetakan menggunakan atribut performa SCOR dan divalidasi menggunakan kriteria SMART sehingga menghasilkan indikator yang sesuai dengan kebutuhan operasional, didukung oleh ketersediaan data, serta layak diimplementasikan pada *Transportation Management System*.
2. Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi berhasil dirancang dan diimplementasikan sebagai subsistem pada *Transportation Management System* melalui pengembangan empat komponen utama, yaitu *KPI Calculation and Analytics Engine*, *dashboard analytics*, dan *report export*. Integrasi keempat komponen tersebut memungkinkan data operasional distribusi yang dihasilkan selama proses bisnis diolah secara otomatis menjadi informasi kinerja distribusi sehingga mendukung kegiatan monitoring, evaluasi, dan pengambilan keputusan secara lebih cepat, konsisten, dan berbasis data.
3. Hasil verifikasi dan validasi menunjukkan bahwa Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi telah memenuhi kebutuhan pengguna dan berfungsi sesuai dengan tujuan pengembangan sistem. *Requirement Validation* menunjukkan seluruh kebutuhan fungsional berhasil diimplementasikan, sedangkan hasil User Acceptance Test (UAT) memperoleh tingkat penerimaan pengguna pada kategori sangat baik. Selain itu, implementasi sistem mampu meningkatkan efisiensi proses pengukuran kinerja melalui otomatisasi perhitungan indikator, penyajian *dashboard analytics* secara real-time, serta pengurangan aktivitas rekapitulasi dan pelaporan manual, sehingga mendukung pengelolaan kinerja distribusi yang lebih efektif

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi dengan menambahkan indikator kinerja yang belum diimplementasikan pada penelitian ini, terutama indikator yang memerlukan data operasional tambahan atau integrasi dengan modul *Transportation Management System* lainnya.

2. Pengembangan berikutnya dapat mengintegrasikan data telematika kendaraan, sensor Internet of Things (IoT), maupun layanan *Application Programming Interface* (API) eksternal secara langsung sehingga proses pengukuran kinerja dapat memanfaatkan data operasional secara lebih real-time dan mendukung analisis distribusi yang lebih komprehensif.
3. Evaluasi implementasi sistem pada penelitian ini masih berfokus pada verifikasi kebutuhan, penerimaan pengguna, dan efisiensi proses administrasi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat melakukan evaluasi implementasi dalam jangka waktu yang lebih panjang untuk mengukur dampak Sistem Pengukuran Kinerja Distribusi terhadap peningkatan kinerja operasional distribusi, seperti perubahan nilai KPI, efisiensi biaya distribusi, maupun kualitas pelayanan kepada pelanggan setelah sistem diterapkan secara penuh dalam operasional perusahaan.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR PUSTAKA

- Association for Supply Chain Management (ASCM). (2020). SCOR Digital Standard: Introduction and front matter. ASCM.
- Bititci US, Carrie AS, McDevitt L. 1997. Integrated *Performance Measurement Systems: A Development Guide*. *International Journal of Operations & Production Management*. 17(5):522–534.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. B. (2020). Supply chain logistics management (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Brown T. 2008. *Design Thinking*. *Harvard Business Review*. 86(6):84–92.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2016). Supply chain management: Strategy, planning, and operation (6th ed.). Pearson Education.
- Doran, G. T. (1981). There's a S.M.A.R.T. way to write management's goals and objectives. *Management Review*, 70(11), 35–36.
- Friedenthal S, Moore A, Steiner R. 2015. *A Practical Guide to SysML: The Systems Modeling Language*. 3rd ed. Burlington (US): Morgan Kaufmann.
- Few, S. (2013). Information dashboard design: Displaying data for at-a-glance monitoring (2nd ed.). O'Reilly Media.
- Gunasekaran A, Patel C, McGaughey RE. 2004. A Framework for Supply Chain Performance Measurement. *International Journal of Production Economics*. 87(3):333–347.
- International Council on Systems Engineering (INCOSE). 2023. *Systems Engineering Vision 2035*. San Diego (US): INCOSE.
- International Council on Systems Engineering (INCOSE). 2023. *Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities*. 5th ed. Hoboken (US): Wiley.
- Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (1995). *Performance Measurement System design: A literature review and research agenda*. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 80–116. <https://doi.org/10.1108/01443579510083622>
- Neely, A., Mills, J., Platts, K., Richards, H., Gregory, M., Bourne, M., & Kennerley, M. (2000). *Performance Measurement System design: Developing and testing a process-based approach*. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(10), 1119–1145. <https://doi.org/10.1108/01443570010343708>
- Neely, A., Richards, H., Mills, J., Platts, K., & Bourne, M. (1997). Designing performance measures: A structured approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(11), 1131–1152.

Marr B. 2012. *Key Performance Indicators (KPI): The 75 Measures Every Manager Needs to Know*. Harlow (UK): Pearson.

Object Management Group (OMG). 2014. *Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0.2*. Needham (US): OMG.

Parmenter, D. (2015). *Key Performance Indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Pohl K. 2010. *Requirements Engineering: Fundamentals, Principles, and Techniques*. Berlin (DE): Springer.

Pujawan, I. N., & Mahendrawathi, E. R. (2017). *Supply chain management* (Edisi 3). ANDI.

Sommerville I. 2016. *Software Engineering*. 10th ed. Boston (US): Pearson