

**ANALISIS KINERJA SUPPLY CHAIN BERBASIS VENDOR
MANAGED INVENTORY (VMI) MENGGUNAKAN PENDEKATAN
BUSINESS INTELLIGENCE BERDASARKAN SKENARIO
PERMINTAAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Distian Pingkan Lumi
No. Mahasiswa : 22522144

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

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

Yogyakarta, 20 – 05 - 2026



(Distian Pingkan Lumi)

22522144

SURAT BUKTI PENELITIAN



**FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI**

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4110, 4100
F. (0274) 895007
E. fti@uii.ac.id
W. fti.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 288/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/V/2026

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Distian Pingkan Lumi

Nim : 22522144

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul **"ANALISIS KINERJA SUPPLY CHAIN BERBASIS VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI) MENGGUNAKAN PENDEKATAN BUSINESS INTELLIGENCE BERDASARKAN SKENARIO PERMINTAAN"** mulai pelaksanaan penelitian 18 November 2025 sampai 18 Mei 2026

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 19 Mei 2026
Kepala Laboratorium
Sistem Manufaktur Terintegrasi

SIGN

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS KINERJA SUPPLY CHAIN BERBASIS VENDOR
MANAGED INVENTORY (VMI) MENGGUNAKAN PENDEKATAN
BUSINESS INTELLIGENCE BERDASARKAN SKENARIO
PERMINTAAN**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Distian Pingkan Lumi

No. Mahasiswa : 22522144



Yogyakarta, 22-05-2026

Dosen Pembimbing

(Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS KINERJA SUPPLY CHAIN BERBASIS VENDOR MANAGED INVENTORY (VMI) MENGGUNAKAN PENDEKATAN BUSINESS INTELLIGENCE BERDASARKAN SKENARIO PERMINTAAN

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Distian Pingkan Lumi
No. Mahasiswa : 22522144

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

Yogyakarta, 22 Juni 2026

Tim Penguji

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

Ketua

Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

Anggota I

Didin Dwi Novianto, S.T., M.LSCM.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



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

NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan memanjatkan rasa syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, karya ini saya persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Ibu Sofiah dan Bapak Rifki Abdullah, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, serta semangat tanpa henti. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing, Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. atas bimbingan, arahan, dan dukungan yang telah diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

MOTTO

*“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sampai mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri.”
(QS. Ar-Ra’d: 11)*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Kinerja Supply Chain Berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) Menggunakan Pendekatan Business Intelligence Berdasarkan Skenario Permintaan”** dengan baik. Penyusunan Tugas Akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 (S1) pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

Tugas Akhir ini merupakan bentuk implementasi ilmu yang telah diperoleh selama masa perkuliahan, sekaligus menjadi sarana bagi penulis untuk memahami keterkaitan antara teori dan praktik dalam dunia industri. Penulis berharap penelitian ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Teknik Industri. Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, bimbingan, serta doa. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT. IPU. ASEAN. Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak, Ir. M. Ridwan Andi Purnomo, ST., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Ir. M. Ridwan Andi Purnomo, ST., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, arahan, motivasi, serta dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Kedua orang tua tercinta, Bapak Rifki Abdullah dan Ibu Sofiah tercinta atas segala cinta, doa, dukungan, dan kepercayaan yang selalu diberikan. Terima kasih karena selalu mendukung setiap keputusan penulis dan tidak pernah membebani penulis dengan tuntutan apa pun. Dukungan dan kasih sayang Papa dan Mama menjadi kekuatan terbesar bagi penulis dalam menyelesaikan setiap proses hingga akhirnya penelitian ini dapat terselesaikan.
6. Terima kasih kepada Levana Dhea Lumi dan Niken Agnes Lumi, kakak-kakak tercinta atas segala dukungan, perhatian, dan masukan yang selalu diberikan. Terima kasih telah menjadi tempat penulis berbagi cerita, keluh kesah, serta memberikan semangat selama proses penyusunan penelitian ini.
7. Seluruh keluarga besar yang selalu memberikan doa, harapan, dan semangat kepada penulis.
8. Sahabat seperjuangan, Bismillah Sholat, yang telah menemani perjalanan penulis sejak awal masa perkuliahan yang selalu menjadi *partner* nugas dan mencoba berbagai jenis kuliner dan tempat-tempat di Jogja. Terima kasih telah menghadirkan canda, tawa, dukungan, motivasi, serta doa yang selalu menguatkan.
9. Untuk YTTA, yang telah menjadi bagian dari perjalanan selama masa perkuliahan dengan menghadirkan kebersamaan, dan road trip disela liburan semester yang tidak akan penulis lupakan.
10. Teman-teman Laboratorium Data Mining yang pernah menjadi bagian dari perjalanan dan pengalaman berharga penulis selama masa perkuliahan.

11. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada sahabat-sahabat terdekat dari SD, SMP dan SMA yang berada di rumah atas kehadiran kalian, terutama saat penulis sedang pulang ke rumah dapat menghabiskan waktu bersama.
12. Terakhir, penulis ingin berterima kasih yang tulus kepada seorang yang telah menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, dan semangat selama perjalanan perkuliahan. Terima kasih telah menemani penulis sejak menjadi mahasiswa baru hingga akhirnya dapat menyelesaikan tahap ini. Terima kasih karena selalu hadir, memberikan dukungan tanpa henti, mendengarkan setiap cerita, serta menjadi sosok yang selalu dapat diandalkan kapan pun dibutuhkan. Kehadiran dan dukungan memiliki arti yang sangat besar dalam setiap proses yang penulis lalui.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat serta menambah wawasan bagi seluruh pihak yang membacanya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 20 – 05 - 2026



(Distian Pingkan Lumi)
22522144

ABSTRAK

Pertumbuhan industri manufaktur mendorong meningkatnya kompleksitas pengelolaan *supply chain*, terutama pada sistem distribusi multi-produk dan multi-retailer. Ketidakpastian permintaan dapat menyebabkan perubahan beban operasional, biaya, kebutuhan tenaga kerja, serta dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) berdasarkan skenario permintaan, dengan fokus pada *service performance*, aspek ekonomi, sosial, lingkungan, dan hubungan *trade-off* antar aspek tersebut. Data yang digunakan merupakan data operasional perusahaan yang mencakup data produk, permintaan retailer, biaya *supply chain*, kapasitas tenaga kerja, jarak distribusi, serta parameter lingkungan. Metode yang digunakan meliputi simulasi Monte Carlo untuk membentuk variasi permintaan, *scenario-based analysis* untuk menentukan skenario *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*, serta pendekatan *Business Intelligence* menggunakan Microsoft Power BI untuk visualisasi dan analisis KPI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai fill rate pada seluruh skenario sebesar 95% dan stockout rate sebesar 5%, sesuai dengan service level yang digunakan dalam data penelitian. Perbedaan utama antar skenario terlihat pada perubahan volume demand, total supply chain cost, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi transportasi. Pada aspek ekonomi, *total supply chain cost* meningkat dari Rp3,37 miliar pada skenario *low demand* menjadi Rp6,82 miliar pada skenario *high demand*. Pada aspek sosial, FTE meningkat dari 1,18 menjadi 2,35, sedangkan *overtime ratio* meningkat dari 0,18 menjadi 1,35. Pada aspek lingkungan, *transport emission* meningkat dari 55,31 kgCO₂ menjadi 108,11 kgCO₂. Hasil *trade-off* menunjukkan bahwa peningkatan permintaan meningkatkan volume layanan, tetapi juga meningkatkan biaya, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi transportasi. Dashboard BI mampu membantu perusahaan memahami kinerja *supply chain* secara multidimensi dan mendukung penyusunan *managerial insight* berbasis data.

Kata Kunci: *Vendor Managed Inventory*, *Business Intelligence*, *Supply Chain Performance*, Simulasi Monte Carlo, *Trade-off Analysis*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Penelitian	6
1.6 Sistematika Penelitian	7
2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Landasan Teori	9
2.1.1 <i>Supply Chain Management</i>	9
2.1.2 Sustainable Supply Chain Management	10
2.1.3 <i>Inventory dan Inventory Management</i>	13
2.1.4 <i>Vendor Managed Inventory</i>	16
2.1.5 Monte Carlo Simulation	19
2.1.6 Scenario-Based Analysis	21
2.1.7 Key Performance Indicators (KPI)	23
2.1.8 Trade-off Analysis	24
2.1.9 <i>Business Intelligence</i>	26
2.1.10 Arsitektur dan Komponen BI	27
2.1.11 CvaR (Conditional Value at Risk).....	32
2.2 Kajian Literatur	33
2.2.1 Perkembangan Vendor Managed Inventory (VMI).....	33
2.2.2 VMI dan Stabilitas Supply Chain.....	34
2.2.3 Faktor Kesiapan dan Keberhasilan Implementasi VMI	34
2.2.4 Implementasi VMI pada Supply Chain Multi-Produk dan Multi-Retailer.....	35
2.2.5 Pendekatan Simulasi dan Optimasi pada VMI	35
2.2.6 VMI dan Sustainable Supply Chain	36
2.2.7 Business Intelligence pada Supply Chain dan VMI	36
2.2.8 Posisi Penelitian.....	37
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Subjek Penelitian.....	39
3.2 Objek Penelitian	39
3.3 Jenis Data	39
3.4 Teknik Pengumpulan Data	40

3.5	Variabel dan Indikator Penelitian.....	41
3.5.1	Variabel Service Performance	41
3.5.2	Variabel Ekonomi.....	42
3.5.3	Variabel Sosial.....	44
3.5.4	Variabel Lingkungan	45
3.5.5	Variabel <i>Trade-off</i>	47
3.6	Alur Penelitian.....	50
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		56
4.1	Pengumpulan Data	56
4.1.1	Jenis dan Sumber Data	56
4.1.2	Data yang digunakan	56
4.2	Pengolahan Data.....	63
4.2.1	Arsitektur dan Alur Pengolahan Data.....	63
4.2.2	Proses Extract, Transform, Load (ETL)	64
4.2.3	Simulasi Permintaan dengan Python	65
4.2.4	Verifikasi dan Validasi Hasil Simulasi Monte Carlo	67
4.2.5	Pembentukan Demand Scenario	69
4.2.6	Pemodelan Data pada Power BI	71
4.2.7	Perhitungan Key Performance Indicator (KPI)	72
4.2.8	Analisis <i>Trade-off</i>	74
4.2.9	Penyusunan Dashboard Business Intelligence	76
BAB V PEMBAHASAN		80
5.1	Hasil KPI Dashboard.....	80
5.1.1	Dashboard VMI Control dan Service Performance.....	80
5.1.2	Dashboard Aspek Ekonomi	83
5.1.3	Analisis Aspek Sosial	86
5.1.4	Analisis Aspek Lingkungan.....	90
5.2	Pembentukan Knowledge dari Hasil Dashboard.....	93
5.2.1	Knowledge 1: Service Level Stabil, tetapi beban Operasional Meningkat	93
5.2.2	Knowledge 2: <i>Production Cost</i> Menjadi <i>Cost Driver</i> Utama	94
5.2.3	Knowledge 3: Kapasitas Tenaga Kerja Menjadi Titik Tekanan Operasional	94
5.2.4	Knowledge 4: Emisi Total Meningkat karena Volume Distribusi.....	95
5.2.5	Knowledge 5: Skenario <i>Low Demand</i> Memiliki Beban Terendah, tetapi Tidak Selalu Menunjukkan Kondisi Operasional Terbaik	96
5.2.6	Ringkasan Pembentukan Knowledge	96
5.3	Analisis Trade-off	97
5.3.1	Skenario High Demand	97
5.3.2	Skenario Low Demand	98
5.3.3	Skenario Normal Demand	99
5.3.4	Pola Hubungan <i>Trade-off</i> Antar Skenario	101
5.4	Managerial Insight.....	102
5.4.1	Pemantauan <i>Service Level</i> Perlu Dikombinasikan dengan Indikator Operasional	102
5.4.2	Pengendalian Biaya Perlu Berfokus pada Komponen <i>Production Cost</i>	103
5.4.3	Kapasitas Tenaga Kerja Perlu Menjadi Indikator Peringatan Dini	103
5.4.4	Pemantauan Emisi Perlu Dilakukan dari Sisi Total Emisi dan Intensitas Emisi	104

5.4.5	Analisis Trade-off Perlu Dibaca Bersama Konteks Utilisasi Kapasitas	104
5.5	Implikasi Manajerial Berbasis Wisdom	105
5.5.1	Penetapan Ambang Batas Operasional dalam Pengendalian Service Level	105
5.5.2	Penetapan <i>Early Warning Indicator</i> untuk Kondisi Demand Tinggi ..	106
5.5.3	Penguatan Pengendalian Biaya pada Aktivitas Produksi	107
5.5.4	Perencanaan Kapasitas Tenaga Kerja yang Lebih Fleksibel	107
5.5.5	Pengendalian Emisi melalui Pengelolaan Distribusi	108
5.5.6	Penetapan Prioritas Operasional Berdasarkan Hasil Trade-off Analysis	108
BAB VI	PENUTUP	110
6.1	Kesimpulan.....	110
6.2	Saran.....	111
DAFTAR PUSTAKA		113
LAMPIRAN		A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian	38
Tabel 3. 1 Daftar Data Penelitian	40
Tabel 3. 2 Komponen Transport Emission.....	46
Tabel 3. 3 Komponen Formula Emission per Unit	47
Tabel 4. 1 Data Produk.....	57
Tabel 4. 2 Data Supplier dan Produk Supplier.....	58
Tabel 4. 3 Data Parameter Supplier	58
Tabel 4. 4 Data Biaya Retailer	59
Tabel 4. 5 Data Jarak Distribusi	60
Tabel 4. 6 Data Parameter Transportasi	61
Tabel 4. 7 Data Parameter Permintaan.....	61
Tabel 4. 8 Data Limbah dan Scrap	63
Tabel 4. 9 Data Biaya Pemesanan.....	63
Tabel 4. 10 Kriteria Verifikasi Simulasi	68
Tabel 4. 11 Hasil Verifikasi	68
Tabel 4. 12 Kriteria Validasi Simulasi	68
Tabel 4. 13 Hasil Validasi Simulasi	69
Tabel 4. 14 Hasil Pembentukan Demand Scenario	70
Tabel 4. 15 Model Data Power BI.....	71
Tabel 4. 16 KPI dalam Penelitian.....	72
Tabel 4. 17 Indikator <i>Trade-off Analysis</i>	75
Tabel 5. 1 Hasil Pembentukan Knowledge	96
Tabel 5. 2 Intepretasi <i>Trade-off</i> per Skenario	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Total Mean Demand per Retailer	3
Gambar 1. 2 Total Std Demand per Retailer	3
Gambar 2. 1 Diagram Hubungan TBL	11
Gambar 2. 2 Mekanisme VMI.....	18
Gambar 2. 3 Arsitektur BI.....	28
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	50
Gambar 3. 2 Alur Penelitian (lanjutan)	51
Gambar 4. 1 Arsitektur Pengolahan Data.....	64
Gambar 4. 2 Alur ETL Penelitian	65
Gambar 4. 3 Implementasi Python Script	66
Gambar 4. 4 Potongan Script Pembentukan Skenario	70
Gambar 4. 5 <i>Dashboard VMI Control & Service Performance</i>	76
Gambar 4. 6 <i>Dashboard Aspek Ekonomi</i>	77
Gambar 4. 7 <i>Dashboard Aspek Sosial</i>	78
Gambar 4. 8 <i>Dashboard Aspek Lingkungan</i>	78
Gambar 4. 9 <i>Dashboard Trade-off Analysis</i>	79
Gambar 5. 1 <i>Dashboard VMI dan Service Performance pada High Demand</i>	80
Gambar 5. 2 <i>Dashboard VMI dan Service Performance pada Low Demand</i>	81
Gambar 5. 3 <i>Dashboard VMI dan Service Performance pada Normal Demand</i>	82
Gambar 5. 4 <i>Dashboard Aspek Ekonomi pada High Demand</i>	84
Gambar 5. 5 <i>Dashboard Aspek Ekonomi pada Low Demand</i>	85
Gambar 5. 6 <i>Dashboard Aspek Ekonomi pada Normal Demand</i>	86
Gambar 5. 7 <i>Dashboard Aspek Sosial pada High Demand</i>	87
Gambar 5. 8 <i>Dashboard Aspek Sosial pada Low Demand</i>	88
Gambar 5. 9 <i>Dashboard Aspek Sosial pada Normal Demand</i>	89
Gambar 5. 10 <i>Dashboard Aspek Lingkungan pada High Demand</i>	90
Gambar 5. 11 <i>Dashboard Aspek Lingkungan pada Low Demand</i>	91
Gambar 5. 12 <i>Dashboard Aspek Lingkungan pada Normal Demand</i>	92
Gambar 5. 13 <i>Dashboard Trade-off Analysis pada High Demand</i>	98
Gambar 5. 14 <i>Dashboard Trade-off Analysis pada Low Demand</i>	99
Gambar 5. 15 <i>Dashboard Trade-off Analysis pada Normal Demand</i>	100

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor industri manufaktur memegang peranan vital dalam memperkuat perkembangan industri dan mendorong laju pertumbuhan ekonomi suatu negara. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), (2025), sektor industri pengolahan tercatat sebagai penyumbang terbesar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) nasional pada triwulan III tahun 2025, dengan laju pertumbuhan mencapai 5,04% secara tahunan (*year-on-year*). Pertumbuhan manufaktur mendorong kompleksitas rantai pasok (*supply chain*), di mana proses produksi, penyimpanan, dan distribusi harus dikelola secara efisien agar perusahaan tetap kompetitif di tengah persaingan pasar yang ketat.

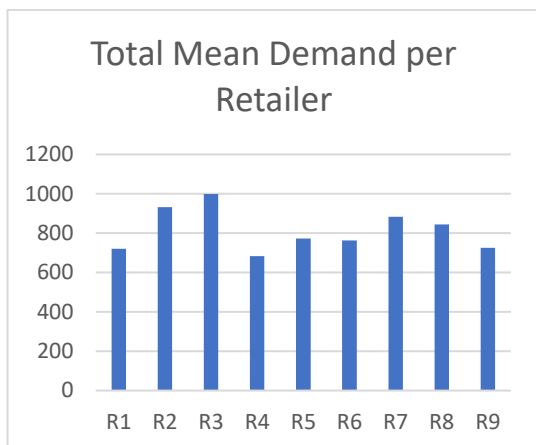
Dalam sistem rantai pasok modern, manajemen persediaan (*inventory management*) dan distribusi memiliki peran strategis, kesalahan dalam penentuan jumlah stok, waktu pengiriman, dan distribusi ke retailer dapat menyebabkan *overstock*, kekurangan stok, inefisiensi biaya penyimpanan (*holding cost*), pemborosan sumber daya, hingga gangguan layanan kepada konsumen. Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan persediaan adalah *Vendor Managed Inventory* (VMI). Menurut Simchi-Levi et al. (2000) menjelaskan bahwa *Vendor Managed Inventory* (VMI) merupakan pendekatan pengelolaan persediaan yang menekankan pada siklus pengisian ulang yang lebih singkat, disertai dengan frekuensi serta ketepatan waktu pengiriman yang terjadwal. Penerapan strategi ini mampu menekan biaya persediaan secara signifikan. Selain itu, VMI juga berkontribusi dalam peningkatan tingkat layanan kepada pelanggan, yang pada akhirnya dapat memperkuat loyalitas retailer terhadap *supplier* (Yosefa et al., 2015). Melalui VMI, diharapkan terjadi pengurangan ketidakpastian permintaan, penurunan biaya persediaan, serta peningkatan tingkat layanan kepada pelanggan.

Namun, efektivitas penerapan VMI sangat bergantung pada kemampuan perusahaan dalam mengelola dan menganalisis data operasional yang kompleks dan beragam. Di sinilah *Business Intelligence* (BI) berperan sebagai alat analisis yang mampu mengintegrasikan data-data operasional seperti data produksi, permintaan, biaya, hingga parameter lingkungan ke dalam bentuk informasi yang mudah dipahami, seperti *lead times*, *order fulfillment*, *stock levels*, serta

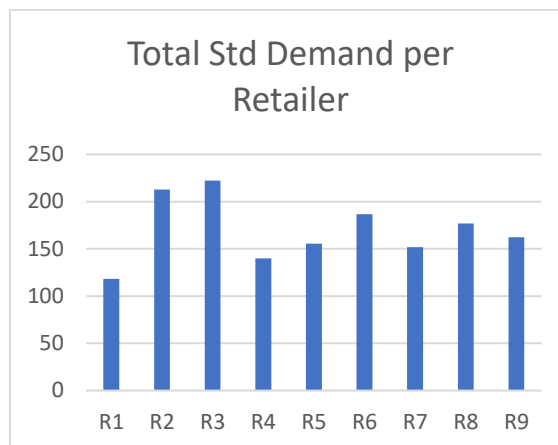
pencapaian tujuan lingkungan (Lotfi et al., 2024). Sehingga keputusan pengisian ulang persediaan dapat dilakukan secara lebih akurat, adaptif, dan berbasis data.

Masalah-masalah tersebut serupa terjadi pada PT X dan PT Y yang merupakan bagian dari PT XYZ dan dalam penelitian ini diperlakukan sebagai satu entitas analisis pada sisi *supplier*. Perusahaan ini bergerak di sektor industri elektronik, dengan karakteristik produk yang memiliki variasi tinggi, siklus hidup relative pendek, serta sensitivitas tinggi terhadap ketepatan distribusi. PT X dan Y ini memasok 7 produk ke 9 *retailer* di berbagai lokasi, sehingga kompleksitas distribusi dan pengelolaan persediaan menjadi semakin meningkat.

Pada PT X dan PT Y saat ini masih menerapkan sistem pengelolaan persediaan konvensional, dimana peran PT X dan PT Y pada aktivitas ini hanya sebagai distributor belum sebagai pengelola persediaan. Sehingga penerapan pengelolaan persediaan berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) ini belum terlaksana. Pengelolaan persediaan dan distribusi masih dilakukan berdasarkan mekanisme pemesanan yang berjalan saat ini, sehingga koordinasi antara supplier dan retailer dalam proses replenishment belum terintegrasi secara optimal. Selain itu, perusahaan juga belum memanfaatkan Business Intelligence (BI) sebagai alat untuk memonitor dan menganalisis performa supply chain secara terpusat. Data operasional seperti permintaan, persediaan, dan distribusi masih belum disajikan dalam bentuk dashboard yang interaktif, sehingga proses evaluasi kinerja dan pengambilan keputusan masih dilakukan secara terbatas berdasarkan data yang tersedia. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan keterlambatan identifikasi masalah, kurang optimalnya visibilitas supply chain, serta terbatasnya kemampuan perusahaan dalam merespons perubahan permintaan secara cepat dan berbasis data.



Gambar 1. 1 Total Mean Demand per Retailer



Gambar 1. 2 Total Std Demand per Retailer

Berdasarkan analisis data permintaan, terdapat indikasi ketidakseimbangan kebutuhan antar retailer yang ditunjukkan oleh perbedaan nilai agregat mean demand dan tingkat variabilitas permintaan. Pada Gambar 1.1 menunjukkan bahwa beberapa retailer, seperti R2, R3 dan R7, memiliki tingkat permintaan rata-rata relative lebih tinggi dibandingkan retailer lainnya, sementara Gambar 1.2 menunjukkan bahwa retailer tertentu juga memiliki variabilitas permintaan yang lebih tinggi, yang mengindikasikan fluktuasi permintaan yang sulit diprediksi. Studi Goedhart et al. (2023), Berling et al. (2023), dan Kaynov et al. (2024) menunjukkan bahwa ketika permintaan di tiap retailer acak dan tidak seragam, keputusan alokasi dari gudang mudah menimbulkan ketidakseimbangan stok antar *retailer*, sehingga meningkatkan resiko *overstock* dan *stockout* pada supply chain multi-*retailer*.

Dalam menganalisis kondisi permintaan yang tidak pasti tersebut, diperlukan pendekatan simulasi yang mampu merepresentasikan variasi demand berdasarkan karakteristik data historis. Ketidakpastian permintaan merupakan salah satu sumber utama *uncertainty* dalam supply chain yang dapat memengaruhi keputusan produksi, persediaan, dan distribusi (Gupta et al., 2000 ; Simangunsong et al., 2012). Simulasi Monte Carlo dapat digunakan untuk membangkitkan kemungkinan variasi permintaan berdasarkan parameter statistik seperti nilai rata-rata dan standar deviasi, melalui proses random sampling terhadap data historis (Izadi & Kimiagari, 2014). Pendekatan ini juga banyak digunakan dalam perencanaan supply chain dan *inventory management* untuk menggambarkan kondisi *demand uncertainty* serta menghasilkan berbagai kemungkinan skenario permintaan (Sodhi & Tang, 2012). Hasil simulasi tersebut kemudian dapat digunakan sebagai dasar pembentukan skenario permintaan, sehingga

performa supply chain dapat dianalisis pada kondisi *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*.

Selain ketidakpastian *demand*, perusahaan juga perlu mempertimbangkan dampak operasional supply chain terhadap aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Peningkatan *demand* dapat menyebabkan kenaikan biaya operasional, peningkatan kebutuhan *overtime* tenaga kerja, serta bertambahnya aktivitas distribusi yang berdampak pada peningkatan emisi transportasi. Sebaliknya, kondisi demand rendah dapat menurunkan biaya dan emisi, namun menyebabkan kapasitas operasional menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mengevaluasi hubungan *trade-off* antara efisiensi biaya, kapasitas tenaga kerja, dan dampak lingkungan pada implementasi supply chain berbasis VMI.

Meski demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada pengembangan model matematis, simulasi, dan analisis sensitivitas. Pada studi Yosefa et al., (2015) membahas pengembangan model analitis VMI dengan mempertimbangkan ketidakpastian *lead time* pada supply chain multi-retailer, namun penelitian tersebut belum mengimplementasikan dashboard Business Intelligence berbasis data operasional. Selain itu, Shen et al., (2013) mengevaluasi praktik VMI pada perusahaan kecil dan menengah (SMEs) di India dan menemukan bahwa VMI mampu meningkatkan performa supply chain dan layanan pelanggan. Akan tetapi, penelitian tersebut juga belum mengintegrasikan pendekatan Business Intelligence untuk melakukan monitoring performa *supply chain* secara visual dan interaktif.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat *research gap* berupa minimnya penelitian yang mengintegrasikan Vendor Managed Inventory (VMI), simulasi permintaan berbasis skenario, dan Business Intelligence dalam konteks *supply chain* multi-produk dan multi-retailer. Selain itu, penelitian terdahulu juga masih terbatas dalam mengevaluasi hubungan *trade-off* antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara simultan pada implementasi supply chain berbasis VMI.

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan penerapan Vendor Managed Inventory (VMI) berbasis Business Intelligence untuk menganalisis performa supply chain PT X dan PT Y berdasarkan skenario permintaan. Penelitian ini menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menghasilkan variasi permintaan berdasarkan parameter *mean* dan *standard deviation demand retailer*. Hasil simulasi tersebut kemudian digunakan dalam *scenario-based analysis* untuk membentuk tiga skenario permintaan, yaitu *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*.

Melalui pendekatan ini, penelitian ini berfokus pada analisis kinerja *supply chain* berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) dari sisi supplier melalui integrasi simulasi Monte Carlo, scenario-based analysis, KPI multidimensi, dan *dashboard* Business Intelligence. Penelitian ini tidak merancang kebijakan replenishment atau optimasi inventory, melainkan menganalisis perubahan kinerja *supply chain* pada skenario *low demand*, *normal demand*, dan *high demand* berdasarkan indikator service performance, ekonomi, sosial, lingkungan, serta *trade-off* antar aspek. Hasil analisis diharapkan mampu memberikan informasi performa *supply chain* yang objektif, kuantitatif dan mudah dipahami sebagai dasar pengambilan keputusan operasional yang lebih adaptif, efisien, dan berorientasi pada keberlanjutan (*sustainability*).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut

1. Berapa nilai *fulfilled demand* dan *unmet demand* pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan *low demand*, *normal demand*, dan *high demand* dengan target fill rate sebesar 95%?
2. Berapa nilai indikator kinerja aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan?
3. Bagaimana hubungan trade-off antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan penelitian yang akan dicapai berdasarkan hasil formulasi masalah yang telah ditentukan:

1. Mengetahui nilai *fulfilled demand* pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan *low demand*, *normal demand*, dan *high demand* dengan target fill rate sebesar 95%.
2. Mengetahui nilai kinerja aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada implementasi Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan.
3. Mengetahui hubungan trade-off antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI).

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat penelitian yang akan dicapai berdasarkan hasil formulasi masalah yang telah ditentukan:

1. Memberikan analisis performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan menggunakan pendekatan Business Intelligence
2. Menjadi dasar pengambilan keputusan berbasis data bagi perusahaan melalui penyajian *dashboard Business Intelligence* yang mencakup aspek *service performance*, ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain
3. Memberikan kontribusi akademik terhadap pengembangan kajian *Supply Chain Management*, khususnya pada integrasi *Vendor Managed Inventory* (VMI) dan *Business Intelligence*, simulasi Monte Carlo, dan *scenario-based analysis* sebagai pendekatan analisis performa dan *trade-off* supply chain berbasis berkelanjutan (*sustainability*).

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan Batasan-batasan penelitian yang akan dicapai berdasarkan formulasi masalah yang telah ditentukan:

1. Penelitian ini dibatasi pada analisis performa supply chain dari sisi supplier dalam implementasi Vendor Management Inventory(VMI), di mana PT X dan PT Y diperlakukan sebagai satu entitas analisis serta tidak membahas perbandingan performa antar perusahaan atau antar supplier.
2. Dalam penelitian ini, Vendor Managed Inventory (VMI) diposisikan sebagai konteks sistem pengelolaan supply chain, di mana supplier menjadi pihak utama dalam mengevaluasi pemenuhan permintaan retailer. Penelitian ini tidak merancang mekanisme replenishment VMI secara operasional, seperti penentuan reorder point, safety stock, minimum-maximum inventory level, maupun penjadwalan pengiriman secara optimal.
3. Penelitian ini hanya menggunakan data operasional supply chain yang mencakup data produk, permintaan, distribusi, biaya supply chain, kapasitas tenaga kerja, dan parameter lingkungan seperti emisi transportasi dan scrap produk.

4. Simulasi permintaan pada penelitian dilakukan menggunakan metode Monte Carlo dengan distribusi normal berdasarkan parameter *mean demand* dan *standard deviation* dari data retailer.
5. Skenario permintaan pada penelitian dibatasi menjadi 3 kondisi yaitu *low demand*, *normal demand*, dan *high demand* berdasarkan hasil *scenario-based analysis*.
6. Analisis performa supply chain dilakukan menggunakan pendekatan Business Intelligence melalui dashboard interaktif berbasis Microsoft Power BI.
7. Pengukuran performa supply chain difokuskan pada aspek service performance, ekonomi, sosial dan lingkungan menggunakan indikator Key Performance Indicator (KPI).
8. Analisis lingkungan pada penelitian dibatasi pada emisi transportasi (*transport emission*) dan *carbon cost*, serta tidak mencakup analisis *life cycle assessment* (LCA) secara menyeluruh.
9. Penelitian ini tidak membahas optimasi matematis, perancangan algoritma inventory, maupun peramalan (*forecasting*) lanjutan di luar simulasi Monte Carlo yang digunakan untuk pembentukan skenario permintaan.
10. Hasil penelitian terbatas pada analisis performa dan hubungan *trade-off* berdasarkan data dan periode operasional yang digunakan dalam penelitian.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan pada penelitian ini diatur sebagai berikut

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan Tugas Akhir.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

pada bab ini memuat kajian pustaka dan studi literatur yang dapat membuktikan bahwa topik Tugas Akhir yang diangkat telah memenuhi syarat dan kriteria yang telah dijelaskan di atas.

BAB III

METODE PENELITIAN

pada bab ini memuat obyek dan subyek penelitian, metode pengumpulan data, jenis data dan diagram alur yang dilakukan pada penelitian ini

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

pada bab ini menguraikan proses pengolahan data dengan metode tertentu guna dijadikan jawaban dari masalah yang telah dirumuskan oleh peneliti.

BAB V

PEMBAHASAN

pada bab ini berisikan pembahasan dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada bab sebelumnya kemudian pembahasan tersebut digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian ini

BAB VI

PENUTUP

pada bab ini berisikan Kesimpulan dari pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya dengan menjawab dari tujuan penelitian dan memberikan saran terhadap penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

pada bagian ini berisikan referensi yang didapat oleh peneliti sebagai landasan teori pada penelitian ini

LAMPIRAN

pada bagian ini berisikan dokumen maupun foto sebagai bukti dilakukannya penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 *Supply Chain Management*

A. Definisi Supply Chain Management

Supply Chain Management (SCM) merupakan pendekatan pengelolaan yang menekankan pada integrasi dan koordinasi aktivitas antar pihak yang terlibat dalam rantai pasok, mulai dari supplier, manufaktur, distributor, retailer hingga konsumen akhir. Dalam implementasinya, SCM bertujuan untuk memastikan aliran barang, informasi dan sumber daya dapat berjalan secara efektif dan efisien sehingga produk dapat tersedia dalam jumlah, lokasi, dan waktu yang tepat sesuai kebutuhan pelanggan. Stevens menjelaskan bahwa supply chain merupakan rangkaian aktivitas yang saling terhubung dalam proses perencanaan, koordinasi, dan pengendalian material dari supplier hingga pelanggan akhir (Fang et al., 2022).

Supply Chain Management juga dipandang sebagai pendekatan strategis untuk meningkatkan daya saing perusahaan melalui kolaborasi antar mitra supply chain. Fang et al. (2022) menjelaskan bahwa SCM berkembang menjadi salah satu faktor utama dalam meningkatkan keunggulan kompetitif perusahaan karena mampu mengintegrasikan proses bisnis secara horizontal dan mendukung efisiensi operasional perusahaan. Selain itu, SCM juga berperan dalam meningkatkan fleksibilitas perusahaan terhadap perubahan permintaan pasar dan ketidakpastian operasional supply chain.

Dalam perkembangannya, konsep *Supply Chain Management* tidak hanya berfokus pada efisiensi distribusi dan pengelolaan persediaan, tetapi juga mulai mempertimbangkan aspek keberlanjutan (*sustainability*), kolaborasi informasi, dan responsivitas terhadap perubahan demand. Xu & Zhao (2022) menjelaskan bahwa implementasi praktik *Supply Chain Management* yang baik mampu meningkatkan performa supply chain melalui peningkatan koordinasi, inovasi, dan integrasi proses bisnis antar organisasi.

B. Ruang Lingkup Supply Chain Management

Ruang lingkup Supply Chain Management mencakup seluruh aktivitas yang berhubungan dengan aliran produk, informasi, dan finansial dalam supply chain. Aktivitas tersebut dimulai dari proses pengadaan bahan baku (*procurement*), produksi, penyimpanan,

distribusi, hingga pengiriman produk kepada konsumen akhir. Selain itu, SCM juga mencakup pengelolaan hubungan dan koordinasi antar pihak yang terlibat dalam rantai pasok untuk meningkatkan efisiensi operasional secara menyeluruh (Lu & Swaminathan, 2015).

Menurut Fang et al. (2022), aspek utama dalam Supply Chain Management meliputi perencanaan permintaan dan pasokan (*demand and supply planning*), pengadaan bahan baku (*procurement*), proses produksi dan pergudangan (*production and warehousing*), distribusi dan logistik (*distribution and logistics*), serta pengelolaan informasi dan kolaborasi antar mitra supply chain. Integrasikan antar aktivitas tersebut menjadi faktor penting dalam meningkatkan performa supply chain dan menjaga stabilitas operasional perusahaan.

Pada penelitian ini, ruang lingkup Supply Chain Management difokuskan pada aktivitas distribusi dan pengelolaan persediaan dalam sistem Vendor Managed Inventory (VMI). Analisis dilakukan terhadap hubungan antara permintaan retailer, kapasitas operasional supplier, distribusi produk, biaya supply chain, serta dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas transportasi. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi performa supply chain dari sisi ekonomi, tetapi juga mempertimbangkan aspek sosial dan lingkungan melalui pendekatan *trade-off analysis*.

2.1.2 Sustainable Supply Chain Management

A. Konsep Sustainability dalam Supply Chain Management

Konsep *sustainability* dalam Supply Chain Management (SCM) berkembang sebagai pendekatan yang menekankan keseimbangan antara performa ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam aktivitas rantai pasok. Pada awalnya, Supply Chain Management lebih berfokus pada efisiensi biaya dan peningkatan performa operasional, namun perkembangan isu lingkungan, sosial, dan keberlanjutan mendorong perusahaan untuk mulai mempertimbangkan dampak aktivitas supply chain secara lebih luas. Sustainable Supply Chain Management (SSCM) muncul sebagai pengembangan konsep SCM yang mengintegrasikan prinsip keberlanjutan ke dalam seluruh aktivitas supply chain mulai dari pengadaan bahan baku, produksi, distribusi, hingga pengiriman produk kepada konsumen akhir (Shekarian et al., 2022 ; Laurin & Fantazy, 2017).

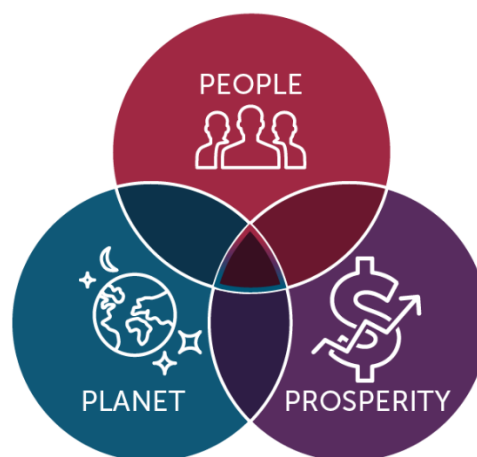
Sustainable Supply Chain Management tidak hanya bertujuan meningkatkan profitabilitas perusahaan, tetapi juga menekankan tanggung jawab terhadap lingkungan

dan kesejahteraan sosial. Implementasi SSCM dilakukan melalui pengurangan emisi karbon, efisiensi energi, pengelolaan limbah, optimalisasi distribusi, peningkatan keselamatan tenaga kerja, serta pengembangan hubungan yang berkelanjutan dengan stakeholder supply chain. Dalam praktiknya, perusahaan dituntut untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi operasional dan keberlanjutan jangka panjang agar supply chain tetap kompetitif dan bertanggung jawab terhadap lingkungan maupun masyarakat (Klumpp, 2018).

Pada penelitian ini, konsep sustainability digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI). Evaluasi dilakukan berdasarkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan menggunakan pendekatan *scenario-based analysis* dan *trade-off analysis*. Dengan pendekatan tersebut, penelitian tidak hanya berfokus pada efisiensi operasional supply chain, tetapi juga mempertimbangkan dampak perubahan demand terhadap biaya operasional, kapasitas tenaga kerja, dan emisi transportasi.

B. *Triple Bottom Line* (TBL)

Triple Bottom Line (TBL) dalam konteks SCM mengukur kinerja berkelanjutan yang menilai kinerja rantai pasok tidak hanya dari sisi finansial, tetapi juga dari dimensi social dan lingkungan. Dalam laporan APICS, (2016), TBL didefinisikan sebagai pendekatan keberlanjutan yang mencakup *People*, *Planet*, dan *Profit*, dengan tujuan memastikan ketersediaan jangka panjang sumber daya manusia, sumber daya alam, dan keuntungan bisnis. Diagram hubungan antara *people*, *planet* dan *profit* (*prosperity*) dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Diagram Hubungan TBL

Sumber: uwex.wisconsin.edu

1. Dimensi Ekonomi (*Financial*)

Dimensi ini digunakan untuk menilai pencapaian kinerja finansial sekaligus efektivitas operasional perusahaan. Indikator yang diamati meliputi kemampuan menekan biaya produksi, peningkatan tingkat keuntungan, serta optimalisasi pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Selain itu, efisiensi proses produksi juga tercermin dari rendahnya tingkat *Work In Process* (WIP), yang menunjukkan kelancaran aliran produksi dan minimnya pemborosan di sepanjang lini produksi

Dalam penelitian ini, dimensi ekonomi dianalisis menggunakan beberapa indikator performa seperti *total supply chain cost*, *production cost*, *holding cost*, *transport cost*, dan *cost per unit*. Pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi perubahan biaya operasional supply chain pada setiap skenario permintaan.

2. Dimensi Lingkungan (*Planet*)

Dimensi ini berfokus bagaimana aktivitas rantai pasok mempengaruhi lingkungan hidup. SCM berperan besar karena mencakup pengadaan bahan baku, produksi, distribusi, hingga konsumsi. Menurut, keberlanjutan lingkungan dalam SCM dapat diukur melalui penggunaan energi, air, pengelolaan limbah, dan penerapan standar lingkungan. Contoh implementasinya:

- a. Efisiensi energi dan pemilihan sumber energi yang lebih ramah lingkungan
- b. Pengurangan emisi dan limbah produksi
- c. Pengelolaan air dan daur ulang material
- d. Penerapan standar lingkungan seperti ISO 14001

APICS menekankan bahwa sebelumnya peningkatan profit sering dicapai dengan mengorbankan lingkungan, namun pendekatan TBL mendorong SCM untuk mencapai profitabilitas sekaligus menurunkan biaya lingkungan melalui praktik rantai pasok yang unggul

Dalam penelitian ini, dimensi lingkungan diukur menggunakan indikator *transport emission*, *carbon cost*, dan *emission per unit*. Pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi dampak distribusi supply chain terhadap lingkungan pada setiap skenario permintaan.

3. Dimensi Sosial (*People*)

Dimensi People menekankan tanggung jawab sosial dalam seluruh aktivitas rantai pasok, baik internal maupun eksternal. Dalam laporan APICS dijelaskan bahwa keberlanjutan sosial berkaitan dengan kesejahteraan tenaga kerja dan pemangku kepentingan lainnya di sepanjang rantai pasok. Contoh implementasi dalam SCM

- a. Keselamatan dan Kesehatan kerja (penurunan kecelakaan dan hari kerja hilang)
- b. Pengembangan kompetensi, pelatihan, dan *upskilling* karyawan
- c. Praktik ketenagakerjaan yang adil pada pemasok (tidak ada kerja paksa atau pekerja anak)
- d. Hubungan yang baik dengan komunitas sekitar dan pelanggan

Dalam praktiknya, kepemimpinan manajemen puncak sangat menentukan keberhasilan dimensi people, karena nilai dan strategi organisasi berasal dari level ini.

Dalam penelitian ini, dimensi sosial dianalisis menggunakan indikator *Full Time Equivalent (FTE)*, *overtime hours*, *overtime ratio*, dan *capacity gap*. Pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan demand terhadap kapasitas dan beban kerja tenaga kerja pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI).

2.1.3 *Inventory dan Inventory Management*

A. Definisi inventory

Inventory merupakan penyimpanan yang dimiliki perusahaan untuk diperjual belikan atau digunakan untuk operasional perusahaan. Semua barang disebut sebagai sistem inventory, tergantung jenis usaha perusahaan (Handayani et al., 2023). Persediaan ialah sebagai suatu aktiva lancar yang meliputi barang-barang yang merupakan milik perusahaan dengan sebuah maksud supaya dijual dalam suatu periode usaha normal ataupun persediaan barang-barang yang masih dalam pekerjaan sebuah proses produksi maupun persediaan bahan baku yang juga menunggu penggunaannya di dalam suatu proses produksi (Assauri, 2005).

Menurut Ikatan Akuntansi Indonesia (Octaviani, 2013), persediaan diartikan sebagai berikut: persediaan adalah asset:

- a. Tersedia untuk di jual dalam kegiatan usaha biasa
- b. Dalam proses produksi untuk penjualan tersebut

- c. Dalam bentuk bahan atau perlengkapan untuk digunakan dalam proses produksi atau pemberian jasa.

Penyimpanan juga merupakan kegiatan pengorganisasian barang atau pendaftaran barang dan bahan yang telah ada, tujuan inventarisasi barang adalah untuk memudahkan pelaksanaan tindakan pengawasan atau pengendalian dan dalam penggunaan barang serta dalam penaksiran tanggung jawab pembiayaan pemeliharaan dan penghematan asset, jika sewaktu-waktu itu ada kebutuhan informasi dalam arsip dapat dengan mudah ditemukan sehingga tujuan arsip dapat terpenuhi dengan baik (Octaviani, 2013).

Adapun jenis jenis *inventory* (Veeqo, 2020):

1. *Raw Materials*

Bahan baku merupakan material yang digunakan dalam proses pembuatan produk akhir maupun sebagai unsur penyusun dari produk tersebut. Material ini dapat dihasilkan secara internal oleh perusahaan atau diperoleh melalui pembelian dari pihak pemasok. Sebagai ilustrasi, perusahaan yang bergerak di bidang produksi furnitur sesuai pesanan umumnya memperoleh bahan baku dari pemasok eksternal, sedangkan pelaku usaha kecil yang menyediakan rempah-rempah tertentu dapat memproduksi sendiri. Meskipun sumber perolehannya berbeda, bahan baku tetap dikategorikan sebagai persediaan, sehingga memerlukan pengelolaan, penyimpanan, serta pencatatan yang akurat dan sistematis.

2. *Work-in-progress (WIP) inventory*

Persediaan *work-in-progress* (WIP) mengacu pada kondisi perusahaan atau pengecer yang melakukan proses produksi secara mandiri. Jenis persediaan ini mencakup barang atau komponen yang masih berada dalam tahapan proses produksi dan belum mencapai kondisi akhir sehingga belum dapat dipasarkan. Sebagai contoh, dalam industri furnitur, produk yang telah melalui tahap perakitan namun belum dilakukan proses pengecatan atau pengemasan dikategorikan sebagai persediaan WIP.

3. *Finished Goods*

Finished goods atau barang jadi adalah produk yang telah melewati seluruh tahapan produksi dan berada dalam kondisi siap untuk dipasarkan kepada konsumen. Produk tersebut dapat diproduksi secara internal oleh perusahaan maupun diperoleh dalam bentuk barang jadi dari pemasok. Pada praktiknya, sebagian besar pengecer cenderung membeli produk jadi secara langsung atau memesan produk khusus yang

diproduksi oleh pihak ketiga. Dengan demikian, barang jadi merupakan salah satu kategori persediaan yang harus dikelola secara efektif dalam sistem manajemen persediaan ritel.

4. *Maintanance, repair & operations (MRO) goods*

Barang *Maintenance, Repair, and Operations* (MRO) merupakan material yang digunakan untuk mendukung kegiatan produksi, namun tidak menjadi bagian dari produk akhir. Kategori MRO meliputi berbagai kebutuhan operasional, seperti peralatan produksi dan pemeliharaan, seragam kerja serta perlengkapan keselamatan, bahan pembersih, mesin, baterai, dan sistem komputer. Selain itu, seluruh material yang habis pakai atau dibuang selama berlangsungnya proses produksi juga diklasifikasikan sebagai persediaan MRO. Meskipun sering dianggap bernilai kecil, persediaan MRO tetap memerlukan pengadaan dari pemasok, penyimpanan yang terorganisasi, serta pencatatan yang akurat dalam sistem keuangan perusahaan.

5. *Packing Materials*

Barang pengemasan merupakan seluruh material yang digunakan untuk membungkus dan melindungi produk, baik selama proses penyimpanan maupun pada saat pendistribusian kepada pelanggan. Oleh karena itu, bahan pengemasan memiliki peranan yang sangat penting, khususnya bagi usaha berbasis penjualan daring. Jenis barang ini dapat berupa *bubble wrap*, bahan pelindung tambahan (*padding*), berbagai ukuran dan jenis kotak, serta *packing chips*. Dalam praktiknya, banyak pengecer yang kurang memperhatikan pengelolaan bahan pengemasan dalam sistem persediaan. Padahal, material tersebut digunakan secara berkelanjutan dan memerlukan pemeliharaan stok, sehingga perlu dicantumkan secara sistematis dalam pelaporan dan pencatatan akuntansi persediaan secara menyeluruh.

B. *Inventory Management*

Pengendalian persediaan merupakan suatu proses terpadu yang mencakup kegiatan perencanaan, koordinasi, dan pengawasan terhadap seluruh aktivitas yang berkaitan dengan pengelolaan barang masuk (Budi & Wulandari, 2021). Menjaga ketersediaan inventaris pada tingkat yang sesuai merupakan salah satu permasalahan penting bagi perusahaan. Hal ini bertujuan agar aktivitas operasional maupun proses produksi dapat berlangsung secara lancar dan efisien. Untuk mencapai kondisi tersebut, diperlukan manajemen persediaan yang baik guna memastikan jumlah persediaan berada pada

tingkat yang memadai. Manajemen persediaan memiliki peran yang sangat krusial karena besarnya persediaan akan memengaruhi kelancaran kegiatan operasional, tingkat efisiensi dan efektivitas proses produksi, serta mutu produk yang dihasilkan. Kebutuhan jumlah atau tingkat persediaan setiap perusahaan dapat berbeda, bergantung pada kapasitas produksi, jenis peralatan yang digunakan, serta karakteristik proses produksinya (Klosterhalfen et al., 2023).

Inventory management melibatkan berbagai metode seperti peramalan permintaan, penentuan titik pemesanan ulang (*reorder point*), dan penghitungan *safety stock* untuk memastikan ketersediaan produk sesuai kebutuhan. Selain itu, pendekatan modern menekankan penggunaan teknologi informasi untuk memantau stok secara *real-time* dan meningkatkan akurasi perencanaan persediaan. Keputusan yang tepat dalam *inventory management* memungkinkan perusahaan untuk menekan biaya penyimpanan, meningkatkan perputaran stok (*inventory turnover*), serta mempertahankan tingkat layanan yang tinggi terhadap pelanggan (Mochammad et al., 2022).

2.1.4 Vendor Managed Inventory

A. Definisi VMI

Vendor Managed Inventory (VMI) merupakan salah satu bentuk kerja sama dalam sistem rantai pasok, di mana pengelolaan dan pengendalian persediaan dialihkan kepada pihak pemasok. Melalui konsep ini, vendor memiliki kewenangan untuk menetapkan kebijakan inventori, termasuk penentuan jumlah pemesanan serta waktu pemesanan barang (Undariyanto, 2023). Dalam sistem *Vendor Managed Inventory* (VMI), pemasok bertugas melakukan pemantauan terhadap tingkat persediaan dan menetapkan kebijakan pengisian ulang untuk setiap pengecer sebagai pihak pelanggan. Melalui penerapan VMI, pemasok berperan sebagai aktor utama dalam proses pengambilan keputusan. Secara lebih rinci, pemasok mengawasi kondisi persediaan di tingkat pengecer, mengevaluasi kebutuhan pengisian ulang stok, serta menentukan jadwal dan rute distribusi barang.

Dalam sistem *inventory* tradisional, retailer bertanggung jawab terhadap keputusan pemesanan produk. Namun pada sistem VMI, keputusan replenishment dilakukan oleh supplier berdasarkan visibilitas demand dan *inventory* retailer. Pendekatan tersebut memungkinkan supplier memiliki koordinasi yang lebih baik terhadap aktivitas distribusi dan pengendalian *inventory*. Penelitian mengenai efek dinamika VMI terhadap *bullwhip*

effect menunjukkan bahwa VMI mampu meningkatkan koordinasi supply chain dan mengurangi variabilitas demand pada rantai pasok (Disney & Towill, 2003).

Implementasi Vendor Managed Inventory banyak digunakan pada supply chain *modern* karena mampu meningkatkan service level, mengurangi risiko *stockout*, dan menurunkan biaya *inventory*. Selain itu, VMI juga membantu perusahaan meningkatkan efisiensi distribusi melalui pengelolaan replenishment yang lebih responsive terhadap perubahan demand. Penelitian Waller et al. (1999) menunjukkan bahwa implementasi VMI memberikan manfaat operasional dan ekonomi yang signifikan pada supply chain retail.

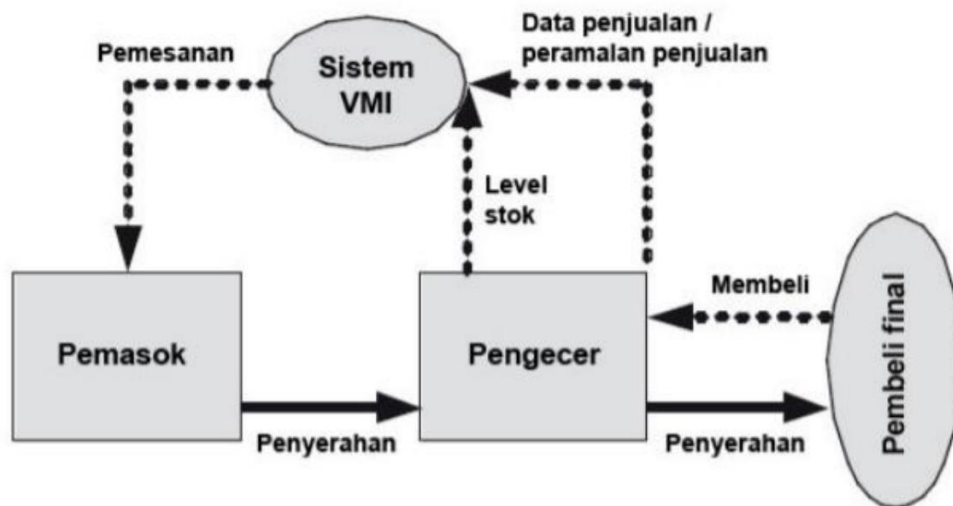
B. Mekanisme Vendor Managed Inventory (VMI)

Vendor Managed Inventory (VMI) merupakan metode pengendalian persediaan di mana supplier bertanggung jawab dalam memonitor inventory dan melakukan replenishment berdasarkan kondisi stok pada retailer. Dalam implementasinya, retailer secara berkala membagikan data inventory, penjualan, dan demand kepada supplier melalui sistem informasi terintegrasi. Menurut Waller et al. (1999), supplier melakukan replenishment berdasarkan monitoring inventory retailer secara kontinu.

Mekanisme VMI pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa retailer mengirimkan informasi level stok, data penjualan, dan peramalan penjualan kepada sistem VMI yang terhubung dengan supplier. Berdasarkan informasi tersebut, supplier menentukan keputusan replenishment dan melakukan pengiriman produk kepada retailer, kemudian retailer menyalurkan produk kepada pembeli akhir.

Pada umumnya, VMI menggunakan batas minimum dan maksimum inventory sebagai dasar pengendalian replenishment. Mekanisme ini membantu mengurangi risiko stockout dan overstock serta meningkatkan stabilitas supply chain. Disney & Towill (2003), menyatakan bahwa koordinasi replenishment pada VMI mampu mengurangi bullwhip effect dalam supply chain.

Keberhasilan implementasi VMI dipengaruhi oleh kualitas pertukaran informasi dan koordinasi antar pihak supply chain. Oleh karena itu, implementasi VMI umumnya didukung oleh teknologi informasi dan sistem Business Intelligence agar proses monitoring inventory dan replenishment dapat dilakukan secara lebih cepat dan akurat (Zachariassen et al., 2014).



Gambar 2. 2 Mekanisme VMI

Sumber : (Antarariq & Fitria, 2022)

C. Keunggulan dan Tantangan Vendor Managed Inventory (VMI)

Vendor Managed Inventory memiliki beberapa keunggulan dalam meningkatkan performa supply chain. Salah satu keunggulan utama VMI adalah kemampuan dalam menurunkan biaya inventory dan meningkatkan service level melalui koordinasi replenishment yang lebih baik. Dengan adanya visibilitas demand retailer, supplier dapat melakukan replenishment secara lebih responsif sehingga risiko *stockout* dan *overstock* dapat dikurangi. Penelitian Waller et al. (1999) menunjukkan bahwa implementasi VMI mampu meningkatkan efisiensi inventory dan performa distribusi supply chain.

Selain itu, implementasi VMI juga mampu mengurangi *bullwhip effect* pada supply chain pertukaran informasi demand secara langsung antara retailer dan supplier membantu supplier memahami pola demand aktual sehingga variasi demand pada rantai pasok dapat dikendalikan dengan lebih baik. Disney & Towill (2003) menunjukkan bahwa sistem VMI mampu meningkatkan stabilitas supply chain melalui pengurangan variabilitas demand dan peningkatan kondisi replenishment.

Meskipun demikian, implementasi Vendor Managed Inventory juga memiliki beberapa tantangan. Salah satu tantangan utama VMI adalah tingginya kebutuhan integrasi informasi antar organisasi supply chain. Ketidaksesuaian data demand, lemahnya koordinasi, dan kurangnya transparansi informasi dapat menyebabkan keputusan replenishment menjadi kurang optimal. Penelitian mengenai pengembangan teoritis Vendor Managed Inventory menjelaskan bahwa keberhasilan implementasi VMI sangat

dipengaruhi oleh kesiapan teknologi informasi dan kualitas kolaborasi antar pihak supply chain (Zhao, 2019).

2.1.5 Monte Carlo Simulation

A. Definisi Monte Carlo Simulation

Monte Carlo Simulation merupakan metode simulasi berbasis probabilistic yang digunakan untuk menganalisis ketidakpastian (uncertainty) melalui proses pengambilan sampel acak secara berulang berdasarkan distribusi probabilitas tertentu. Metode ini banyak digunakan dalam bidang supply chain dan manajemen operasional karena mampu menggambarkan berbagai kemungkinan kondisi sistem yang bersifat tidak pasti. Monte Carlo Simulation memungkinkan peneliti melakukan evaluasi performa supply chain secara lebih realistis dibandingkan pendekatan deterministik karena mampu merepresentasikan variabilitas dan ketidakpastian pada data operasional (Belvardi, 2012).

Dalam konteks supply chain, Monte Carlo Simulation digunakan untuk memodelkan ketidakpastian demand, lead time, kapasitas operasional, serta risiko supply chain lainnya. Simulasi dilakukan melalui sejumlah iterasi acak untuk menghasilkan distribusi kemungkinan output sistem berdasarkan parameter probabilitas tertentu. Pendekatan ini membantu perusahaan dalam memahami dampak perubahan demand terhadap performa supply chain dan mendukung proses pengambilan keputusan berbasis risiko. (Maitra, 2023 ; Zou & Dortmund, 2025).

B. Distribusi Normal pada Monte Carlo Simulation

Distribusi normal merupakan salah satu distribusi probabilitas yang paling banyak digunakan dalam Monte Carlo Simulation karena mampu merepresentasikan pola data kontinu yang memiliki variasi di sekitar nilai rata-rata. Distribusi normal ditentukan berdasarkan dua parameter utama, yaitu nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi (*standard deviation*). Dalam supply chain, distribusi normal sering digunakan untuk memodelkan ketidakpastian demand karena mampu menggambarkan fluktuasi permintaan yang berubah secara acak di sekitar nilai rata-rata permintaan (Maitra, 2023).

Pada distribusi normal, sebagian besar data akan berada di sekitar nilai rata-rata, sedangkan probabilitas data ekstrem akan semakin kecil ketika menjauhi nilai mean. Penggunaan distribusi normal pada simulasi demand memungkinkan perusahaan untuk mengevaluasi kemungkinan kondisi permintaan rendah, normal, maupun tinggi berdasarkan distribusi probabilitas yang terbentuk. Oleh karena itu, distribusi normal

menjadi salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam simulasi supply chain dan inventory management di bawah kondisi demand uncertainty (Turgay et al., 2026).

Distribusi normal pada penelitian ini digunakan melalui fungsi probabilitas normal dengan parameter *mean demand* dan *standard deviation* dari masing-masing retailer dan produk. Hasil distribusi tersebut digunakan untuk menghasilkan simulasi demand secara acak pada setiap iterasi Monte Carlo Simulation. Simulasi Monte Carlo diformulakan seperti pada Persamaan 2.1.

$$X \sim N(\mu, \sigma) \quad (2.1)$$

Keterangan

X = demand hasil simulasi

μ = rata-rata permintaan (mean)

σ = standar deviasi permintaan (standard deviation)

C. Simulasi Demand pada Supply Chain

Simulasi demand merupakan proses pembentukan skenario permintaan menggunakan pendekatan probabilistik untuk menggambarkan ketidakpastian demand pada supply chain. Ketidakpastian demand menjadi salah satu tantangan utama dalam supply chain karena perubahan permintaan dapat mempengaruhi inventory level, kapasitas produksi, distribusi, service level, dan biaya operasional perusahaan. Oleh karena itu, simulasi demand digunakan untuk membantu perusahaan memahami kemungkinan kondisi operasional yang dapat terjadi akibat fluktuasi permintaan (Bokade et al., 2025).

Pada implementasinya, simulasi demand menggunakan Monte Carlo Simulation dilakukan dengan menghasilkan sejumlah besar nilai demand berdasarkan distribusi probabilitas tertentu. Hasil simulasi tersebut kemudian dianalisis menggunakan pendekatan statistik seperti nilai rata-rata (*mean*), persentil, dan standar deviasi untuk membentuk skenario operasional supply chain. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan melakukan evaluasi performa supply chain secara lebih adaptif terhadap perubahan demand dan risiko operasional (Belvardi, 2012).

Dalam penelitian ini, simulasi demand dilakukan menggunakan integrasi Python pada Microsoft Power BI dengan jumlah simulasi sebanyak 1000 iterasi dan 12 periode simulasi. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk membentuk tiga skenario permintaan, yaitu:

- *Low demand* menggunakan persentil ke-5 (P5)

- *Normal demand* menggunakan nilai rata-rata (*mean*)
- *High demand* menggunakan persentil ke-95 (P95)

Pendekatan tersebut digunakan untuk mengevaluasi perubahan performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) pada berbagai kondisi permintaan.

2.1.6 Scenario-Based Analysis

A. Definisi Scenario-Based Analysis

Scenario-Based Analysis merupakan pendekatan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan kondisi masa depan berdasarkan beberapa skenario yang berbeda. Pendekatan ini digunakan untuk membantu perusahaan memahami dampak perubahan kondisi operasional terhadap performa sistem sehingga proses pengambilan keputusan dapat dilakukan secara lebih adaptif dan berbasis risiko. Dalam konteks supply chain, *scenario-based analysis* digunakan untuk mengevaluasi dampak ketidakpastian demand, kapasitas, maupun gangguan supply chain terhadap performa operasional perusahaan. Penelitian mengenai *scenario planning* pada supply chain menjelaskan bahwa pendekatan skenario membantu perusahaan mengantisipasi perubahan dan ketidakpastian melalui evaluasi berbagai kemungkinan kondisi operasional (Phadnis & Darkow, 2020).

Pada implementasinya, *scenario-based analysis* dilakukan dengan membentuk beberapa kondisi operasional berdasarkan asumsi atau parameter tertentu untuk dianalisis dampaknya terhadap sistem. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan melakukan evaluasi performa supply chain pada kondisi terbaik (*best case*), normal, maupun terburuk (*worst case*). Penelitian mengenai *Integrated Scenario Planning* menjelaskan bahwa skenario digunakan sebagai alat untuk mendukung pengambilan keputusan supply chain secara lebih fleksibel terhadap perubahan demand dan risiko operasional (Lindsey et al., 2020).

Dalam penelitian ini, *scenario-based analysis* digunakan untuk mengevaluasi performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan perubahan demand. Analisis dilakukan menggunakan tiga skenario permintaan, yaitu *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*, yang dibentuk menggunakan hasil simulasi Monte Carlo.

B. Scenario-Based Analysis pada Supply Chain

Dalam supply chain modern, ketidakpastian demand menjadi salah satu faktor utama yang mempengaruhi performa operasional perusahaan. Perubahan demand dapat mempengaruhi kapasitas produksi, distribusi, inventory level, biaya operasional, service level, hingga emisi transportasi. Oleh karena itu, perusahaan membutuhkan pendekatan analisis yang mampu mengevaluasi dampak perubahan demand terhadap performa supply chain secara menyeluruh. Penelitian mengenai *scenario-based supply chain disruptions management* menjelaskan bahwa pendekatan skenario digunakan untuk mengevaluasi perubahan kondisi supply chain akibat ketidakpastian supply dan demand (Mithun Ali & Nakade, 2014)

Pendekatan *scenario-based analysis* memungkinkan perusahaan melakukan evaluasi berbagai kemungkinan kondisi operasional sebelum keputusan diterapkan pada sistem nyata. Pada supply chain, pendekatan ini digunakan untuk membantu perusahaan memahami hubungan antara risiko operasional, biaya supply chain, service level, dan kapasitas operasional pada berbagai kondisi demand. Penelitian mengenai *scenario-based optimization of supply chain performance under demand uncertainty* menunjukkan bahwa pendekatan skenario mampu membantu perusahaan mengevaluasi trade-off antara biaya supply chain dan customer service level pada kondisi demand uncertainty (Gobachew & Haasis, 2023).

Selain itu, *scenario-based analysis* juga digunakan sebagai alat pendukung pengambilan keputusan (*decision support*) pada supply chain berbasis risiko. Pendekatan ini membantu perusahaan dalam mengantisipasi perubahan kondisi operasional melalui evaluasi beberapa alternatif skenario sehingga perusahaan dapat menentukan strategi operasional yang lebih adaptif terhadap ketidakpastian demand. Penelitian mengenai *supply chain risk scenario development* menjelaskan bahwa scenario analysis digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara risiko supply chain, dampak operasional, dan strategi mitigasi risiko (Kokroko et al., 2025).

C. Skenario Permintaan pada Penelitian

Pada penelitian ini, *scenario-based analysis* digunakan sebagai pendekatan utama dalam mengevaluasi performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI). Skenario permintaan dibentuk menggunakan hasil simulasi Monte Carlo berdasarkan parameter *mean demand* dan *standard deviation* dari masing-masing retailer dan produk.

Pendekatan tersebut digunakan untuk menggambarkan perubahan kondisi demand yang bersifat tidak pasti (*uncertain demand*) pada supply chain.

Skenario permintaan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga kondisi, yaitu:

- *Low demand* menggunakan persentil ke-5 (P5)
- *Normal demand* menggunakan nilai rata-rata (*mean*)
- *High demand* menggunakan persentil ke-95 (P95)

Penggunaan persentil ke-5 dan ke-95 dilakukan untuk merepresentasikan kondisi demand ekstrem rendah dan ekstrem tinggi, sedangkan nilai rata-rata digunakan untuk merepresentasikan kondisi demand normal. Pendekatan tersebut memungkinkan penelitian mengevaluasi perubahan performa supply chain pada berbagai kemungkinan kondisi operasional akibat perubahan demand.

Pada penelitian ini, skenario permintaan digunakan sebagai *driver* utama dalam analisis performa supply chain. Perubahan demand pada masing-masing skenario akan mempengaruhi aktivitas produksi, distribusi, kebutuhan tenaga kerja, biaya operasional, dan emisi transportasi. Oleh karena itu, *scenario-based analysis* digunakan untuk mengevaluasi hubungan *trade-off* antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI).

2.1.7 Key Performance Indicators (KPI)

Key Performance Indicator (KPI) merupakan indikator kuantitatif yang digunakan untuk mengukur tingkat pencapaian performa suatu proses, aktivitas, maupun organisasi terhadap tujuan yang telah ditetapkan. Dalam Supply Chain Management, KPI digunakan sebagai alat pengukuran performa untuk mengevaluasi efektivitas, efisiensi, dan kualitas operasional supply chain. Penggunaan KPI membantu perusahaan dalam melakukan monitoring performa operasional secara terukur dan mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data. Penelitian mengenai *supply chain performance measurement* menjelaskan bahwa KPI berfungsi sebagai alat evaluasi untuk mengukur performa supply chain secara sistematis dan terstruktur (Senol et al., 2021 ; (Gamme & Johansson, 2015).

KPI pada supply chain digunakan untuk mengukur berbagai aktivitas operasional seperti distribusi, inventory, transportasi, pelayanan pelanggan, biaya operasional, hingga sustainability performance. Pengukuran KPI memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi permasalahan operasional, mengevaluasi efisiensi supply chain, dan menentukan strategi perbaikan performa secara berkelanjutan. Penelitian mengenai *supply*

chain KPI monitoring menunjukkan bahwa monitoring KPI mampu membantu perusahaan meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung continuous improvement pada supply chain (Jude Uchechukwu & Darlington Arinze, 2024).

Dalam implementasinya, KPI harus bersifat terukur, relevan, dan sesuai dengan tujuan strategis perusahaan. Pemilihan KPI yang tepat menjadi faktor penting karena indikator performa yang digunakan akan mempengaruhi proses evaluasi dan pengambilan keputusan supply chain. Penelitian mengenai *performance measurement in supply chain management* menjelaskan bahwa pemilihan KPI yang relevan membantu perusahaan meningkatkan kualitas evaluasi performa dan mendukung pencapaian tujuan supply chain secara lebih efektif (Auronen, 2025).

2.1.8 Trade-off Analysis

A. Definisi Trade-off Analysis

Trade-off analysis merupakan pendekatan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan pertukaran (*trade-off*) antara dua atau lebih tujuan yang saling bertentangan dalam suatu sistem. Dalam konteks supply chain, *trade-off* terjadi ketika peningkatan performa pada satu aspek menyebabkan penurunan performa pada aspek lainnya. Pendekatan ini digunakan untuk membantu perusahaan menentukan keputusan operasional yang paling seimbang berdasarkan berbagai indikator performa yang dimiliki sistem supply chain. Penelitian mengenai *strategic trade-offs and sustainable supply chains* menjelaskan bahwa trade-off analysis digunakan untuk memahami hubungan yang saling bertentangan antara berbagai dimensi sustainability pada supply chain (Leseure, 2016).

Pada Supply Chain Management, trade-off analysis sering digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara biaya operasional, service level, kapasitas operasional, fleksibilitas supply chain, dan dampak lingkungan. Kondisi tersebut muncul karena perusahaan umumnya tidak dapat memaksimalkan seluruh indikator performa secara bersamaan. Sebagai contoh, peningkatan service level melalui peningkatan frekuensi distribusi dapat meningkatkan biaya transportasi dan emisi karbon pada supply chain. Penelitian mengenai *logistics network design for sustainable supply chains* menjelaskan bahwa trade-off analysis diperlukan untuk mengevaluasi keseimbangan antara efisiensi biaya dan sustainability lingkungan pada sistem logistik (Ferdous, 2025).

Trade-off analysis membantu perusahaan dalam menentukan keputusan yang lebih adaptif terhadap kondisi operasional supply chain. Pendekatan ini memungkinkan perusahaan memahami konsekuensi dari setiap keputusan operasional terhadap berbagai indikator performa supply chain sehingga keputusan dapat dilakukan secara lebih terukur dan berbasis data. Penelitian mengenai *optimal trade-offs in decision-making for sustainability and resilience* menjelaskan bahwa trade-off analysis menjadi pendekatan penting dalam mendukung pengambilan keputusan supply chain berbasis sustainability dan resilience (Rajesh, 2021)

B. Trade-off pada Sustainable Supply Chain

Pada sustainable supply chain, trade-off analysis digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam aktivitas supply chain. Implementasi sustainability pada supply chain seringkali menyebabkan konflik antar tujuan performa karena peningkatan sustainability lingkungan atau sosial dapat meningkatkan biaya operasional perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan perlu menentukan keseimbangan antara profitabilitas, kesejahteraan tenaga kerja, dan dampak lingkungan agar supply chain tetap kompetitif dan berkelanjutan. Penelitian mengenai *economic and environmental trade-offs in sustainable business* menjelaskan bahwa perusahaan perlu menyeimbangkan performa ekonomi dan sustainability lingkungan untuk menjaga keberlanjutan bisnis jangka panjang (Banu & Vimala, 2024).

Dalam praktik supply chain, trade-off sustainability dapat terjadi pada berbagai aktivitas operasional seperti distribusi, inventory management, transportasi, maupun pengelolaan kapasitas tenaga kerja. Sebagai contoh, peningkatan frekuensi pengiriman dapat meningkatkan service level dan mengurangi risiko stockout, namun di sisi lain menyebabkan peningkatan biaya transportasi dan emisi karbon. Penelitian mengenai *sustainable energy supply chain design* menjelaskan bahwa aktivitas supply chain memerlukan pendekatan sistematis untuk menyeimbangkan biaya operasional, efisiensi distribusi, dan pengurangan emisi lingkungan (Humphrey et al., 2025).

Selain aspek ekonomi dan lingkungan, trade-off juga dapat terjadi pada aspek sosial supply chain. Peningkatan kapasitas operasional untuk memenuhi demand tinggi dapat meningkatkan overtime tenaga kerja dan beban kerja operasional. Oleh karena itu, sustainable supply chain management menekankan pentingnya evaluasi hubungan antara biaya operasional, kesejahteraan tenaga kerja, dan dampak lingkungan secara simultan.

Penelitian mengenai *sustainable value and trade-offs in supply chain management* menjelaskan bahwa sustainable supply chain memerlukan pendekatan trade-off untuk menciptakan keseimbangan antara nilai ekonomi dan sustainability (Brennan & Tennant, 2017).

C. Trade-off Analysis pada Penelitian

Pada penelitian ini, trade-off analysis digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI). Analisis dilakukan berdasarkan skenario permintaan (*low demand*, *normal demand*, dan *high demand*) untuk melihat bagaimana perubahan demand mempengaruhi performa supply chain secara multidimensi .

Aspek ekonomi pada penelitian ini diukur menggunakan indikator seperti *total supply chain cost*, *production cost*, dan *transport cost*. Aspek sosial dianalisis menggunakan indikator *Full Time Equivalent (FTE)*, *overtime hours*, dan *overtime ratio*, sedangkan aspek lingkungan diukur menggunakan indikator *transport emission*, *carbon cost*, dan *emission per unit*. Ketiga aspek tersebut dianalisis secara simultan untuk melihat hubungan pertukaran performa pada setiap skenario demand.

Trade-off analysis pada penelitian ini dilakukan menggunakan dashboard Business Intelligence berbasis Microsoft Power BI. Dashboard digunakan untuk membantu proses visualisasi hubungan antar indikator performa supply chain sehingga perusahaan dapat memahami konsekuensi operasional dari setiap skenario demand secara lebih interaktif dan berbasis data. Hasil trade-off analysis diharapkan mampu membantu perusahaan dalam menentukan skenario operasional yang paling seimbang antara efisiensi biaya, kapasitas tenaga kerja, dan sustainability lingkungan.

2.1.9 Business Intelligence

Business Intelligence (BI) merujuk pada rangkaian teknologi, proses dan alat yang digunakan organisasi untuk mengumpulkan, mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data operasional demi mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat. BI menyediakan informasi yang relevan dan real-time untuk meningkatkan efisiensi proses bisnis serta performa organisasi secara keseluruhan (Caputo et al., 2025).

Business Intelligence merupakan aplikasi teknologi sistem informasi yang dirancang untuk membantu proses analisis suatu permasalahan, sehingga hasil analisis tersebut dapat

dimanfaatkan sebagai dasar atau acuan dalam pengambilan keputusan (Pandensolang et al., 2022).

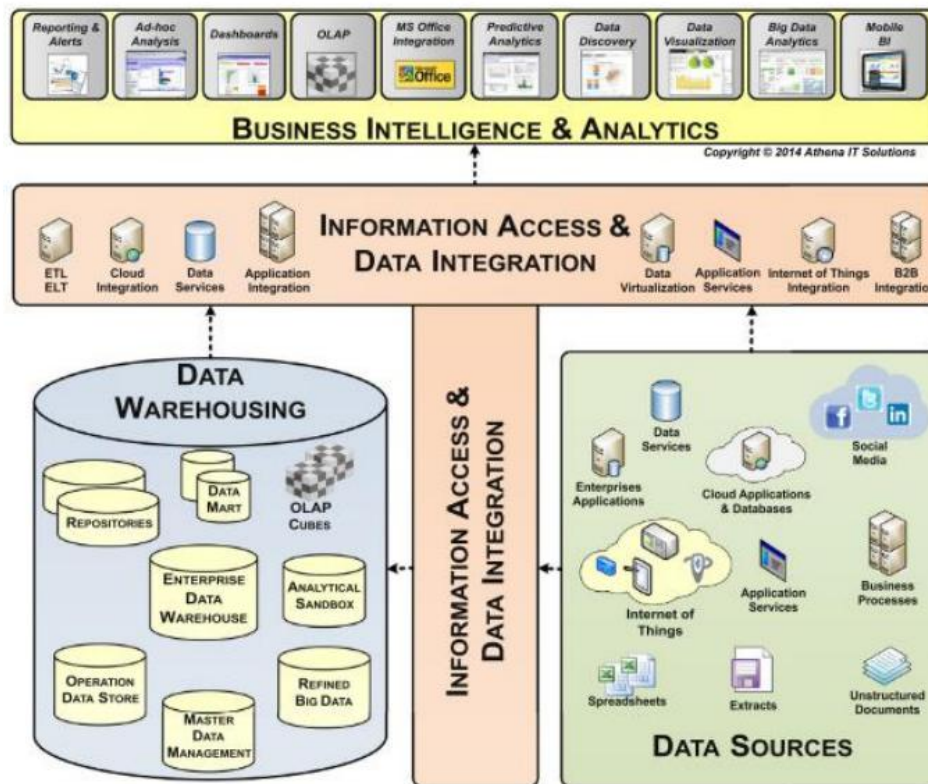
Dalam Supply Chain Management, Business Intelligence digunakan untuk membantu perusahaan melakukan monitoring, analisis, dan evaluasi performa supply chain secara lebih cepat dan terintegrasi. Sistem BI memungkinkan perusahaan mengolah data supply chain menjadi informasi visual seperti dashboard, grafik, dan laporan analitis sehingga perusahaan dapat memahami kondisi operasional supply chain secara lebih efektif. Penelitian *Business Intelligence in Supply Chain Management* menjelaskan bahwa Business Intelligence menjadi salah satu teknologi penting dalam mendukung pengambilan keputusan dan peningkatan performa supply chain pada lingkungan bisnis modern (Macklin, 2024).

2.1.10 Arsitektur dan Komponen BI

A. Arsitektur BI

Arsitektur teknologi *Business Intelligence* (BI) tersusun atas empat lapisan utama, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.3. Lapisan pertama adalah *Business Intelligence and Analytics*, yang mencakup berbagai perangkat dan metode yang digunakan oleh sistem atau proses organisasi untuk melakukan analisis terhadap data dan menghasilkan informasi yang mendukung pengambilan keputusan. Lapisan kedua yaitu *Information Access and Data Integration*, yang berfungsi sebagai sarana untuk menghimpun data dari berbagai sumber, mengintegrasikannya, serta mentransformasikannya menjadi informasi yang terstruktur dan siap diakses oleh pengguna.

Lapisan selanjutnya adalah *Data Warehousing*, yang berperan sebagai media penyimpanan terpusat berupa basis data atau kumpulan berkas yang menampung data terintegrasi. Data pada lapisan ini selanjutnya dimanfaatkan sebagai fondasi utama dalam proses BI dan analitik. Lapisan terakhir adalah *Data Sources*, yaitu berbagai sumber data awal, baik yang berasal dari sistem internal organisasi maupun dari pihak eksternal, yang menjadi input utama dalam keseluruhan arsitektur teknologi BI (Ahmad et al., 2023).



Gambar 2. 3 Arsitektur BI

Sumber: Ahmar, et al., 2023

1. *Business Intelligence and Analytics*

Komunitas bisnis dalam suatu organisasi memiliki kebutuhan analitis serta pola kerja yang sangat beragam. Bentuk analisis yang dilakukan berbeda-beda, bergantung pada tingkat kedalaman analisis, fokus kajian, volume dan struktur data yang digunakan, serta karakteristik proses bisnis yang dijalankan. Aktivitas analitis tersebut dapat mencakup evaluasi kinerja tenaga penjualan, pemberian dukungan terhadap layanan pelanggan, hingga peramalan perilaku pelanggan.

Selain itu, pendekatan analisis yang diterapkan oleh pelaku bisnis juga dipengaruhi oleh latar belakang pengetahuan dan pengalaman profesional masing-masing individu. Meskipun perangkat *Business Intelligence* telah dikembangkan dan digunakan selama beberapa dekade, cakupan, kompleksitas, serta ragam kemampuan dan gaya penerapannya terus mengalami perkembangan seiring dengan kebutuhan organisasi. Kondisi ini mendorong pasar BI untuk merespons keberagaman peran pengguna, kebutuhan aplikasi, dan jenis analisis yang dibutuhkan dengan

menghadirkan berbagai pendekatan atau gaya analisis BI yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pelaku bisnis.

2. *Information Access and Data Integration*

Pandangan konvensional terhadap lingkungan *Business Intelligence* (BI) umumnya menggambarkan bahwa proses ETL digunakan untuk mengintegrasikan data dari berbagai sistem sumber ke dalam *Data Warehouse* (DW), yang selanjutnya dimanfaatkan oleh pengguna bisnis melalui alat BI untuk keperluan analisis. Meskipun pandangan ini tidak sepenuhnya keliru, pendekatan tersebut terlalu menyederhanakan kompleksitas arsitektur BI sehingga berpotensi menimbulkan kesalahpahaman dalam perancangan dan pelaksanaan proyek BI serta integrasi data. Penyederhanaan ini dapat mendorong terbentuknya integrasi yang tumpang tindih dan *data silo*, yang pada akhirnya meningkatkan biaya operasional dan menurunkan efektivitas BI. Kesalahpahaman tersebut antara lain mencakup anggapan bahwa pelaku bisnis hanya berperan sebagai konsumen BI, aplikasi BI dan analitik semata-mata berfungsi untuk meminta data, alat BI merupakan tujuan akhir aliran data, integrasi data hanya dilakukan melalui proses ETL berbasis *batch*, serta BI selalu dipandang sebagai proyek perusahaan yang menuntut integrasi data secara menyeluruh.

3. *Data Warehousing*

Pandangan mengenai *Enterprise Data Warehouse* (EDW) menempatkannya sebagai komponen utama dalam inisiatif *Business Intelligence* (BI), yang didukung oleh *data mart* dan *Online Analytical Processing* (OLAP) yang bersumber dari EDW. Namun, arsitektur teknologi BI yang lebih komprehensif mencakup seluruh basis data yang telah mengalami transformasi untuk keperluan analitik maupun hasil integrasi dari berbagai sumber data. Secara keseluruhan, kumpulan data tersebut membentuk *Logical Data Warehouse* (LDW) yang berfungsi sebagai fondasi data bagi platform analitik organisasi. Bergantung pada kebutuhan bisnis dan kapabilitas teknologinya, perusahaan dapat menerapkan LDW dalam bentuk sistem yang terintegrasi secara ketat atau sebagai federasi data yang lebih fleksibel. Selain mencakup EDW, *data mart*, dan OLAP cube, LDW juga dapat meliputi fungsi analitik, pemrosesan *big data* termasuk data tidak terstruktur yang telah diperkaya, *Master Data Management* (MDM), *Operational Data Store* (ODS), serta berbagai repositori yang digunakan

untuk menyimpan data pendukung seperti metadata bagi BI, analitik, integrasi data, dan virtualisasi data.

4. *Data Sources*

Pandangan konvensional menyatakan bahwa data sebaiknya disimpan dalam satu lokasi tunggal untuk mendukung proses pengambilan data dan konsumsi informasi, baik menggunakan basis data relasional, NoSQL, maupun teknologi lainnya. Namun demikian, arsitektur teknologi yang lebih direkomendasikan mengakui bahwa kebutuhan konsumsi informasi tidak selalu dapat dipenuhi hanya melalui permintaan langsung terhadap basis data operasional. Dalam kondisi tertentu, data perlu diintegrasikan dan ditransformasikan terlebih dahulu agar dapat menghasilkan informasi yang bernilai analitis. Ketika proses integrasi tersebut dilakukan, data umumnya dipindahkan ke lingkungan *data warehouse*. Hal ini tidak mengindikasikan bahwa proses pengambilan data dan konsumsi informasi harus menggunakan teknologi basis data yang berbeda, melainkan menekankan bahwa data perlu diorganisasikan dan disimpan dengan struktur yang berbeda sesuai dengan tujuan penggunaannya.

B. ETL (Extract, Transform, Load)

Extract, Transform, Load (ETL) merupakan komponen fundamental dalam pengembangan dan pengelolaan *data warehouse*. Perancangan sistem ETL yang efektif menekankan proses ekstraksi data dari berbagai sumber, penerapan standar yang konsisten, serta pengendalian kualitas data agar data yang berasal dari sistem yang berbeda dapat diintegrasikan dan disajikan dalam format yang sesuai untuk keperluan analisis. Meskipun proses ETL tidak secara langsung terlihat oleh pengguna akhir *data warehouse*, perannya sangat krusial sebagai tulang punggung operasional sistem. Dalam praktiknya, aktivitas ETL menyerap sebagian besar sumber daya, yakni sekitar 70 persen, yang dibutuhkan dalam tahap implementasi maupun pemeliharaan *data warehouse* (Casetra & Kimball, 2004).

1. *Extract*

Proses ekstraksi bertujuan untuk mengidentifikasi seluruh sumber data yang relevan serta mengambil data tersebut secara efisien. Dalam tahap ini, program ekstraksi melakukan penelusuran terhadap berkas atau basis data dengan menerapkan berbagai kriteria seleksi untuk menentukan data yang sesuai dengan kebutuhan analisis. Data

yang terpilih selanjutnya dipindahkan atau ditransfer ke media penyimpanan lain, baik berupa berkas maupun basis data, sebagai tahap awal sebelum dilakukan proses pengolahan lebih lanjut (Wijaya & Pudjoatmodjo, 2016).

2. *Transform*

Transformasi merupakan sekumpulan aturan atau fungsi yang diterapkan pada data hasil ekstraksi untuk menentukan bagaimana data tersebut akan diolah dan dimanfaatkan dalam proses analisis. Tahap ini dapat mencakup berbagai aktivitas pengolahan data, seperti pengkodean, penggabungan, pemisahan, perhitungan, serta pembentukan *surrogate key*. Melalui proses transformasi, data dibersihkan dan distandarkan agar konsisten dengan data yang telah tersimpan di *data warehouse*, sehingga menghasilkan data yang terstruktur dan siap digunakan oleh pengguna *warehouse* untuk keperluan analisis dan pengambilan keputusan (Connolly & Begg, 2015).

3. *Load*

Load merupakan tahap dalam proses ETL yang berfungsi untuk memindahkan dan memasukkan data hasil transformasi ke dalam sistem tujuan akhir, yang umumnya berupa *data warehouse*. Durasi dan frekuensi pelaksanaan proses ini disesuaikan dengan kebutuhan dan kebijakan organisasi. Sebagian *data warehouse* melakukan pemuatan data secara periodik dengan memperbarui keseluruhan informasi yang ada, sedangkan sistem lainnya, atau bagian tertentu dalam *data warehouse* yang sama, menerapkan penambahan data secara bertahap dalam bentuk historis, misalnya dengan interval waktu tertentu seperti per jam (Darudiato, 2010).

C. Dashboard dan Visualisasi

Dalam konteks *Business Intelligence* (BI), dashboard merupakan antarmuka visual yang dirancang untuk menampilkan data serta *Key Performance Indicators* (KPI) secara ringkas, interaktif, dan mendekati waktu nyata melalui beragam metode visualisasi, seperti grafik, tabel, peta, dan kartu metrik. Dashboard berfungsi menyederhanakan data yang kompleks menjadi informasi yang mudah dipahami, sehingga mampu mempercepat serta meningkatkan kualitas pengambilan keputusan manajerial. Melalui penyajian wawasan yang cepat, akurat, dan mudah diinterpretasikan, dashboard dapat digunakan secara efektif baik oleh pengguna bisnis non-teknis maupun oleh analis dalam mendukung proses evaluasi dan perencanaan strategis (Dosunmu et al., 2025).

Dashboard juga merupakan sarana penyajian informasi yang bersifat dinamis dan dirancang untuk mendukung pengambilan keputusan yang berkualitas. Dashboard tersusun atas berbagai bentuk visualisasi data yang memberikan konteks bagi individu maupun kelompok dalam mengidentifikasi wawasan dan menetapkan keputusan yang tepat. Sifat dinamis dashboard memungkinkan pembaruan informasi secara otomatis seiring dengan perubahan data sumber, sehingga keputusan yang sensitif terhadap waktu dapat diambil secara lebih efektif. Sebagai ilustrasi, dashboard yang digunakan untuk memantau kinerja perusahaan berbasis *Software as a Service* (SaaS) menyajikan ringkasan indikator utama seperti pendapatan, biaya operasional, jumlah pengguna, serta data relevan lainnya yang dapat dievaluasi secara cepat (Rahmawati, 2022).

Visualisasi data merupakan metode penyajian informasi dalam bentuk tampilan visual yang bertujuan untuk mempermudah proses pemahaman dan interpretasi data oleh pengguna. Brown (2024) menyatakan bahwa pemanfaatan grafik yang bersifat interaktif dalam penyajian data mampu meningkatkan tingkat pemahaman audiens serta menjadikan informasi yang disampaikan lebih menarik. Grafik sendiri merupakan media visual yang digunakan untuk menyajikan data secara informatif sehingga dapat mempermudah proses analisis dan mendukung pengambilan keputusan (Siregar et al., 2025).

Grafik berperan penting dalam visualisasi data karena mampu menyederhanakan informasi kompleks, membuatnya lebih mudah diinterpretasi. Misalnya, data penjualan bulanan dapat disajikan dalam bentuk grafik garis, di mana setiap titik pada garis menunjukkan nilai penjualan setiap bulan. Hal ini memungkinkan manajer melihat tren peningkatan atau penurunan penjualan secara cepat (Sulianta, 2024).

2.1.11 CvaR (Conditional Value at Risk)

Conditional Value at Risk (CVaR) merupakan ukuran risiko yang digunakan untuk mengukur besarnya konsekuensi atau kerugian pada kondisi ekstrem di luar batas risiko tertentu. CVaR sering digunakan sebagai pengembangan dari Value at Risk (VaR). CVaR juga dikenal dengan istilah Expected Shortfall, yaitu ukuran risiko yang merepresentasikan rata-rata kerugian pada bagian ekor distribusi atau kelompok skenario terburuk. Expected Shortfall merupakan alternatif yang lebih koheren dibandingkan VaR karena tidak hanya menunjukkan titik batas kerugian, tetapi juga memperhitungkan rata-rata dampak pada skenario dengan kerugian terbesar (Acerbi & Tasche, 2002). Dalam konteks pengambilan keputusan, CVaR membantu

pengambilan keputusan untuk tidak hanya memperhatikan kondisi rata-rata, tetapi juga mempertimbangkan skenario yang memiliki konsekuensi risiko paling tinggi.

Dalam konteks supply chain dan inventory management, CVaR dapat digunakan untuk memahami risiko operasional akibat ketidakpastian permintaan. Permasalahan keputusan jumlah pemesanan di bawah ketidakpastian permintaan. pendekatan CVaR pada newsvendor problem untuk meminimalkan risiko kerugian pada kondisi ekstrem di bawah ketidakpastian demand. Hal ini menunjukkan bahwa CVaR relevan digunakan dalam konteks keputusan operasional dan inventory management yang dipengaruhi oleh ketidakpastian permintaan (Liu & Zhu, 2023).

Pada penelitian ini, CVaR tidak digunakan sebagai metode optimasi matematis, melainkan sebagai landasan konseptual untuk memperkuat interpretasi hasil trade-off analysis. Konsep CVaR digunakan untuk menjelaskan bahwa skenario dengan konsekuensi operasional terbesar perlu menjadi perhatian utama. Oleh karena itu, skenario high demand dipahami sebagai kondisi dengan eksposur risiko operasional tertinggi karena menghasilkan biaya, overtime, dan emisi transportasi paling besar dibandingkan skenario lainnya.

2.2 Kajian Literatur

2.2.1 Perkembangan Vendor Managed Inventory (VMI)

Vendor Managed Inventory (VMI) merupakan strategi pengelolaan persediaan di mana supplier bertanggung jawab dalam menentukan jumlah dan waktu pengisian ulang persediaan di retailer berdasarkan data permintaan dan stok aktual. Maio & Lagana, (2020) mengkaji efektivitas penerapan VMI dalam sistem distribusi dengan fokus pada pengurangan biaya transportasi dan peningkatan efisiensi logistik. Penelitian ini menunjukkan bahwa VMI mampu mengoptimalkan rute distribusi serta menurunkan total biaya operasional secara signifikan. Namun kajian ini masih berfokus pada aspek teknis distribusi dan belum mengembangkan kerangka evaluasi kinerja *supply chain* berbasis indikator kinerja yang terintegrasi.

Phong & Yenradee, (2020) mengembangkan model VMI untuk mengoptimalkan biaya persediaan dan transportasi secara simultan. Hasil penelitian membuktikan bahwa penerapan VMI mampu meningkatkan efisiensi biaya total dalam supply chain. Meskipun demikian, pendekatan yang digunakan masih bersifat matematis dan belum mengintegrasikan sistem business intelligence untuk pemantauan dan evaluasi performa secara berkelanjutan.

Perkembangan penelitian terbaru menunjukkan bahwa implementasi VMI mulai diarahkan pada supply chain berkelanjutan (*sustainable supply chain*). Penelitian Khatun et al. (2026) mengenai menunjukkan bahwa pendekatan VMI mulai dikembangkan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi dan lingkungan seperti emisi karbon dan green investment. Namun penelitian tersebut masih berfokus pada optimasi matematis dan belum mengembangkan dashboard analitis berbasis KPI untuk evaluasi performa supply chain secara interaktif.

2.2.2 VMI dan Stabilitas Supply Chain

Salah satu manfaat utama Vendor Managed Inventory adalah meningkatkan stabilitas supply chain melalui peningkatan visibilitas informasi demand dan inventory antara supplier dan retailer. Dengan adanya integrasi informasi tersebut, supplier dapat melakukan replenishment inventory secara lebih responsif sehingga variasi demand dan risiko ketidakseimbangan inventory dapat dikurangi. Alfin et al., (2020), meneliti implementasi VMI menggunakan metode peramalan Winter's Method pada industri manufaktur dan menunjukkan bahwa VMI mampu menurunkan fluktuasi permintaan dan meningkatkan stabilitas inventory supply chain. Namun penelitian tersebut masih berfokus pada forecasting dan pengendalian inventory serta belum mengembangkan sistem analisis performa berbasis dashboard Business Intelligence.

Penelitian lain mengenai Kokroko et al. (2025) menunjukkan bahwa pendekatan simulasi probabilistik mulai banyak digunakan untuk mengevaluasi ketidakpastian demand dan risiko supply chain pada lingkungan multi-tier supply chain. Pendekatan tersebut mampu menghasilkan berbagai skenario operasional untuk membantu perusahaan memahami dampak perubahan demand terhadap service level dan performa supply chain. Namun sebagian besar penelitian masih berfokus pada risk assessment dan resilience analysis, bukan pada evaluasi performa supply chain berbasis KPI sustainability dan dashboard interaktif.

Selain itu, penelitian mengenai Mili (2024) menunjukkan bahwa pendekatan scenario analysis dan stochastic simulation memiliki potensi besar dalam membantu perusahaan menghadapi ketidakpastian demand supply chain. Akan tetapi, penelitian tersebut masih berorientasi pada optimasi supply chain dan belum mengintegrasikan Business Intelligence sebagai media visualisasi performa supply chain berbasis skenario permintaan.

2.2.3 Faktor Kesiapan dan Keberhasilan Implementasi VMI

Keberhasilan implementasi VMI tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh kesiapan organisasi dan kualitas kolaborasi antar pihak. Faktor seperti integrasi sistem

informasi, kepercayaan, serta kualitas data menjadi prasyarat utama dalam penerapan VMI. Undariyanto & Bahagia, (2024) melakukan *systematic literature review* terkait kesiapan implementasi VMI dan mengidentifikasi faktor-faktor kunci seperti kesiapan teknologi, informasi, integrasi data, dan kepercayaan antar pihak. Studi ini memberikan kontribusi konseptual dalam memahami prasyarat VMI, namun belum mengimplementasikan kerangka tersebut dalam bentuk sistem analitis atau pengukuran kinerja berbasis operasional nyata.

Dalulia et al., (2025) mengusulkan kriteria kesiapan implementasi VMI menggunakan pendekatan Kano Model. Penelitian ini membantu mengklasifikasikan kebutuhan sistem VMI berdasarkan tingkat kepentingannya. Namun, penelitian ini masih berfokus pada tahap pra-implementasi dan belum membahas evaluasi performa *supply chain* setelah VMI diterapkan.

2.2.4 Implementasi VMI pada Supply Chain Multi-Produk dan Multi-Retailer

Supply chain modern umumnya melibatkan berbagai jenis produk dan banyak retailer, sehingga meningkatkan kompleksitas pengelolaan persediaan. Implementasi VMI dalam lingkungan multi-produk dan multi-retailer membutuhkan sistem informasi yang terintegrasi dan mampu mengelola data dalam skala besar. Undariyanto, (2023) mengkaji potensi penerapan VMI pada sektor transportasi dan logistik, khususnya pada distribusi bahan bakar minyak (BBM). Penelitian ini menunjukkan bahwa VMI berpotensi meningkatkan efisiensi distribusi dan menurunkan biaya logistik. Namun, ruang lingkup penelitian masih terbatas pada suatu jenis produk dan belum merepresentasikan kompleksitas multi-produk serta multi-retailer

Adirektawon et al., (2024) mengembangkan model simulasi untuk membandingkan sistem persediaan tradisional dengan VMI pada sektor layanan Kesehatan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa VMI mampu meningkatkan inventory turnover dan menurunkan total biaya persediaan. Namun, penelitian ini masih berbasis simulasi dan belum menggunakan data operasional nyata yang mencerminkan kondisi *supply chain* yang dinamis.

Ramadhan & Mansur, (2025) mengembangkan sistem integrasi VMI pada proses distribusi dengan pendekatan optimasi. Penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan koordinasi distribusi. Namun, sistem yang dikembangkan belum dilengkapi dengan kerangka KPI komprehensif untuk evaluasi performa *supply chain*.

2.2.5 Pendekatan Simulasi dan Optimasi pada VMI

Pendekatan optimasi dan model matematis banyak digunakan dalam penelitian VMI untuk menentukan kebijakan persediaan yang optimal. Model-model ini membantu perusahaan dalam menekan biaya dan meningkatkan efisiensi operasional. Badi et al., (2025) mengkaji mengenai

peningkatan efisiensi supply chain melalui optimasi rute dan penjadwalan menggunakan pendekatan heuristik. Penelitian ini berhasil menunjukkan penurunan biaya distribusi dan peningkatan efisiensi operasional. Namun, fokus penelitian lebih menekankan pada optimasi matematis dan belum mengembangkan kerangka evaluasi kinerja berbasis KPI yang terintegrasi dalam skema VMI.

Salas-Navarro et al., (2024) mengembangkan model matematis VMI pada supply chain tiga lapis. Model ini memberikan kontribusi teoritis yang signifikan dalam perencanaan persediaan. Akan tetapi, penelitian ini belum diimplementasikan dalam sistem analitis berbasis data nyata yang dapat digunakan untuk monitoring performa.

Perkembangan penelitian terbaru menunjukkan bahwa Monte Carlo Simulation mulai digunakan untuk menangani ketidakpastian demand pada supply chain. Penelitian Maitra (2023) menunjukkan bahwa pendekatan Monte Carlo mampu menghasilkan berbagai skenario demand untuk mendukung evaluasi risiko supply chain secara probabilistik. Namun penelitian tersebut masih berfokus pada inventory optimization dan belum mengintegrasikan sustainability KPI maupun Business Intelligence dashboard sebagai alat evaluasi performa supply chain.

2.2.6 VMI dan Sustainable Supply Chain

Integrasi aspek lingkungan seperti emisi dan limbah menjadi penting seiring meningkatkan tuntutan keberlanjutan industri. Lotfi et al., (2024) mengembangkan model VMI dengan consignment stock yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan. Penelitian ini memasukkan faktor emisi dan energi dalam perhitungan model persediaan. Namun, pendekatan yang digunakan masih bersifat matematis dan belum diterapkan dalam sistem *business intelligence* berbasis data operasional nyata.

Penelitian Kumar & Kumar (2025) menunjukkan bahwa sebagian besar penelitian sustainability masih berfokus pada aspek ekonomi dan lingkungan, sedangkan integrasi aspek sosial masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian sustainable supply chain masih didominasi pendekatan optimasi matematis dan belum banyak mengembangkan sistem analitis berbasis visualisasi dashboard untuk monitoring performa supply chain secara real-time.

2.2.7 Business Intelligence pada Supply Chain dan VMI

Business Intelligence (BI) berperan penting dalam mengolah data operasional *supply chain* menjadi informasi yang mendukung pengambilan keputusan manajerial. Purnasari, (2025) mengkaji hubungan antara BI dan VMI terhadap kinerja organisasi secara konseptual.

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi BI dan VMI berpotensi meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan. Namun, penelitian ini belum mengimplementasikan sistem BI secara teknis.

Tampubolon & Harahap, (2025) mengembangkan sistem inventory berbasis VMI pada satu toko ritel. Sistem ini telah mengintegrasikan data persediaan secara digital. Akan tetapi, skala penelitian masih terbatas dan belum mencakup evaluasi KPI supply chain yang bersifat multi-produk dan multi-retailer. Mohite et al. (2025) meneliti adopsi cloud-based inventory management dalam konteks VMI. Penelitian ini berfokus pada faktor adopsi teknologi dan persepsi pengguna. Namun, evaluasi kinerja supply chain secara kuantitatif belum menjadi fokus utama.

Perkembangan penelitian terbaru menunjukkan bahwa Business Intelligence mulai digunakan untuk mendukung digitalisasi dan sustainability supply chain. Penelitian Dossou et al. (2024) menunjukkan bahwa dashboard digital dan analisis data menjadi elemen penting dalam monitoring performa sustainable supply chain pada era Industry 5.0. Namun implementasi dashboard sustainability berbasis VMI dan scenario-based analysis masih sangat terbatas.

2.2.8 Posisi Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka yang telah dibahas, posisi penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan dapat disimpulkan bahwa *state of the art* penelitian VMI saat ini masih didominasi oleh pendekatan konseptual, simulasi dan optimasi matematis. Meskipun VMI terbukti mampu meningkatkan efisiensi supply chain dan menurunkan biaya persediaan, sebagian besar penelitian belum mengintegrasikan business intelligence sebagai alat evaluasi kinerja yang komprehensif.

Selain itu, penelitian terdahulu umumnya belum mengintegrasikan secara simultan Vendor Managed Inventory (VMI), Monte Carlo Simulation, Scenario-based Analysis, Business Intelligence Dashboard, dan trade-off analysis dalam satu kerangka analisis supply chain berbasis data operasional nyata. Penelitian Kumar & Kumar (2025) sustainable supply chain terbaru juga menunjukkan bahwa integrasi aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara simultan masih relatif terbatas pada penelitian supply chain modern.

Oleh karena itu, penelitian ini mengisi research gap tersebut dengan mengembangkan analisis performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory menggunakan pendekatan Monte Carlo Simulation dan scenario-based analysis. Penelitian ini menggunakan dashboard

Business Intelligence berbasis Microsoft Power BI untuk menganalisis service performance, aspek ekonomi, sosial, lingkungan, serta hubungan trade-off antar aspek sustainability pada supply chain multi-produk dan multi-retailer menggunakan data operasional nyata.

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian

Penulis	Industri	Metode		
	Manufaktur	VMI/ Multi-produk multi-retailer	Simulation	BI
(Alfin et al., 2020)	✓	✓	✓	
(Undariyanto & Bahagia, 2024)		✓		
(Undariyanto, 2023)		✓		
(Badi et al., 2025)	✓	✓		
(Adirektawon et al., 2024)		✓		
(Lotfi et al., 2024)		✓		
(Salas-Navarro et al., 2024)	✓	✓	✓	
(Salas-Navarro et al., 2025)		✓		
(Dalulia et al., 2025)	✓	✓		
(Purnasari, 2025)		✓		
(Tampubolon & Harahap, 2025)		✓		
(Ramadhan & Mansur, 2025)	✓	✓		
(Mohite et al., 2025)	✓	✓		
(Phong & Yenradee, 2020)		✓		
(Maio & Lagana, 2020)		✓		
(Khatun et al., 2026)		✓		
(Maitra, 2023)	✓		✓	
(Dossou et al., 2024)	✓		✓	
(Mohite et al., 2025)		✓		✓
Usulan	✓	✓	✓	✓

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah PT X dan PT Y yang merupakan bagian dari PT XYZ dan dalam penelitian ini diperlakukan sebagai satu entitas analisis pada sisi *supplier*. Kedua perusahaan tersebut bergerak di sektor industri elektronik dan berperan sebagai pemasok utama yang mendistribusikan 7 jenis produk ke 9 retailer dalam skema *Vendor Managed Inventory* (VMI). Subjek penelitian difokuskan pada aktivitas pengelolaan persediaan, produksi, dan distribusi yang dilakukan oleh *supplier* dalam rangka memenuhi permintaan retailer.

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini adalah sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) pada PT XYZ dan retailer terkait. Penelitian difokuskan pada proses distribusi produk dari supplier menuju retailer dengan mempertimbangkan pengelolaan *inventory*, performa layanan distribusi, kapasitas tenaga kerja, biaya operasional, serta dampak lingkungan dari aktivitas supply chain. Dalam penelitian ini, VMI diposisikan sebagai konteks sistem pengelolaan supply chain, di mana supplier menjadi pihak utama dalam mengevaluasi pemenuhan permintaan *retailer* berdasarkan data demand, produk, biaya, kapasitas tenaga kerja, dan distribusi.

Penelitian ini tidak diarahkan untuk merancang kebijakan *replenishment* secara detail, seperti *reorder point*, *safety stock*, *maximum-minimum inventory level*, atau optimasi pengiriman, melainkan untuk mengevaluasi kinerja *supply chain* berbasis VMI dari sisi supplier. Analisis dilakukan menggunakan data operasional supply chain yang mencakup data produk, *supplier*, *retailer*, distribusi transportasi, biaya supply chain, kapasitas tenaga kerja, emisi karbon, dan scrap. Data tersebut digunakan untuk membentuk indikator performa yang dianalisis melalui pendekatan Business Intelligence (BI), dengan fokus pada aspek ekonomi, sosial, lingkungan, serta hubungan trade-off antar aspek pada setiap skenario permintaan.

3.3 Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan jenis data yang diperoleh tidak secara langsung dari sumber utama, melainkan melalui pihak

atau media perantara. Data ini umumnya bersumber dari berbagai dokumen pendukung, seperti arsip, catatan, buku, artikel jurnal, maupun laporan historis yang telah terdokumentasi dan tersusun secara sistematis (Arvyanda et al., 2023). Data dalam penelitian ini bersumber dari PT X dan PT Y sebagai pihak *supplier* yang menyediakan data operasional terkait implementasi *Vendor Managed Inventory* (VMI). Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi kinerja *supply chain* dari aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan secara kuantitatif.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dokumentasi dan data sharing perusahaan. Peneliti tidak melakukan pengamatan langsung ke lapangan, melainkan memperoleh data dalam bentuk laporan internal dan database operasional yang dikirimkan oleh pihak perusahaan. Data yang dikumpulkan meliputi data produksi, permintaan retailer, distribusi, persediaan, biaya produksi dan logistik, serta data terkait scrap produk dan emisi yang dihasilkan dari aktivitas rantai pasok. Seluruh data tersebut kemudian diolah, dianalisis, dan divisualisasikan menggunakan pendekatan *business intelligence* untuk menghasilkan indikator kinerja utama (KPI) yang relevan dengan tujuan penelitian. Adapun rician data yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Daftar Data Penelitian

No	Nama Data	Atribut Data	Kegunaan
1	Data Produk	Product, Weight, Volume, Std Labour Hours, Baseline Scrap Rate	Perhitungan produksi, tenaga kerja, dan emisi
2	Data Supplier	Unit Production Cost, Setup Cost, Labour Hours, Scrap Rate	Analisis biaya dan kapasitas operasional
3	Data Supplier Parameters	Labour Capacity, Overtime Threshold, Working Days, Working Hours, Worker	Perhitungan FTE dan overtime
4	Data Retailer Costs	Holding Cost, Stockout Penalty, Service Level Target	Analisis service performance dan biaya
5	Data Distances	Supplier, Retailer, Distance	Perhitungan transport cost dan emission
6	Data Transportation Parameters	Transport Cost, Carbon Emission Factor, Carbon Price	Analisis aspek lingkungan

No	Nama Data	Atribut Data	Kegunaan
7	Data Demand Parameters	Mean Demand, Standard Deviation	Simulasi Monte Carlo
8	Data Waste Parameters	Scrap Disposal Cost, Scrap Disposal Emission	Analisis waste dan lingkungan
9	Data Ordering Costs	Vendor Order Cost, Delivery Cost, Lead Time	Perhitungan ordering cost

3.5 Variabel dan Indikator Penelitian

Variabel service performance digunakan untuk mengukur kemampuan supply chain dalam memenuhi permintaan retailer dan menjaga ketersediaan produk pada sistem distribusi. Pada penelitian ini, perusahaan telah menetapkan target service level berupa fill rate sebesar 95%. Oleh karena itu, indikator yang digunakan untuk mengevaluasi performa pelayanan supply chain adalah jumlah permintaan yang berhasil dipenuhi (*fulfilled demand*) dan jumlah permintaan yang tidak terpenuhi (*unmet demand*). Penggunaan kedua indikator tersebut didasarkan pada konsep fill rate dan stockout yang menggambarkan tingkat pemenuhan permintaan serta risiko kekurangan persediaan dalam sistem inventory. Menurut Babiloni & Guijarro (2020) fill rate merupakan salah satu ukuran service level yang paling banyak digunakan dalam sistem inventory modern karena mampu merepresentasikan kemampuan perusahaan dalam memenuhi permintaan pelanggan.

3.5.1 Variabel Service Performance

Variabel *service performance* digunakan untuk mengukur kemampuan supply chain dalam memenuhi permintaan retailer dan menjaga ketersediaan produk pada sistem distribusi. Pada penelitian inventory management, performa pelayanan supply chain umumnya diukur menggunakan indikator *fill rate* dan *stockout rate* karena kedua indikator tersebut mampu merepresentasikan tingkat pemenuhan permintaan dan risiko kekurangan stok pada supply chain. Penelitian Babiloni & Guijarro (2020) menjelaskan bahwa *fill rate* merupakan salah satu indikator service level yang paling banyak digunakan pada sistem inventory modern.

A. Fulfilled Demand

Fulfilled demand merupakan jumlah permintaan retailer yang berhasil dipenuhi oleh sistem supply chain sesuai dengan target service level yang telah ditetapkan. Indikator ini digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem dalam memenuhi permintaan pelanggan. Guijarro et al. (2022) menjelaskan bahwa fill rate berkaitan dengan expected satisfied demand, yaitu jumlah permintaan yang dapat dipenuhi dari persediaan yang

tersedia. Oleh karena itu, fulfilled demand digunakan sebagai ukuran utama tingkat pelayanan supply chain pada penelitian ini. Rumus fulfilled demand pada Persamaan 3.1 yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

$$Fulfilled\ Demand = \sum (Demand \times ServiceLevel) \quad (3.1)$$

Keterangan:

- *Demand* = Total demand pada skenario permintaan (unit)
- *Service Level* = Service level retailer (%)

Untuk keseluruhan retailer dan produk, fulfilled demand dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian antara demand dan service level pada setiap kombinasi retailer dan produk.

B. Unmet Demand

Unmet demand merupakan jumlah permintaan retailer yang tidak dapat dipenuhi oleh sistem supply chain. Indikator ini berkaitan dengan kondisi stockout, yaitu ketika persediaan yang tersedia tidak mampu memenuhi permintaan pelanggan. Gonzales-León et al. (2023) menjelaskan bahwa stockout merupakan salah satu indikator penting dalam evaluasi performa inventory karena menunjukkan tingkat kegagalan sistem dalam memenuhi permintaan. Oleh karena itu, unmet demand digunakan untuk menggambarkan besarnya permintaan yang tidak dapat dilayani oleh sistem supply chain. Rumus unmet demand pada penelitian ini ditunjukkan pada Persamaan (3.2)

$$Unmet\ Demand = \sum (Demand \times (1 - ServiceLevel)) \quad (3.2)$$

Keterangan:

- *Demand* = Total demand pada skenario permintaan (unit)
- *Service Level* = Service level retailer (%)

Nilai unmet demand menunjukkan jumlah unit permintaan yang diperkirakan tidak dapat dipenuhi pada setiap skenario permintaan yang dihasilkan dalam penelitian.

3.5.2 Variabel Ekonomi

Variabel ekonomi digunakan untuk mengevaluasi performa biaya supply chain pada implementasi Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan. Pada sistem supply chain berbasis VMI, pengelolaan *inventory*, distribusi, dan pemenuhan permintaan secara langsung memengaruhi total biaya operasional supply chain. Oleh karena itu, aspek

ekonomi menjadi salah satu indikator utama dalam mengevaluasi efektivitas implementasi VMI.

Menurut Bai et al. (2025), evaluasi performa ekonomi supply chain umumnya dilakukan melalui pengukuran total biaya supply chain yang terdiri dari biaya produksi, biaya inventory, biaya transportasi, dan biaya stockout. Selain itu, pengukuran indikator ekonomi pada sustainable supply chain diperlukan untuk mengevaluasi efisiensi operasional dan dampak biaya akibat ketidakpastian permintaan (Saeed & Kersten, 2020). Pada penelitian ini, variabel ekonomi diukur menggunakan indikator utama yaitu Total Supply Chain Cost dan Cost per unit. Sedangkan komponen biaya seperti production cost, holding cost, transport cost, scrap cost, stockout cost, dan ordering cost digunakan sebagai komponen perhitungan total biaya supply chain.

A. Total Supply Chain Cost

Total Supply Chain Cost digunakan untuk mengukur total biaya operasional supply chain pada implementasi Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan masing-masing skenario permintaan. Nilai total supply chain cost digunakan untuk mengevaluasi efisiensi ekonomi supply chain pada kondisi low demand, normal demand, dan high demand. Rumus total supply chain cost ditunjukkan pada Persamaan (3.3).

$$\text{Total Supply Chain} = C_{\text{Production}} + C_{\text{Transport}} + C_{\text{Scrap}} + C_{\text{Stockout}} + C_{\text{Ordering}} + C_{\text{Holding}} \quad (3.3)$$

Keterangan:

- *Production Cost* = biaya produksi produk.
- *Holding Cost* = biaya penyimpanan inventory.
- *Transport Cost* = biaya distribusi produk.
- *Scrap Cost* = biaya scrap/waste produksi.
- *Stockout Cost* = biaya akibat permintaan yang tidak terpenuhi.
- *Ordering Cost* = biaya pemesanan dan distribusi.

Dalam implementasi dashboard Business Intelligence, *total supply chain cost* dihitung menggunakan pendekatan agregasi biaya berdasarkan *demand scenario* dan *service level retailer*.

B. Cost per Unit

Cost per unit digunakan untuk mengevaluasi efisiensi biaya supply chain berdasarkan total demand pada masing-masing skenario permintaan. Rumus cost per unit ditunjukkan pada Persamaan (3.4).

$$\text{Cost per Unit} = \frac{\text{Total SupplyChain Cost}}{\text{Total Demand}} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- Total Supply Chain Cost = total biaya supply chain.
- Total Demand = total permintaan retailer.

Nilai cost per unit digunakan untuk membandingkan efisiensi biaya supply chain pada kondisi low demand, normal demand, dan high demand.

3.5.3 Variabel Sosial

Variabel sosial digunakan untuk mengevaluasi dampak skenario permintaan terhadap kebutuhan dan kapasitas tenaga kerja pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI). Pada penelitian ini, aspek sosial tidak diukur melalui persepsi pekerja, melainkan melalui indikator kuantitatif operasional yang berkaitan dengan kebutuhan jam kerja dan potensi overtime.

Penggunaan indikator tenaga kerja relevan karena perencanaan produksi dan workforce planning saling berkaitan. Perubahan permintaan akan memengaruhi kebutuhan kapasitas tenaga kerja, sedangkan penambahan atau kekurangan kapasitas tenaga kerja dapat memengaruhi kemampuan sistem produksi dalam memenuhi permintaan. Penelitian terkait production and workforce planning juga menjelaskan bahwa keputusan produksi, tenaga kerja, dan aspek finansial perlu direncanakan secara terintegrasi karena ketiganya saling memengaruhi (Martins, 2020). Pada penelitian ini indikator utama variabel sosial adalah Full Time Equivalent (FTE) dan Overtime Ratio. Sementara itu, Total Labour Hours, Effective Working Time, dan Overtime Hours digunakan sebagai komponen perhitungan.

A. *Full Time Equivalent* (FTE)

Full Time Equivalent (FTE) digunakan untuk mengukur kebutuhan tenaga kerja ekuivalen berdasarkan total jam kerja yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan pada masing-masing skenario. FTE membantu menyetarakan kebutuhan jam kerja ke dalam satuan tenaga kerja penuh, sehingga dapat digunakan untuk menilai apakah kapasitas tenaga kerja supplier sudah mencukupi.

Turnea (2020) menjelaskan bahwa FTE digunakan dalam perencanaan waktu kerja, baik pada layanan maupun produksi fisik, dengan menyetarakan aktivitas kerja ke dalam

satuan tenaga kerja penuh. Dalam konteks tersebut, FTE membantu mengukur kebutuhan tenaga kerja berdasarkan waktu kerja yang diperlukan pada suatu proses. FTE dirumuskan pada Persamaan 3.5 (Okay et al., 2024):

$$FTE = \frac{\text{Total Waktu Kerja yang Dibutuhkan}}{\text{Waktu Kerja Efektif yang Tersedia}} \quad (3.5)$$

Kriteria penilaian FTE mengacu pada pedoman Badan Kepegawaian Negara (2010) yang membagi nilai FTE menjadi tiga kategori, yaitu (Azhar et al., 2018):

- $FTE < 1$ = Underload
- $1 \leq FTE \leq 1.28$ = Normal
- $FTE > 1.28$ = Overload

B. *Overtime Ratio*

Indikator *overtime ratio* digunakan untuk mengukur proporsi jam lembur terhadap total waktu kerja efektif tenaga kerja. Indikator ini menggambarkan tingkat tekanan kerja operasional akibat peningkatan aktivitas supply chain. Perhitungan *overtime ratio* didasarkan pada total *overtime hours* yang terjadi dibandingkan dengan *effective working time* yang tersedia. Rumus yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 3.6:

$$Overtime Ratio = \frac{Overtime Hours}{Waktu Kerja Efektif yang Tersedia} \quad (3.6)$$

Indikator ini menunjukkan tingkat ketergantungan operasional terhadap jam kerja tambahan. Semakin tinggi nilai *overtime ratio*, maka semakin besar proporsi lembur yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan operasional perusahaan. Kondisi tersebut dapat mengindikasikan adanya peningkatan tekanan kerja, ketidakseimbangan kapasitas tenaga kerja, serta potensi penurunan kualitas kondisi kerja karyawan. Selain itu studi Yang et al. (2025) menunjukkan bahwa jam kerja panjang dapat memengaruhi keseimbangan kerja dan produktivitas tenaga kerja.

3.5.4 Variabel Lingkungan

Variabel lingkungan digunakan untuk mengevaluasi dampak aktivitas distribusi terhadap lingkungan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI). Pada penelitian ini, aspek lingkungan difokuskan pada emisi transportasi karena aktivitas distribusi dari supplier ke retailer menghasilkan emisi karbon yang dipengaruhi oleh jumlah permintaan yang dikirim, berat produk, jarak pengiriman, dan faktor emisi kendaraan.

Pengukuran emisi transportasi dalam logistik umumnya menggunakan pendekatan transport activity, yaitu kombinasi antara berat muatan dan jarak distribusi. Pendekatan ini sejalan

dengan kerangka pengukuran emisi logistik seperti Smart Freight Centre (2025) yang menjelaskan bahwa emisi freight transport dapat dihitung berdasarkan aktivitas transportasi dan faktor emisi sesuai moda transportasi yang digunakan. Selain itu, Zadek & Schulz (2010) menjelaskan bahwa pengukuran emisi logistik dapat dilakukan dengan pendekatan berbasis aktivitas transportasi, misalnya berdasarkan jarak, berat muatan, konsumsi energi, atau faktor emisi yang relevan.

A. Transport Emission

Pada studi Domínguez-Caamaño et al. (2017) menjelaskan bahwa emisi transportasi dan pengurangan CO₂ merupakan bagian penting dari KPI transportasi dalam supply chain dan logistics performance. Transport Emission dapat diformulasikan sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 3.7:

$$\begin{aligned} \text{Transport Emission} & \quad (3.7) \\ &= \text{Fulfilled Demand} \times \frac{\text{Product Weight}}{1000} \times \text{Distance} \\ & \quad \times \text{Emission Factor} \end{aligned}$$

Karena Fulfilled Demand diperoleh dari demand yang dikalikan dengan service level, maka rumus tersebut dapat diturunkan menjadi sebagai berikut yang ditunjukkan pada Persamaan 3.8:

$$\begin{aligned} \text{Transport Emission} & \quad (3.8) \\ &= \text{Demand} \times \text{service level} \times \frac{\text{Product Weight}}{1000} \\ & \quad \times \text{Distance} \times \text{Emission Factor} \end{aligned}$$

Satuan komponen dari Persamaan 3.8 ditunjukkan pada Tabel 3.2 Di bawah ini

Tabel 3. 2 Komponen Transport Emission

Simbol/Komponen	Keterangan	Satuan
Demand	Total permintaan retailer	unit
Service Level	Tingkat pemenuhan permintaan	%
Product Weight	Berat produk per unit	kg/unit
1000	Konversi kg menjadi ton	kg/ton
Distance	Jarak distribusi dari supplier ke retailer	km
Emission Factor	Faktor emisi transportasi	kgCO ₂ /ton-km
Transport Emission	Total emisi transportasi	kgCO ₂

Nilai 0,062 digunakan sebagai faktor emisi transportasi. Dengan rumus tersebut, emisi transportasi dihitung berdasarkan aktivitas distribusi dalam satuan ton-kilometer, yaitu berat produk dalam ton dikalikan jarak distribusi dan faktor emisi.

B. Emission per Unit

Indikator ini digunakan untuk mengukur rata-rata emisi karbon yang dihasilkan untuk setiap produk yang didistribusikan. Pengukuran emisi per unit membantu dalam mengevaluasi efisiensi lingkungan pada sistem distribusi supply chain, dalam studi Absi et al. (2013) menjelaskan bahwa emisi per unit produk digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari kombinasi proses produksi dan transportasi. Rumus Emission per Unit pada penelitian ini ditunjukkan 3.9:

$$Emission\ per\ Unit = \frac{Transport\ Emission}{Total\ Demand} \quad (3.9)$$

Tabel 3. 3 Komponen Formula Emission per Unit

Simbol/Komponen	Keterangan	Satuan
Transport Emission	Total emisi transportasi	kgCO ₂
Total Demand	Total permintaan seluruh retailer	unit
Emission per Unit	Rata-rata emisi per unit permintaan	kgCO ₂ /unit

Nilai Emission per Unit digunakan untuk membandingkan efisiensi lingkungan antar skenario permintaan. Skenario dengan total demand lebih tinggi dapat menghasilkan emisi total yang lebih besar, tetapi belum tentu memiliki emisi per unit yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, indikator ini membantu melihat efisiensi emisi secara lebih objektif.

3.5.5 Variabel *Trade-off*

Variabel *trade-off* digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada implementasi *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI). Dalam konteks sustainable *supply chain management*, pengambilan keputusan tidak hanya mempertimbangkan aspek biaya, tetapi juga dampak terhadap tenaga kerja dan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang dapat membandingkan ketiga aspek tersebut secara simultan.

Pada penelitian ini, *trade-off analysis* dilakukan dengan membandingkan performa antar skenario permintaan berdasarkan tiga indeks utama, yaitu *Cost Index*, *Workforce Index*, dan *Emission Index*. Ketiga indeks tersebut diperoleh melalui proses normalisasi min-max agar indikator yang memiliki satuan berbeda dapat dibandingkan dalam skala yang sama. Penggunaan pendekatan multi-kriteria relevan dalam sustainable *supply chain* karena pengambilan keputusan pada *supply chain* berkelanjutan umumnya melibatkan berbagai

kriteria yang saling bertentangan. Literatur mengenai *multi-criteria decision-making* pada *sustainable supply chain* menyebutkan bahwa MCDM digunakan untuk menangani banyak kriteria dalam proses pengambilan keputusan *supply chain* berkelanjutan.

A. *Cost Index*

Cost Index digunakan untuk merepresentasikan performa ekonomi *supply chain* setelah dilakukan normalisasi. Indikator ini dihitung berdasarkan nilai *Total Supply Chain Cost* pada setiap skenario permintaan. Normalisasi dilakukan karena total supply chain cost memiliki satuan rupiah, sehingga perlu dikonversi ke skala indeks agar dapat dibandingkan dengan indikator sosial dan lingkungan. Rumus *Cost Index* ditunjukkan pada Persamaan 3.10:

$$Cost\ Index = \frac{Cost_i - Cost_{min}}{Cost_{max} - Cost_{min}} \quad (3.10)$$

Keterangan:

$Cost_i$ = Total Supply Chain Cost pada skenario ke-i

$Cost_{min}$ = Nilai Total Supply Chain Cost terendah dari seluruh skenario

$Cost_{max}$ = Nilai Total Supply Chain Cost tertinggi dari seluruh skenario

Cost Index = Indeks biaya supply chain pada skenario ke-i

Nilai *Cost Index* berada pada rentang 0 sampai 1. Nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan performa biaya yang lebih baik karena total biaya supply chain lebih rendah. Sebaliknya, nilai yang mendekati 1 menunjukkan biaya supply chain yang relatif lebih tinggi dibandingkan skenario lain.

B. *Workforce Index*

Workforce Index digunakan untuk merepresentasikan performa sosial supply chain setelah dilakukan normalisasi. Pada penelitian ini, *Workforce Index* dihitung berdasarkan *Overtime Hours*, karena overtime menunjukkan tambahan beban kerja yang muncul ketika kebutuhan labour hours melebihi kapasitas waktu kerja efektif. Rumus *Workforce Index* ditunjukkan pada Persamaan 3.11:

$$Workforce\ Index = \frac{Overtime_i - Overtime_{min}}{Overtime_{max} - Overtime_{min}} \quad (3.11)$$

Keterangan:

$Overtime_i$ = Overtime Hours pada skenario ke-i

$Overtime_{min}$ = Nilai Overtime Hours terendah dari seluruh skenario

$Overtime_{max}$ = Nilai Overtime Hours tertinggi dari seluruh skenario

Workforce Index= Indeks beban tenaga kerja pada skenario ke-i

Nilai *Workforce Index* berada pada rentang 0 sampai 1. Nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan kondisi tenaga kerja yang lebih baik karena overtime lebih rendah. Sebaliknya, nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan tekanan tenaga kerja yang lebih tinggi karena overtime meningkat.

C. Emission Index

Emission Index digunakan untuk merepresentasikan performa lingkungan supply chain setelah dilakukan normalisasi. Indikator ini dihitung berdasarkan nilai Transport Emission pada setiap skenario permintaan. Rumus Emission Index ditunjukkan pada Persamaan 3.12

$$Emission\ Index = \frac{Emission_i - Emission_{min}}{Emission_{max} - Emission_{min}} \quad (3.12)$$

$Emission_i$ = Transport Emission pada skenario ke-i

$Emission_{min}$ = Nilai Transport Emission terendah dari seluruh skenario

$Emission_{max}$ = Nilai Transport Emission tertinggi dari seluruh skenario

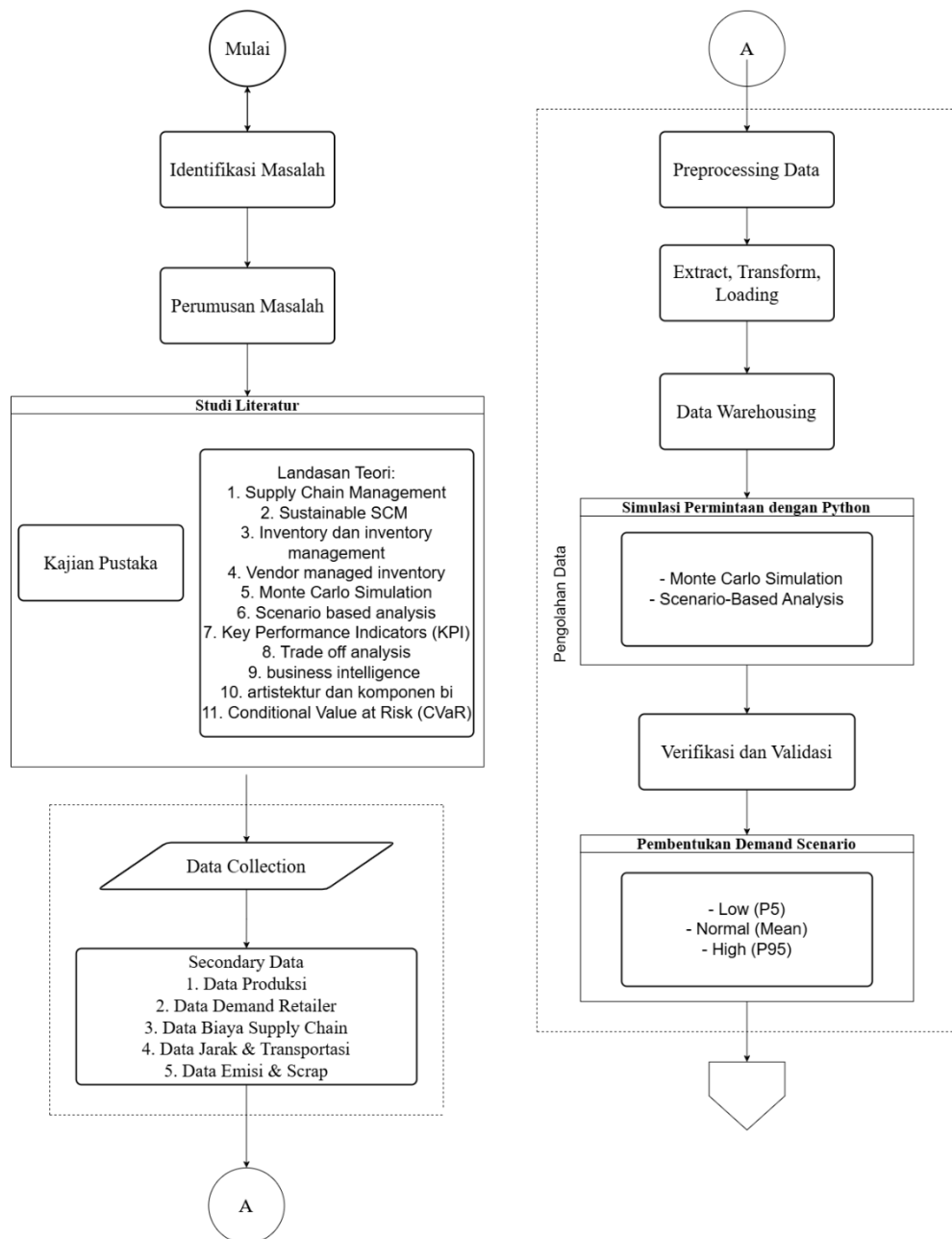
Emission Index= Indeks emisi transportasi pada skenario ke-i

Nilai Emission Index berada pada rentang 0 sampai 1. Nilai yang semakin mendekati 0 menunjukkan dampak lingkungan yang lebih rendah, sedangkan nilai yang mendekati 1 menunjukkan emisi transportasi yang lebih tinggi dibandingkan skenario lainnya.

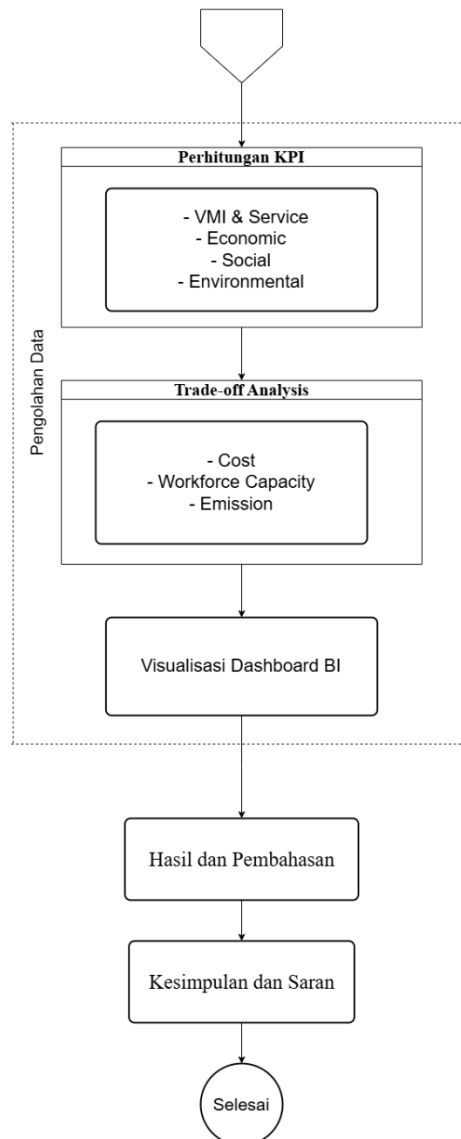
Berdasarkan indikator tersebut, variabel trade-off pada penelitian ini digunakan untuk membandingkan dampak skenario permintaan terhadap aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara simultan. Cost Index menunjukkan posisi relatif biaya supply chain, *Workforce Index* menunjukkan tekanan tenaga kerja berdasarkan overtime, sedangkan Emission Index menunjukkan dampak lingkungan berdasarkan emisi transportasi. Ketiga indeks tersebut membantu mengidentifikasi skenario permintaan yang menghasilkan kombinasi performa paling seimbang dalam implementasi supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI).

3.6 Alur Penelitian

Alur pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian



Gambar 3. 2 Alur Penelitian (lanjutan)

Berikut adalah penjelasan dari alur penelitian pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 di atas:

1. Mulai

Tahap awal penelitian dimulai dengan penentuan topik dan ruang lingkup penelitian

2. Identifikasi Masalah

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan pada sistem supply chain PT X dan PT Y. Permasalahan yang menjadi dasar penelitian berkaitan dengan ketidakpastian permintaan retailer, perbedaan karakteristik demand antar retailer, risiko ketidakseimbangan kebutuhan inventory, serta perlunya analisis performa supply chain berdasarkan aspek service performance, ekonomi, sosial, dan

lingkungan. Identifikasi masalah ini menjadi dasar dalam menentukan fokus penelitian dan indikator yang digunakan.

3. Perumusan Masalah

Tahap perumusan masalah dilakukan untuk menentukan arah penelitian secara lebih jelas. Rumusan masalah pada penelitian ini diarahkan untuk menganalisis performa supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan low demand, normal demand, dan high demand. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis hubungan trade-off antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan berdasarkan hasil perhitungan KPI.

4. Studi Literatur

Tahap studi literatur ini bertujuan untuk membangun dasar teoritis dan konseptual penelitian serta mengidentifikasi posisi penelitian terhadap studi-studi sebelumnya. Studi literatur terdiri atas dua bagian utama, yaitu kajian pustaka dan landasan teori.

a. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan dengan menelaah penelitian terdahulu sebanyak 15 jurnal yang berkaitan dengan *Vendor Managed Inventory* (VMI), serta penerapan *Business Intelligence* dalam manajemen rantai pasok. Pada tahap ini dianalisis metode, variabel, serta hasil penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan penelitian terdahulu. Hasil kajian pustaka digunakan untuk menemukan *research gap*, khususnya terkait minimnya integrasi VMI dengan sistem *business intelligence* dalam evaluasi kinerja *supply chain* secara komprehensif.

b. Landasan Teori

Literatur yang dikaji meliputi Supply Chain Management, Sustainable Supply Chain Management, Inventory Management, Vendor Managed Inventory (VMI), Monte Carlo Simulation, Scenario-Based Analysis, Key Performance Indicators (KPI), Trade-off Analysis, Business Intelligence, ETL, data warehouse, serta dashboard dan visualisasi data, CVaR. Studi literatur juga digunakan untuk memperkuat landasan penelitian dan menentukan posisi penelitian terhadap penelitian terdahulu.

5. Data Collection

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan. Peneliti tidak melakukan observasi langsung ke lapangan, melainkan

menggunakan data historis operasional pada tahun 2024 yang telah terdokumentasi oleh sistem internal perusahaan. Berikut data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Data produksi *supplier*
- b. Data permintaan (*demand*) masing-masing *retailer*
- c. Data biaya *supply chain* (produksi, penyimpanan, transportasi, *scrap*)
- d. Data jarak dan transportasi distribusi
- e. Data emisi karbon dan *scrap* produk

6. Preprocessing Data

Pada tahap ini preprocessing data dilakukan sebelum melakukan ETL di power BI, preprocessing data yang dilakukan pada penelitian ini adalah mereduksi tabel-tabel yang tidak dipakai yaitu tabel Replenishment, Sourcing, ProdLabor_calculation dan KPIScaffold.

7. Extract, Transform, Load (ETL)

Tahap Extract, Transform, Load (ETL) dilakukan untuk mempersiapkan data sebelum digunakan dalam proses analisis. Pada tahap extract, data diambil dari sumber data operasional yang tersedia. Pada tahap transform, data dibersihkan, disesuaikan formatnya, dan disusun agar sesuai dengan kebutuhan perhitungan indikator. Pada tahap load, data yang telah siap dimasukkan ke dalam data model atau data warehouse untuk mendukung pengolahan data dan visualisasi pada dashboard Business Intelligence.

8. Data warehousing

Tahap data warehousing dilakukan untuk mengintegrasikan data yang telah melalui proses ETL. Data warehouse digunakan sebagai basis penyimpanan data yang terstruktur sehingga data produk, demand, biaya, tenaga kerja, distribusi, dan parameter lingkungan dapat digunakan secara konsisten dalam perhitungan KPI. Data warehouse juga mendukung proses analisis berbasis Business Intelligence karena data dari berbagai tabel dapat dihubungkan melalui data model.

9. Simulasi Permintaan dengan Python

Pada tahap ini dilakukan simulasi permintaan menggunakan metode Monte Carlo Simulation sebanyak 1000 dan 12 periode dan scenario-based analysis untuk menghasilkan variasi demand. Tahap ini tidak bertujuan untuk melakukan forecasting

lanjutan, melainkan untuk membentuk kemungkinan variasi demand sebagai dasar penyusunan skenario permintaan.

10. Verifikasi dan Validasi Hasil Simulasi Monte Carlo

Setelah simulasi permintaan dilakukan, hasil simulasi diverifikasi dan divalidasi. Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa proses simulasi telah berjalan sesuai rancangan, seperti kesesuaian jumlah iterasi, jumlah periode, dan tidak adanya nilai demand negatif. Validasi dilakukan dengan membandingkan karakteristik statistik hasil simulasi terhadap parameter data awal, khususnya nilai mean dan standard deviation. Hasil simulasi yang telah dinyatakan valid digunakan sebagai dasar pembentukan skenario permintaan.

11. Pembentukan Demand Scenario

Tahap pembentukan demand scenario dilakukan berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo yang telah diverifikasi dan divalidasi. Pada penelitian ini, skenario permintaan dibatasi menjadi tiga kondisi, yaitu low demand, normal demand, dan high demand. Low demand dibentuk berdasarkan nilai persentil ke-5 atau P5, normal demand berdasarkan nilai mean, dan high demand berdasarkan nilai persentil ke-95 atau P95. Ketiga skenario tersebut digunakan sebagai dasar analisis performa supply chain.

12. Perhitungan KPI

Tahap perhitungan KPI dilakukan untuk mengukur performa supply chain pada masing-masing skenario permintaan. KPI yang digunakan mencakup aspek VMI dan service performance, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Perhitungan KPI dilakukan berdasarkan indikator yang telah ditentukan pada subbab variabel dan indikator penelitian. Hasil perhitungan KPI digunakan sebagai dasar analisis performa supply chain pada setiap skenario permintaan.

13. *Trade-off Analysis*

Trade-off analysis dilakukan untuk menganalisis hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply chain berbasis VMI. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan indikator cost, workforce capacity, dan emission pada skenario low demand, normal demand, dan high demand. Hasil trade-off analysis digunakan untuk melihat hubungan antar aspek performa, bukan untuk menentukan solusi optimasi matematis.

14. Visualisasi *Dashboard* Business Intelligence

Tahap visualisasi dilakukan menggunakan dashboard Business Intelligence berbasis Microsoft Power BI. Dashboard digunakan untuk menyajikan hasil perhitungan KPI dan trade-off analysis secara interaktif. Visualisasi dashboard mencakup tampilan VMI control, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek lingkungan, serta trade-off analysis per skenario permintaan. Dashboard ini berfungsi sebagai media analisis performa supply chain berbasis data.

15. Hasil dan Pembahasan

Tahap hasil dan pembahasan dilakukan untuk menganalisis hasil pengolahan data dan visualisasi dashboard. Pembahasan dilakukan dengan melihat perubahan performa supply chain pada setiap skenario permintaan serta hubungan trade-off antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Hasil analisis digunakan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

16. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan saran. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil analisis performa supply chain dan hubungan trade-off pada setiap skenario permintaan. Saran diberikan sebagai masukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya pada analisis supply chain berbasis Business Intelligence, simulasi permintaan, dan pengukuran KPI.

17. Selesai

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan yang bergerak dalam bidang distribusi produk elektronik. Data sekunder tersebut berasal dari sistem operasional perusahaan yang mencakup aktivitas produksi, distribusi, serta pengelolaan persediaan dalam rantai pasok. Pemanfaatan data sekunder dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran kondisi nyata sistem supply chain yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis kinerja berbasis pendekatan Vendor Managed Inventory (VMI).

Sumber data dalam penelitian ini berasal dari beberapa unit fungsional dalam perusahaan yang saling terintegrasi, seperti bagian produksi, logistik, dan distribusi. Data yang diperoleh mencakup informasi terkait produk, supplier, biaya operasional, tenaga kerja, transportasi, serta parameter permintaan dan lingkungan. Integrasi berbagai sumber data ini memungkinkan dilakukannya analisis yang komprehensif terhadap kinerja supply chain dari berbagai aspek.

Data yang digunakan dalam penelitian ini selanjutnya diolah melalui proses pengolahan data yang meliputi tahapan ETL (*Extract, Transform, Load*), penyimpanan dalam data warehouse, serta analisis menggunakan metode simulasi dan perhitungan KPI. Data tersebut juga digunakan sebagai input dalam pembentukan skenario permintaan serta analisis *trade-off* antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Dengan demikian, data yang digunakan tidak hanya berfungsi sebagai input analisis, tetapi juga sebagai dasar dalam pengambilan keputusan berbasis *Business Intelligence*.

4.1.2 Data yang digunakan

Berikut adalah data yang digunakan pada penelitian ini dimana terdiri dari beberapa kelompok data:

1. Data Produk

Data produk yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik setiap produk yang dianalisis dalam penelitian. Produk yang digunakan terdiri dari tujuh jenis produk elektronik. Data produk mencakup nama produk, berat per unit, volume per unit, standar jam kerja per unit, emisi produksi per unit, dan baseline scrap rate.

Tabel 4. 1 Data Produk

Name	Weight (kg/unit)	Volume (m3/unit)	StdLaborHours (per unit)	Prod kgCO2/ unit	Baseline ScrapRate
Refrigerator Mainboard (compressor/defrost/sensor control logic)	2,99	0,0185	1,76	6,13	0,048
Washing Machine Control Panel (cycle selection, motor & valve control)	1,33	0,0138	0,91	6,23	0,047
AC Display & Control Board (indoor unit UI, IR receiver, mode control)	2,53	0,0064	0,35	8,6	0,04
Induction Cooker Power Control Board (IGBT drive, temperature regulation)	2,56	0,0084	1,01	2,38	0,041
Smart Lock Motor Driver (H-bridge driver, latch sensing, security I/O)	2,93	0,0054	0,7	5,47	0,021
Air Purifier Control Module (fan PWM, ionizer, PM2.5 sensor interface)	0,51	0,0042	0,58	3,82	0,031
LED Lamp Driver (constant-current driver with dimming/PWM)	1,16	0,0039	0,57	5,39	0,042

Data berat produk digunakan dalam perhitungan biaya transportasi dan emisi transportasi. Data standard labor hours digunakan dalam perhitungan kebutuhan jam kerja, sedangkan baseline scrap rate digunakan sebagai parameter pendukung dalam perhitungan scrap.

2. Data Supplier

Data supplier pada Tabel 4.2 digunakan untuk menggambarkan parameter operasional supplier terhadap masing-masing produk. Data ini mencakup supplier, produk, biaya

produksi per unit, biaya setup per periode produk, kebutuhan jam kerja per unit, dan scrap rate pada vendor.

Tabel 4. 2 Data Supplier dan Produk Supplier

Supplier	Product	UnitProdCost (IDR)	SetupCost/ period product (IDR)	LabourHours (/unit)	ScrapRate at Vendor
S1	P1	770476	38370	1,684	0,0584
S1	P2	638568	27280	0,92	0,051
S1	P3	829080	29700	0,36	0,0472
S1	P4	829472	26860	1,009	0,0363
S1	P5	499604	18880	0,658	0,0191
S1	P6	558600	44420	0,582	0,0321
S1	P7	451584	29280	0,563	0,0427
S2	P1	801924	38370	1,994	0,0354
S2	P2	664632	27280	0,916	0,0504
S2	P3	862920	29700	0,342	0,043
S2	P4	863328	26860	1,025	0,0361
S2	P5	519996	18880	0,72	0,0204
S2	P6	581400	44420	0,591	0,0351
S2	P7	470016	29280	0,58	0,0459

Pada penelitian ini, data PT X dan PT Y diperlakukan sebagai satu entitas analisis supplier, sehingga parameter supplier digunakan untuk mendukung analisis performa supply chain dari sisi supplier secara agregat.

3. Data Parameter Supplier

Data parameter supplier pada Tabel 4.3 digunakan untuk menghitung kapasitas tenaga kerja dan kebutuhan overtime. Data ini mencakup kapasitas tenaga kerja, batas overtime, biaya sosial per jam overtime, penalti ergonomi per jam kerja, jumlah hari kerja, jam kerja, dan jumlah pekerja.

Tabel 4. 3 Data Parameter Supplier

Supplier	BaseLabour Capacity (hours/period)	Overtime Threshold (hours/period)	SocialCost (/OT hour IDR)	ErgoPenalty (/labor hour IDR)	Working days	Working hours	Worker
S1	1800	450	65000	1500	25	8	9
S2	1600	450	70000	1500	25	8	8

Data ini digunakan dalam perhitungan aspek sosial, khususnya Full Time Equivalent (FTE), effective working time, overtime hours, dan overtime ratio.

4. Data Biaya Retailer

Data biaya retailer pada Tabel 4.4 digunakan untuk menghitung biaya penyimpanan, biaya stockout, dan tingkat *service level* pada setiap kombinasi retailer dan produk. Data

ini mencakup holding cost per unit per periode, stockout penalty per unit, dan service level target. Service level target pada data ini digunakan dalam perhitungan fulfilled demand dan unmet demand.

Tabel 4. 4 Data Biaya Retailer

Retailer	Product	HoldingCost (IDR/unit period)	StockoutPenalty (IDR/unit)	ServiceLevelTarget (%)
R1	P1	1330	69100	95
R1	P2	490	144500	95
R1	P3	1200	84000	95
R1	P4	1030	127400	95
R1	P5	960	78000	95
R1	P6	1090	74700	95
R1	P7	1480	56200	95
R2	P1	1330	73900	95
R2	P2	490	151700	95
R2	P3	1200	86500	95
R2	P4	1030	128700	95
R2	P5	960	80300	95
R2	P6	1090	71700	95
R2	P7	1480	61300	95
R3	P1	1330	69100	95
R3	P2	490	137300	95
R3	P3	1200	83200	95
R3	P4	1030	124900	95
R3	P5	960	79600	95
R3	P6	1090	72500	95
R3	P7	1480	61800	95
R4	P1	1330	76000	95
R4	P2	490	150300	95
R4	P3	1200	81500	95
R4	P4	1030	128700	95
R4	P5	960	75700	95
R4	P6	1090	79900	95
R4	P7	1480	60700	95
R5	P1	1330	68400	95
R5	P2	490	151700	95
R5	P3	1200	79800	95
R5	P4	1030	138900	95
R5	P5	960	81900	95
R5	P6	1090	79900	95
R5	P7	1480	56200	95
R6	P1	1330	75300	95
R6	P2	490	156100	95
R6	P3	1200	80600	95

Retailer	Product	HoldingCost (IDR/unit period)	StockoutPenalty (IDR/unit)	ServiceLevelTarget (%)
R6	P4	1030	135000	95
R6	P5	960	81900	95
R6	P6	1090	79200	95
R6	P7	1480	55600	95
R7	P1	1330	67700	95
R7	P2	490	154600	95
R7	P3	1200	85700	95
R7	P4	1030	137600	95
R7	P5	960	85800	95
R7	P6	1090	79900	95
R7	P7	1480	57900	95
R8	P1	1330	68400	95
R8	P2	490	153200	95
R8	P3	1200	85700	95
R8	P4	1030	129900	95
R8	P5	960	84200	95
R8	P6	1090	79900	95
R8	P7	1480	57900	95
R9	P1	1330	74600	95
R9	P2	490	148800	95
R9	P3	1200	79800	95
R9	P4	1030	138900	95
R9	P5	960	83500	95
R9	P6	1090	76900	95
R9	P7	1480	58400	95

5. Data Jarak Distribusi

Data jarak distribusi pada Tabel 4.5 digunakan untuk menghitung biaya transportasi dan emisi transportasi. Data ini menunjukkan jarak antara supplier dan retailer dalam satuan kilometer.

Tabel 4. 5 Data Jarak Distribusi

Supplier	Retailer	Distance_km
S1	R1	80
S1	R2	25
S1	R3	60
S1	R4	52
S1	R5	34
S1	R6	95
S1	R7	185
S1	R8	133
S1	R9	62

Supplier	Retailer	Distance_km
S2	R1	128
S2	R2	112
S2	R3	125
S2	R4	97
S2	R5	147
S2	R6	59
S2	R7	59
S2	R8	76
S2	R9	182

6. Data Parameter Transportasi

Data parameter transportasi pada Tabel 4.6 digunakan dalam perhitungan biaya transportasi, transport emission, dan carbon cost.

Tabel 4. 6 Data Parameter Transportasi

Parameter	Value
TransportCost_IDR_per_kg_km	300
Carbon_per_ton_km_kgCO2	0,062
CarbonPrice IDR per tonCO2	100000

7. Data Parameter Permintaan

Data parameter permintaan pada Tabel 4.7 digunakan sebagai input dalam simulasi Monte Carlo. Data ini mencakup nilai rata-rata permintaan dan standar deviasi permintaan untuk setiap kombinasi retailer dan produk. Nilai mean dan standard deviation digunakan sebagai parameter distribusi normal pada simulasi permintaan.

Tabel 4. 7 Data Parameter Permintaan

Retailer	Product	Mean_units	SD_units
R1	P1	74,48	12,3
R1	P2	144,4	25,9
R1	P3	84,36	17,8
R1	P4	100,89	17,5
R1	P5	134,71	18,8
R1	P6	116,47	13,3
R1	P7	65,93	12,8
R2	P1	156,18	27,7
R2	P2	106,5	30,7
R2	P3	119,9	41,6
R2	P4	104,5	12,4
R2	P5	163,02	24
R2	P6	103,3	26,2
R2	P7	178,5	50,3
R3	P1	140,22	16

Retailer	Product	Mean_units	SD_units
R3	P2	132,1	39,2
R3	P3	126,54	13,7
R3	P4	176,51	40,8
R3	P5	142,5	35,6
R3	P6	108,1	43,5
R3	P7	171,95	33,6
R4	P1	81,51	16
R4	P2	110,96	22
R4	P3	106,4	15,6
R4	P4	142,5	18,5
R4	P5	38,95	5,8
R4	P6	103,4	35,3
R4	P7	100,2	26,9
R5	P1	85,5	17,6
R5	P2	97,85	10,7
R5	P3	101,1	29,9
R5	P4	84,55	13,5
R5	P5	136,61	17,7
R5	P6	111,5	38,6
R5	P7	155,42	27,4
R6	P1	78,28	15,4
R6	P2	161,3	57,2
R6	P3	155,8	41,6
R6	P4	74,29	8,7
R6	P5	107,3	30,4
R6	P6	113,43	24,5
R6	P7	72,77	9
R7	P1	95,76	14,1
R7	P2	140,22	15,3
R7	P3	160,17	37,9
R7	P4	124,64	22,5
R7	P5	173,09	19,8
R7	P6	142,31	32,2
R7	P7	47,31	9,9
R8	P1	68,78	7,9
R8	P2	125	50,9
R8	P3	188,48	34,8
R8	P4	93,29	15,6
R8	P5	64,41	7,2
R8	P6	185,25	31,1
R8	P7	118,3	29,3
R9	P1	102,6	29,9
R9	P2	133,19	31,5
R9	P3	79,99	11,2
R9	P4	187,91	38,3

Retailer	Product	Mean_units	SD_units
R9	P5	100,9	32,1
R9	P6	70,11	7,5
R9	P7	51,3	11,9

8. Data Limbah dan Scrap

Data limbah dan scrap pada Tabel 4.8 digunakan untuk menghitung biaya scrap dan parameter lingkungan yang berkaitan dengan scrap produk.

Tabel 4. 8 Data Limbah dan Scrap

Parameter	Value
ScrapDisposalCost_IDR_per_kg	2500
Scrap_Disposal_kgCO2_per_kg	0,35

9. Data Biaya Pemesanan

Data biaya pemesanan pada Tabel 4.9 digunakan untuk menghitung ordering cost dalam sistem supply chain.

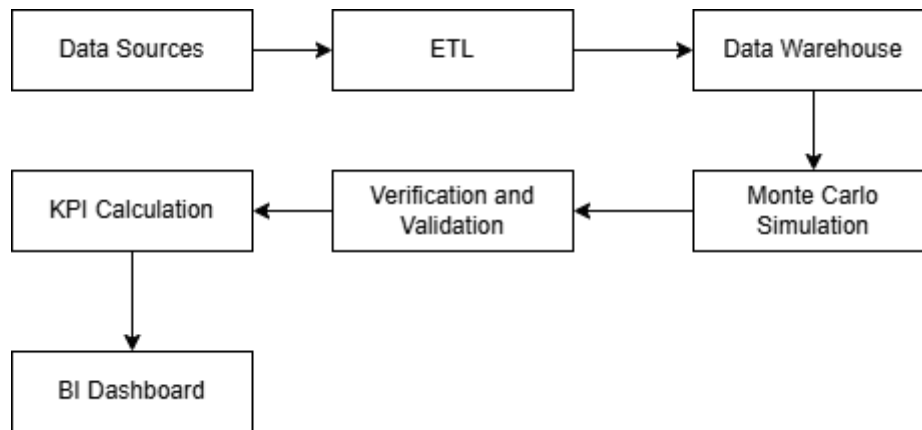
Tabel 4. 9 Data Biaya Pemesanan

Parameter	Value
VendorOrderCost_IDR_per_PO	350000
RetailerDeliveryFixedCost_IDR_per_shipment	125000
LeadTime_days_vendor_to_retailer	5

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Arsitektur dan Alur Pengolahan Data

Arsitektur pengolahan data dalam penelitian ini dirancang untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber dan mengolahnya menjadi informasi yang dapat digunakan dalam analisis kinerja supply chain. Proses pengolahan data dilakukan secara bertahap dan sistematis, dimulai dari integrasi data hingga visualisasi dalam dashboard Business Intelligence. Arsitektur ini disusun agar mendukung analisis berbasis skenario permintaan serta evaluasi kinerja pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Secara keseluruhan, alur pengolahan data dalam penelitian ini dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Arsitektur Pengolahan Data

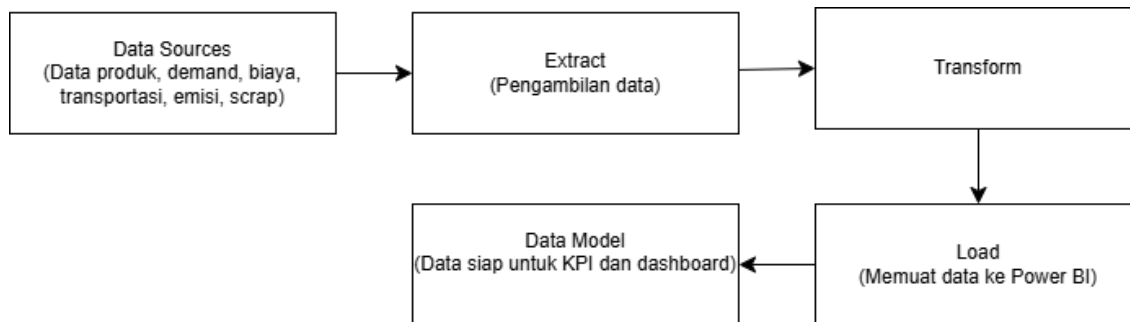
Tahapan awal dalam pengolahan data adalah proses *Extract, Transform, Load* (ETL) yang bertujuan untuk mengumpulkan dan membersihkan data dari berbagai sumber. Data yang telah diproses kemudian disimpan dalam data *warehouse* untuk memastikan konsistensi dan kemudahan akses dalam analisis. Tahap ini menjadi fondasi utama dalam pengolahan data karena menentukan kualitas data yang digunakan pada tahap selanjutnya.

Selanjutnya, data yang telah terintegrasi digunakan dalam proses simulasi permintaan menggunakan Python, yang bertujuan untuk menghasilkan variasi demand melalui metode Monte Carlo yang kemudian dilakukan verifikasi dan validasi, setelah itu pembuatan *scenario-based analysis* dilakukan. Hasil simulasi ini digunakan untuk membentuk skenario permintaan yang terdiri dari kondisi rendah, normal, dan tinggi. Skenario tersebut kemudian digunakan sebagai input dalam proses perhitungan KPI untuk mengukur kinerja *supply chain*.

Tahap berikutnya adalah perhitungan KPI yang mencakup aspek VMI dan *service performance*, ekonomi, sosial, serta lingkungan. Hasil perhitungan KPI ini kemudian digunakan dalam analisis *trade-off* untuk mengevaluasi hubungan antar aspek utama, yaitu biaya, kapasitas tenaga kerja, dan emisi. Seluruh hasil pengolahan data selanjutnya divisualisasikan dalam *dashboard* Business Intelligence untuk memudahkan pemahaman dan eksplorasi data.

4.2.2 Proses Extract, Transform, Load (ETL)

Proses Extract, Transform, Load (ETL) dilakukan untuk mempersiapkan data sebelum digunakan dalam analisis dan visualisasi dashboard Business Intelligence. ETL bertujuan untuk memastikan data yang digunakan telah bersih, terstruktur, dan sesuai dengan kebutuhan perhitungan Key Performance Indicator (KPI). Alur ETL pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 4.2 di bawah ini:



Gambar 4. 2 Alur ETL Penelitian

Tahap *extract* dilakukan dengan mengambil data dari berbagai sumber data operasional perusahaan. Data yang digunakan meliputi data produk, data supplier, data parameter *supplier*, data biaya *retailer*, data jarak distribusi, data parameter transportasi, data parameter permintaan, data limbah dan *scrap*, serta data biaya pemesanan. Kelompok data tersebut telah dijelaskan pada bagian pengumpulan data dan menjadi input utama dalam proses pengolahan data.

Tahap *transform* dilakukan dengan menyesuaikan data agar dapat digunakan dalam proses analisis. Proses transformasi meliputi penyesuaian format angka, pengecekan kelengkapan data, penyamaan kode produk, *retailer*, dan *supplier*, serta memastikan setiap tabel memiliki *key* yang sesuai untuk membangun relasi antar tabel. Pada tahap ini, data tidak diubah menjadi data baru, melainkan disiapkan agar dapat digunakan secara konsisten dalam model data.

Tahap *load* dilakukan dengan memasukkan data yang telah siap ke dalam model data pada Microsoft Power BI. Data yang telah dimuat kemudian dihubungkan melalui relasi antar tabel berdasarkan atribut seperti *Product*, *Retailer*, dan *Supplier*. Hasil dari proses ETL ini digunakan sebagai dasar dalam simulasi permintaan, perhitungan KPI, analisis *trade-off*, dan visualisasi dashboard.

4.2.3 Simulasi Permintaan dengan Python

Simulasi permintaan dilakukan untuk menghasilkan variasi demand berdasarkan parameter permintaan historis retailer. Penggunaan simulasi Monte Carlo dalam *supply chain* terbukti efektif dalam merepresentasikan kondisi permintaan yang bersifat stokastik dan tidak pasti (Belvardi, 2012 ;Bhowmik & Parvez, 2024). Data input yang digunakan dalam simulasi terdiri dari variabel *Retailer*, *Product*, *Mean_units*, dan *SD_units*. Nilai *Mean_units* digunakan sebagai rata-rata permintaan, sedangkan *SD_units* digunakan sebagai standar deviasi permintaan untuk setiap kombinasi retailer dan produk. Pada penelitian ini, simulasi dilakukan menggunakan Python Script yang terintegrasi dengan Microsoft Power BI dengan menerapkan Monte Carlo Simulation menggunakan distribusi normal. Meskipun secara teoritis metode Monte Carlo tidak

mensyaratkan penggunaan distribusi normal secara mutlak dan dapat menggunakan berbagai jenis distribusi sesuai karakteristik data, distribusi normal dipilih karena mampu merepresentasikan variasi permintaan di sekitar nilai rata-rata serta memodelkan kemungkinan terjadinya kondisi permintaan rendah, normal, dan tinggi.

Penggunaan distribusi normal dalam Monte Carlo Simulation juga telah banyak diterapkan pada penelitian terdahulu di bidang supply chain dan inventory management.. Izadi & Kimiagari (2014) menggunakan metode ini untuk membentuk skenario permintaan pada perancangan jaringan distribusi di bawah kondisi demand uncertainty, sedangkan Maitra (2023) memanfaatkannya untuk menghasilkan variasi demand dan lead time pada sistem persediaan dengan permintaan stokastik. Dalam penelitian ini, simulasi dilakukan sebanyak 1.000 iterasi untuk 12 periode pada setiap kombinasi retailer dan produk. Dengan demikian, setiap kombinasi retailer–produk menghasilkan 12.000 data permintaan hasil simulasi yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis skenario dan evaluasi kinerja sistem persediaan pada model yang dikembangkan.

Run Python script

Enter Python scripts into the editor to transform and shape your data.

Script

```
df = dataset.copy()

n_simulations = 1000
periods = 12

# Fungsi Monte Carlo simulation
def simulate_demand(mean, std, n_simulations, periods):
    simulated_values = np.random.normal(
        loc=mean,
        scale=std,
        size=(n_simulations, periods)
    )
```

The script will run with the following Python installation C:\Users\MSI
MODERN\AppData\Local\Programs\Python\Python314.

To configure your settings and change which Python installation you want to run, go to Options and settings.

OK

Cancel

Gambar 4. 3 Implementasi Python Script

Gambar 4.3 menunjukkan implementasi Python Script pada Power BI yang digunakan untuk menjalankan simulasi Monte Carlo. Pada script Python, pembangkitan data *demand* dilakukan menggunakan fungsi `np.random.normal()` dengan parameter `loc` sebagai mean demand dan `scale` sebagai standard deviation. Nilai demand hasil simulasi yang bernilai negatif dibatasi

menjadi nol menggunakan fungsi `np.maximum()`, karena demand aktual tidak mungkin bernilai negatif.

Tahapan simulasi permintaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengambil data parameter permintaan dari dataset Power BI.
2. Menentukan jumlah simulasi sebanyak 1000 iterasi dan 12 periode.
3. Membangkitkan data demand acak menggunakan distribusi normal.
4. Membatasi nilai demand minimum menjadi nol.
5. Menghasilkan data simulasi untuk setiap kombinasi retailer dan produk.
6. Menghitung summary statistics berupa mean, standard deviation, minimum, dan maksimum.
7. Menghitung nilai persentil P5, median, dan P95.
8. Membentuk output skenario permintaan low, normal, dan high demand.

Hasil akhir dari script Python adalah tabel DemandScenario yang terdiri dari kolom *Retailer*, *Product*, *Scenario*, dan *Demand*. Tabel ini menjadi output utama yang digunakan dalam Power BI untuk perhitungan KPI, analisis *trade-off*, dan visualisasi *dashboard*.

4.2.4 Verifikasi dan Validasi Hasil Simulasi Monte Carlo

Verifikasi dan validasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi Monte Carlo telah sesuai dengan rancangan simulasi dan dapat digunakan sebagai dasar pembentukan skenario permintaan. Verifikasi dilakukan untuk memeriksa kesesuaian struktur output simulasi, sedangkan validasi dilakukan untuk melihat kesesuaian karakteristik statistik hasil simulasi terhadap parameter input demand.

1. Verifikasi Hasil Simulasi

Verifikasi dilakukan dengan memeriksa jumlah data hasil simulasi dan memastikan tidak terdapat nilai demand negatif. Pada penelitian ini, simulasi dilakukan sebanyak 1000 iterasi dengan 12 periode untuk setiap kombinasi retailer dan produk. Oleh karena itu, jumlah data yang diharapkan untuk setiap kombinasi retailer-produk seperti yang ditunjukkan pada Persemaan 4.1:

$$\text{Expected Rows} = 1000 \times 12 = 12000 \quad (4.1)$$

Selain itu, dilakukan pengecekan nilai minimum *demand* untuk memastikan bahwa seluruh hasil simulasi bernilai lebih besar atau sama dengan nol. Hal ini dilakukan karena demand aktual tidak mungkin bernilai negatif. Kriteria verifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut yang ditunjukkan pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Kriteria Verifikasi Simulasi

Kriteria	Syarat
<i>Row Check</i>	<i>Total rows = Expected rows</i>
<i>Negative Check</i>	Minimum demand ≥ 0
<i>Verification Status</i>	<i>Passed jika row check dan negative check terpenuhi</i>

Berdasarkan hasil verifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.11, seluruh kombinasi *retailer* dan produk menghasilkan 12.000 baris data simulasi dan tidak terdapat nilai demand negatif. Dengan demikian, hasil simulasi dinyatakan *Passed*.

Tabel 4. 11 Hasil Verifikasi

Parameter	Hasil
Jumlah simulasi	1000 iterasi
Jumlah periode	12 periode
Expected rows	12.000

2. Validasi Hasil Simulasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai statistik hasil simulasi terhadap parameter input demand. Parameter yang dibandingkan adalah nilai mean dan standard deviation. Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi memiliki karakteristik yang mendekati data parameter permintaan awal. Akurasi mean dihitung dengan membandingkan simulated mean terhadap actual mean menggunakan Persamaan 4.2:

$$\text{Mean Accuracy} = 100 - \left(\frac{|\text{simulated mean} - \text{actual mean}|}{\text{actual mean}} \times 100 \right) \quad (4.2)$$

Akurasi standard deviation dihitung dengan membandingkan simulated standard deviation terhadap actual standard deviation menggunakan Persamaan 4.3:

$$\text{Std Accuracy} = 100 - \left(\frac{|\text{simulated std} - \text{actual std}|}{\text{actual std}} \times 100 \right) \quad (4.3)$$

Kriteria validasi yang diharapkan untuk hasil simulasi dari penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Kriteria Validasi Simulasi

Kriteria	Syarat
Mean Accuracy	$\geq 95\%$
Validation Status	Valid jika mean accuracy $\geq 95\%$

Berdasarkan hasil validasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.13, diperoleh rata-rata mean accuracy sebesar 99% dan rata-rata standard deviation accuracy sebesar 98%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai statistik hasil simulasi mendekati parameter

demand awal. Dengan demikian, hasil simulasi Monte Carlo dinyatakan Valid dan dapat digunakan sebagai dasar pembentukan demand scenario.

Tabel 4. 13 Hasil Validasi Simulasi

Parameter	Hasil
Rata-rata mean accuracy	99%
Rata-rata standard deviation accuracy	98%
Validation status	Valid

Berdasarkan hasil verifikasi dan validasi, simulasi Monte Carlo pada penelitian ini telah memenuhi kriteria yang ditetapkan. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa jumlah output simulasi telah sesuai dengan rancangan dan tidak terdapat demand negatif. Hasil validasi menunjukkan bahwa karakteristik statistik hasil simulasi mendekati parameter input demand dengan akurasi mean sebesar 99% dan akurasi standar deviasi sebesar 98%. Dengan demikian, hasil simulasi Monte Carlo dapat digunakan sebagai dasar dalam pembentukan skenario permintaan low demand, normal demand, dan high demand.

4.2.5 Pembentukan Demand Scenario

Pembentukan *demand scenario* dilakukan setelah hasil simulasi Monte Carlo dinyatakan valid. Tahap ini bertujuan untuk membentuk tiga kondisi permintaan yang digunakan sebagai dasar analisis performa *supply chain*, yaitu *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*.

Data yang digunakan dalam pembentukan skenario berasal dari hasil simulasi permintaan untuk setiap kombinasi retailer dan produk. Dari hasil simulasi tersebut, dilakukan perhitungan nilai statistik berupa P5, mean, dan P95. Ketiga nilai tersebut digunakan untuk merepresentasikan variasi kondisi permintaan. Mekanisme penentuan persentil dilakukan dengan mengurutkan seluruh hasil simulasi permintaan untuk setiap kombinasi retailer dan product, kemudian menghitung nilai pada posisi persentil tertentu menggunakan fungsi `quantile()` pada Python. Nilai persentil ke-5 (P5) menunjukkan bahwa sebesar 5% hasil simulasi berada di bawah nilai tersebut, sedangkan 95% sisanya berada di atasnya. Sebaliknya, persentil ke-95 (P95) menunjukkan bahwa sebesar 95% hasil simulasi berada di bawah nilai tersebut dan hanya 5% hasil simulasi yang memiliki nilai lebih tinggi. Dengan demikian, P5 digunakan untuk merepresentasikan kondisi permintaan rendah (*low demand*), sedangkan P95 digunakan untuk merepresentasikan kondisi permintaan tinggi (*high demand*). Penggunaan P5 dan P95 memungkinkan penelitian untuk menggambarkan kondisi ekstrem namun masih berada dalam rentang probabilitas yang realistis berdasarkan hasil simulasi Monte Carlo. Skenario permintaan pada penelitian ini ditentukan sebagai berikut:

1. *Low Demand* (P5): merepresentasikan kondisi permintaan rendah
2. *Normal Demand* (Mean): merepresentasikan kondisi permintaan rata-rata
3. *High Demand* (P95): merepresentasikan kondisi permintaan tinggi

Pembentukan skenario dilakukan untuk setiap kombinasi *retailer* dan *product*. Hasil dari tahap ini berupa tabel *DemandScenario* yang terdiri dari kolom *Retailer*, *Product*, *Scenario*, dan *Demand*. Tabel tersebut kemudian digunakan sebagai tabel utama dalam perhitungan KPI pada aspek VMI dan service performance, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Berikut adalah potongan syntax pembentukan skenario pada Python ditunjukkan pada Gambar 4.

Run Python script

Enter Python scripts into the editor to transform and shape your data.

Script

```
# =====
scenario_rows = []

for _, row in final_summary.iterrows():

    scenario_rows.append({
        'Retailer': row['Retailer'],
        'Product': row['Product'],
        'Scenario': 'Low',
        'Demand': row['P5']
    })

    scenario_rows.append({
        'Retailer': row['Retailer'],
```

The script will run with the following Python installation C:\Users\MSI
MODERN\AppData\Local\Programs\Python\Python314.

To configure your settings and change which Python installation you want to run, go to Options and settings.

OK

Cancel

Gambar 4. 4 Potongan Script Pembentukan Skenario

Tabel 4.14 menunjukkan contoh hasil pembentukan *Demand Scenario*

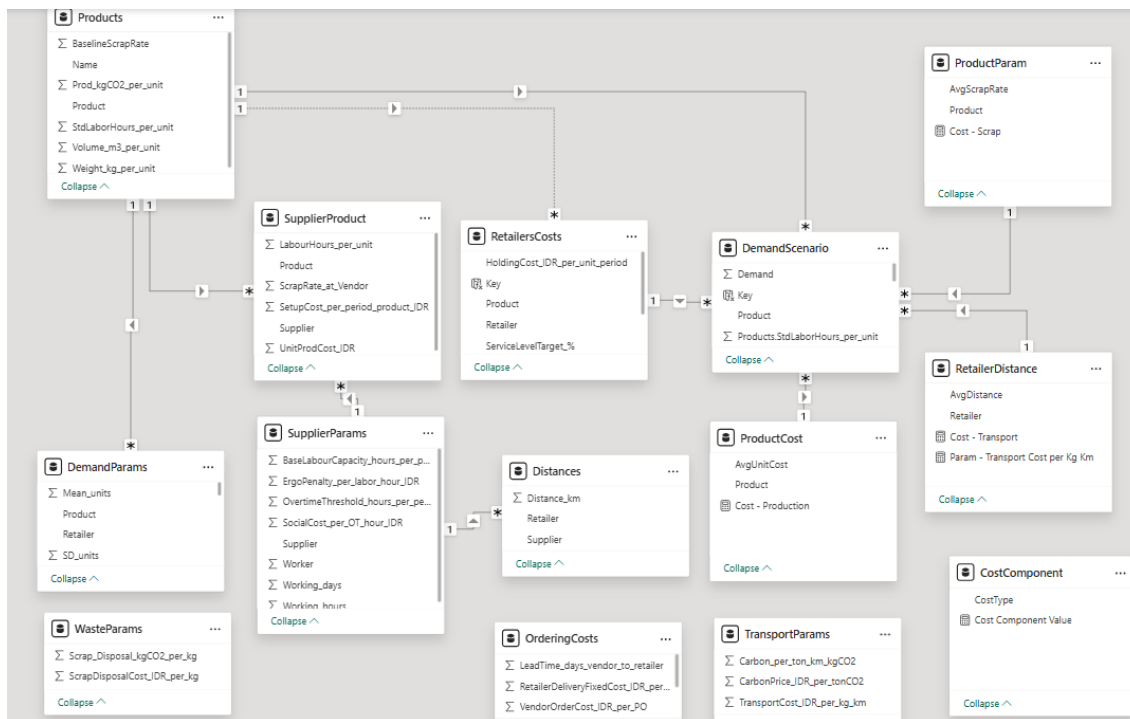
Tabel 4. 14 Hasil Pembentukan Demand Scenario

Retailer	Product	Scenario	Demand
R1	P1	Low	54,46953
R1	P1	Normal	74,44967
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
R9	P7	Low	31,9324
R9	P7	Normal	51,24321
R9	P7	High	70,89155

Dengan terbentuknya tabel DemandScenario, data permintaan telah siap digunakan pada tahap perhitungan KPI dan visualisasi dashboard Business Intelligence. Hasil lengkap pembentukan skenario permintaan untuk seluruh retailer dan produk dapat dilihat pada Lampiran B.

4.2.6 Pemodelan Data pada Power BI

Pemodelan data dilakukan untuk menghubungkan seluruh tabel yang digunakan dalam perhitungan Key Performance Indicator (KPI) dan visualisasi dashboard Business Intelligence. Model data disusun di Microsoft Power BI dengan menghubungkan tabel utama hasil simulasi, yaitu DemandScenario, dengan tabel-tabel pendukung yang berisi parameter produk, retailer, supplier, biaya, transportasi, dan lingkungan.



Tabel 4. 15 Model Data Power BI

Pada Gambar 4.15 dapat dilihat bawah hubungan antar tabel dibangun menggunakan relasi one-to-many yang memungkinkan proses propagasi filter antar tabel dalam Power BI. Pada penelitian ini tabel DemandScenario berperan sebagai tabel utama karena memuat data permintaan berdasarkan skenario low demand, normal demand, dan high demand. Tabel ini berisi informasi Retailer, Product, Scenario, dan Demand yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan KPI.

Relasi antar tabel dibangun menggunakan atribut kunci seperti Product, Retailer, dan Supplier. Hubungan tersebut memungkinkan data dari tabel pendukung digunakan dalam

perhitungan KPI pada tabel utama. Dengan adanya model data ini, perhitungan indikator seperti fill rate, total supply chain cost, FTE, overtime ratio, transport emission, dan trade-off index dapat dilakukan secara terintegrasi.

4.2.7 Perhitungan Key Performance Indicator (KPI)

Perhitungan Key Performance Indicator (KPI) dilakukan untuk menghasilkan indikator performa supply chain berdasarkan data yang telah melalui tahap pengolahan sebelumnya. Perhitungan KPI dilakukan pada Microsoft Power BI menggunakan data model yang telah dibentuk. Rumus matematis setiap indikator telah dijelaskan pada Bab III, sedangkan pada tahap ini perhitungan diimplementasikan dalam bentuk measure menggunakan Data Analysis Expressions (DAX).

KPI pada penelitian ini dikelompokkan ke dalam lima bagian, yaitu *VMI and service performance*, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek lingkungan, dan *trade-off analysis*. Perhitungan service performance pada penelitian ini menggunakan service level sebesar 95% yang tersedia pada data retailer. Nilai tersebut digunakan untuk menentukan fulfilled demand dan unmet demand pada setiap skenario permintaan. Dengan demikian, fill rate dan stockout rate digunakan sebagai indikator konsistensi pemenuhan layanan berdasarkan parameter service level, sedangkan variasi antar skenario terutama ditunjukkan oleh perubahan total demand, fulfilled demand, dan unmet demand.

Setiap KPI dihitung berdasarkan skenario permintaan *low demand*, *normal demand*, dan *high demand* yang telah dibentuk dari hasil simulasi Monte Carlo. Secara umum, kelompok KPI yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16 KPI dalam Penelitian

Aspek	Indikator	Sumber Data Utama	Output
<i>VMI and Service Performance</i>	<i>Fill rate, stockout rate</i>	<i>DemandScenario, RetailersCosts</i>	Tingkat pemenuhan dan kekurangan permintaan
Ekonomi	<i>Total supply chain cost, cost per unit</i>	<i>DemandScenario, SupplierProduct, RetailersCosts, Distances</i>	Biaya <i>supply chain</i> per skenario
Sosial	<i>Full Time Equivalent (FTE), overtime ratio</i>	<i>DemandScenario, SupplierParams</i>	Kebutuhan dan kapasitas tenaga kerja
Lingkungan	<i>Transport emission, emission per unit</i>	<i>DemandScenario, Products, Distances, TransportParams</i>	Dampak emisi distribusi

Aspek	Indikator	Sumber Data Utama	Output
Trade-off	<i>Cost index, workforce index, emission index</i>	Hasil KPI ekonomi, sosial, dan lingkungan	Indeks perbandingan antar aspek

1. KPI VMI and Service Performance

KPI *VMI and service performance* digunakan untuk menganalisis kemampuan sistem *supply chain* dalam memenuhi permintaan *retailer*. Perhitungan dilakukan menggunakan data permintaan pada tabel *DemandScenario* dan nilai *service level* pada tabel *RetailersCosts*.

Indikator yang dihitung pada aspek ini meliputi *total demand*, *fulfilled demand*, *unmet demand*, *fill rate*, dan *stockout rate*. *Total demand* menunjukkan jumlah permintaan pada masing-masing skenario. *Fulfilled demand* menunjukkan jumlah permintaan yang dapat dipenuhi berdasarkan tingkat *service level*, sedangkan *unmet demand* menunjukkan jumlah permintaan yang tidak terpenuhi. Selanjutnya, *fill rate* dan *stockout rate* digunakan sebagai indikator utama untuk menganalisis performa layanan dalam implementasi VMI.

2. KPI Aspek Ekonomi

KPI aspek ekonomi digunakan untuk menganalisis biaya *supply chain* pada setiap skenario permintaan. Perhitungan biaya dilakukan dengan menggabungkan data permintaan, *service level*, biaya produksi, biaya penyimpanan, biaya transportasi, biaya *scrap*, biaya *stockout*, dan biaya pemesanan.

Indikator yang dihitung pada aspek ekonomi meliputi *production cost*, *holding cost*, *transport cost*, *scrap cost*, *stockout cost*, *ordering cost*, *total supply chain cost*, dan *cost per unit*. *Total supply chain cost* diperoleh dari penjumlahan seluruh komponen biaya, sedangkan *cost per unit* digunakan untuk mengetahui rata-rata biaya *supply chain* terhadap total permintaan pada setiap skenario.

3. KPI Aspek Sosial

KPI aspek sosial digunakan untuk menganalisis kebutuhan tenaga kerja dan potensi *overtime* pada setiap skenario permintaan. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan *total labour hours* terhadap *effective working time* yang tersedia.

Indikator yang dihitung pada aspek sosial meliputi *total labour hours*, *effective working time*, *Full Time Equivalent (FTE)*, *overtime hours*, dan *overtime ratio*. FTE

digunakan untuk menunjukkan kebutuhan tenaga kerja relatif terhadap kapasitas kerja yang tersedia. Sementara itu, *overtime ratio* digunakan untuk menunjukkan proporsi jam kerja tambahan terhadap waktu kerja efektif.

4. KPI Aspek Lingkungan

KPI aspek lingkungan digunakan untuk menganalisis dampak aktivitas distribusi terhadap emisi transportasi. Perhitungan dilakukan berdasarkan permintaan yang terpenuhi, berat produk, jarak distribusi, dan faktor emisi transportasi.

Indikator yang dihitung pada aspek lingkungan meliputi *transport emission*, *emission per unit*, dan *carbon cost*. *Transport emission* digunakan untuk mengetahui total emisi yang dihasilkan dari aktivitas distribusi. *Emission per unit* digunakan untuk mengetahui intensitas emisi terhadap total permintaan. Sementara itu, *carbon cost* digunakan sebagai indikator pendukung untuk mengonversi emisi transportasi ke dalam estimasi biaya karbon.

5. KPI Trade-off Analysis

KPI *trade-off analysis* digunakan untuk menganalisis hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Indikator pada bagian ini diperoleh dari hasil normalisasi KPI utama, sehingga indikator yang memiliki satuan berbeda dapat dibandingkan dalam skala yang sama.

Indikator yang digunakan dalam *trade-off analysis* meliputi *cost index*, *workforce index*, dan *emission index*. *Cost index* merepresentasikan aspek ekonomi berdasarkan *total supply chain cost*. *Workforce index* merepresentasikan aspek sosial berdasarkan *overtime hours*. *Emission index* merepresentasikan aspek lingkungan berdasarkan *transport emission*. Hasil dari ketiga indeks tersebut digunakan untuk melihat hubungan antara biaya, kapasitas tenaga kerja, dan emisi transportasi pada setiap skenario permintaan.

Rincian formula DAX yang digunakan dalam perhitungan KPI ditampilkan pada Lampiran A. Hasil perhitungan KPI selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penyusunan dashboard *Business Intelligence* dan pembahasan hasil penelitian pada Bab V.

4.2.8 Analisis Trade-off

Analisis trade-off pada penelitian ini dilakukan menggunakan analisis komparatif berbasis skenario dengan pendekatan indeks ternormalisasi. Pendekatan ini digunakan untuk membandingkan hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem supply

chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan tiga skenario permintaan, yaitu *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*. Analisis ini dilakukan karena perubahan kondisi permintaan dapat memberikan dampak yang berbeda pada masing-masing aspek kinerja supply chain.

Pada penelitian ini, analisis *trade-off* dilakukan berdasarkan hasil perhitungan KPI pada tiga skenario permintaan, yaitu *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*. Aspek ekonomi direpresentasikan oleh *total supply chain cost*, aspek sosial direpresentasikan oleh *overtime hours*, sedangkan aspek lingkungan direpresentasikan oleh *transport emission*.

Agar ketiga indikator tersebut dapat dibandingkan dalam skala yang sama, dilakukan proses normalisasi menggunakan pendekatan *min-max normalization*. Hasil normalisasi menghasilkan tiga indeks utama, yaitu *cost index*, *workforce index*, dan *emission index*. Nilai indeks berada pada rentang 0 sampai 1, di mana nilai yang lebih rendah menunjukkan performa yang lebih baik pada aspek terkait. Indikator yang digunakan dalam analisis *trade-off* ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17 Indikator *Trade-off Analysis*

Indikator	Dasar Perhitungan	Aspek yang Direpresentasikan	Interpretasi
<i>Cost index</i>	<i>Total supply chain cost</i>	Ekonomi	Semakin rendah semakin baik
<i>Workforce index</i>	<i>Overtime hours</i>	Sosial	Semakin rendah semakin baik
<i>Emission index</i>	<i>Transport emission</i>	Lingkungan	Semakin rendah semakin baik

Cost index digunakan untuk menunjukkan posisi relatif biaya *supply chain* pada setiap skenario permintaan. *Workforce index* digunakan untuk menunjukkan tingkat tekanan tenaga kerja berdasarkan kebutuhan *overtime*. Sementara itu, *emission index* digunakan untuk menunjukkan posisi relatif emisi transportasi pada setiap skenario.

Hasil dari analisis *trade-off* digunakan untuk membandingkan karakteristik performa antar skenario permintaan. Melalui analisis ini, dapat diketahui bagaimana perubahan demand memengaruhi biaya, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi transportasi secara bersamaan. Selanjutnya, hasil analisis *trade-off* divisualisasikan dalam dashboard *Business Intelligence* agar hubungan antar indikator dapat dilihat secara lebih jelas dan interaktif.

Rincian formula DAX untuk perhitungan *cost index*, *workforce index*, dan *emission index* ditampilkan pada Lampiran A.

4.2.9 Penyusunan Dashboard Business Intelligence

Penggunaan *dashboard* dalam supply chain management membantu proses monitoring performa operasional, analisis data, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Gunasekaran et al. (2004) menjelaskan bahwa visualisasi performa supply chain diperlukan untuk mempermudah evaluasi indikator strategis, taktis, dan operasional dalam sistem supply chain. Dashboard dibuat menggunakan Microsoft Power BI berdasarkan *data model* yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya. Visualisasi ini digunakan untuk membantu proses analisis performa *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada skenario *low demand*, *normal demand*, dan *high demand*.

Dashboard pada penelitian ini terdiri dari beberapa halaman visualisasi, yaitu dashboard *VMI control*, aspek ekonomi, aspek sosial, aspek lingkungan, dan *trade-off analysis*. Setiap halaman dashboard disusun berdasarkan kelompok KPI yang telah dihitung pada subbab sebelumnya.

1. Dashboard VMI Control

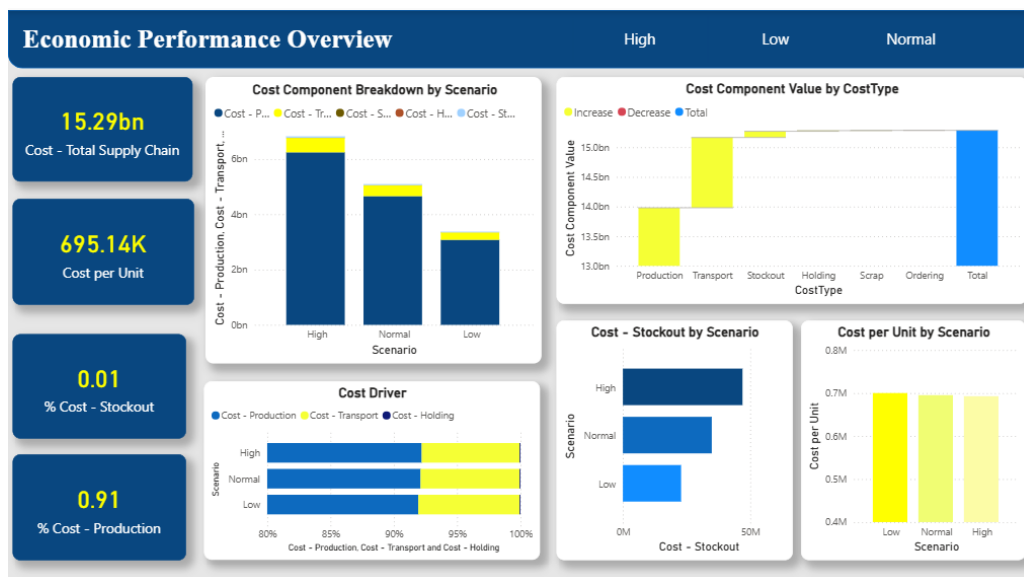
Dashboard *VMI control* digunakan untuk menampilkan performa layanan *supply chain* berdasarkan skenario permintaan. Indikator yang ditampilkan meliputi *total demand*, *fulfilled demand*, *unmet demand*, *fill rate*, dan *stockout rate*. Visualisasi ini digunakan untuk menunjukkan tingkat pemenuhan permintaan *retailer* dalam implementasi VMI. *Dashboard VMI Control* dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 *Dashboard VMI Control & Service Performance*

2. Dashboard Aspek Ekonomi

Dashboards aspek ekonomi digunakan untuk menampilkan komponen biaya *supply chain* pada setiap skenario permintaan. Indikator yang ditampilkan meliputi *production cost*, *holding cost*, *transport cost*, *scrap cost*, *stockout cost*, *ordering cost*, *total supply chain cost*, dan *cost per unit*. Visualisasi pada dashboard ini digunakan untuk melihat struktur biaya *supply chain* serta perubahan biaya pada masing-masing skenario permintaan. Gambar 4.6 menunjukkan tampilan *dashboard* aspek ekonomi.



Gambar 4. 6 *Dashboard* Aspek Ekonomi

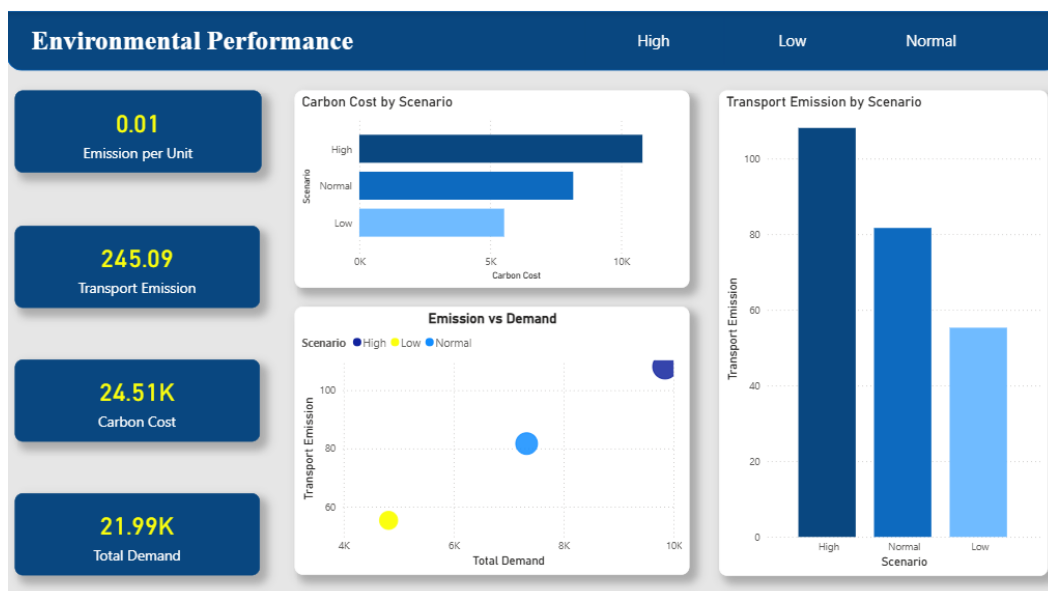
3. Dashboard Aspek Sosial

Dashboards aspek sosial digunakan untuk menampilkan kebutuhan dan kapasitas tenaga kerja pada setiap skenario permintaan. Indikator yang ditampilkan meliputi *total labour hours*, *effective working time*, *Full Time Equivalent (FTE)*, *overtime hours*, dan *overtime ratio*. *Dashboard* ini digunakan untuk menunjukkan perubahan kebutuhan tenaga kerja akibat perubahan skenario permintaan. Gambar 4.7 menunjukkan tampilan *dashboard* aspek sosial.

Gambar 4. 7 *Dashboard Aspek Sosial*

4. Dashboard Aspek Lingkungan

Dashboard aspek lingkungan digunakan untuk menampilkan dampak aktivitas distribusi terhadap lingkungan. Indikator yang ditampilkan meliputi *transport emission*, *emission per unit*, dan *carbon cost*. Visualisasi ini digunakan untuk melihat hubungan antara permintaan, aktivitas distribusi, dan emisi transportasi. Gambar 4.8 menunjukkan tampilan *dashboard* aspek lingkungan.

Gambar 4. 8 *Dashboard Aspek Lingkungan*

5. Dashboard Trade-off Analysis

Dashboard *trade-off analysis* digunakan untuk menampilkan hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan. Indikator yang ditampilkan meliputi *cost index*,

workforce index, dan *emission index*. Dashboard ini juga menampilkan perbandingan antar skenario permintaan sehingga hubungan antara biaya, kapasitas tenaga kerja, dan emisi dapat dianalisis secara lebih jelas. Gambar 4.9 menunjukkan tampilan dashboard *trade-off analysis*.



Gambar 4. 9 *Dashboard Trade-off Analysis*

Secara keseluruhan, dashboard *Business Intelligence* yang disusun pada penelitian ini berfungsi sebagai media visualisasi hasil pengolahan data. Dashboard tersebut membantu menampilkan hasil analisis performa *supply chain* secara terstruktur berdasarkan skenario permintaan dan kelompok indikator yang digunakan.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Hasil KPI Dashboard

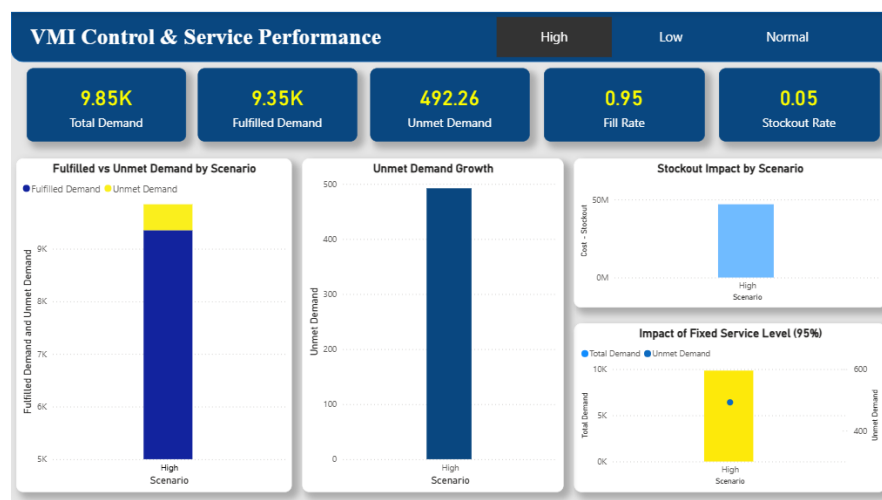
5.1.1 Dashboard VMI Control dan Service Performance

Halaman dashboard VMI Control dan Service Performance digunakan untuk menganalisis performa layanan pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan yang telah dibentuk. Analisis dilakukan terhadap beberapa indikator utama, yaitu total demand, fulfilled demand, unmet demand, fill rate, dan stockout rate. Indikator-indikator tersebut digunakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam memenuhi permintaan retailer pada kondisi permintaan yang berbeda.

Pada penelitian ini, nilai service level yang digunakan dalam data operasional adalah sebesar 95%. Oleh karena itu, perhitungan fulfilled demand dilakukan berdasarkan proporsi pemenuhan permintaan sebesar 95% dari total demand, sedangkan unmet demand merepresentasikan sisa permintaan yang tidak terpenuhi sebesar 5%. Dengan demikian, nilai fill rate dan stockout rate pada setiap skenario cenderung tetap, yaitu masing-masing sebesar 95% dan 5%. Perbedaan utama antar skenario tidak terletak pada persentase service performance, melainkan pada besarnya volume permintaan, jumlah permintaan yang terpenuhi, dan jumlah permintaan yang tidak terpenuhi.

1. Skenario *High Demand*

Gambar 5.1 di bawah ini merupakan hasil dashboard VMI dan *Service Performance* jika skenario permintaan tinggi.



Gambar 5. 1 *Dashboard VMI dan Service Performance pada High Demand*

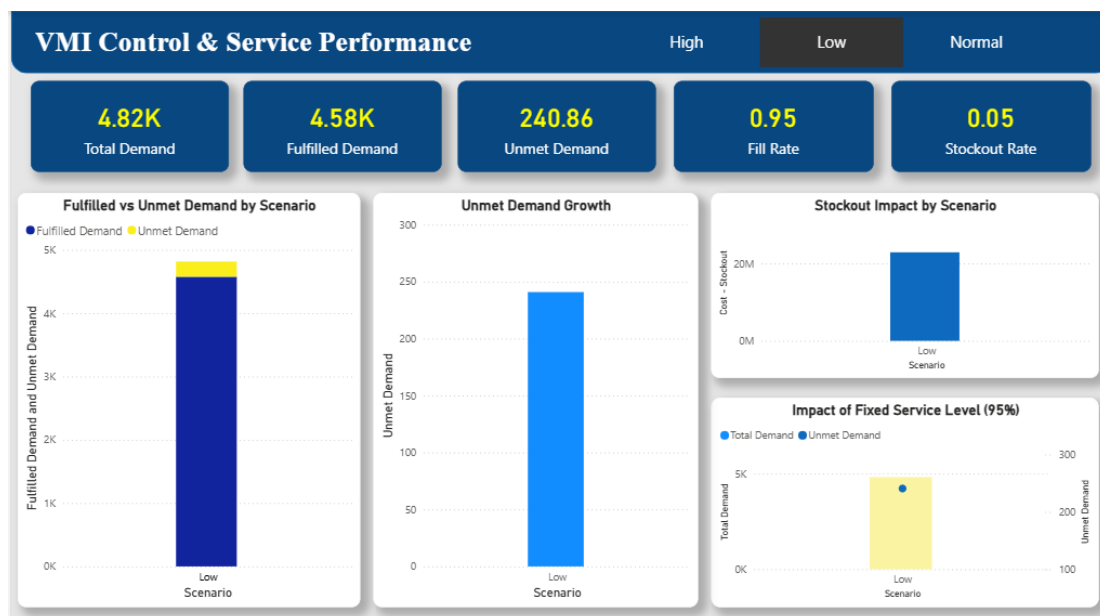
Berdasarkan hasil dashboard, skenario high demand menghasilkan total permintaan tertinggi sebesar 9,85K unit. Dari jumlah tersebut, fulfilled demand tercatat sebesar 9,35K unit, sedangkan unmet demand sebesar 492,26 unit. Nilai fill rate pada skenario ini berada pada angka 0,95 atau 95%, sedangkan stockout rate sebesar 0,05 atau 5%.

Nilai fill rate sebesar 95% pada skenario high demand menunjukkan bahwa sistem memenuhi permintaan sesuai dengan service level yang digunakan dalam data penelitian. Namun, karena total demand pada skenario ini merupakan yang tertinggi, jumlah permintaan yang harus dipenuhi dan jumlah permintaan yang tidak terpenuhi juga menjadi yang paling besar dibandingkan skenario lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan demand tidak mengubah persentase service level, tetapi meningkatkan beban operasional supply chain, khususnya pada pemenuhan permintaan, distribusi, kebutuhan inventory, biaya, tenaga kerja, dan emisi transportasi.

Dengan demikian, interpretasi utama pada skenario high demand bukan hanya bahwa fill rate tetap berada pada 95%, tetapi bahwa pencapaian service level tersebut terjadi pada volume permintaan yang lebih besar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa skenario high demand memberikan tekanan operasional yang lebih tinggi terhadap sistem supply chain berbasis VMI.

2. Skenario *Low Demand*

Gambar 5.2 di bawah ini merupakan hasil dashboard VMI dan *Service Performance* jika skenario permintaan rendah.



Gambar 5. 2 Dashboard VMI dan *Service Performance* pada Low Demand

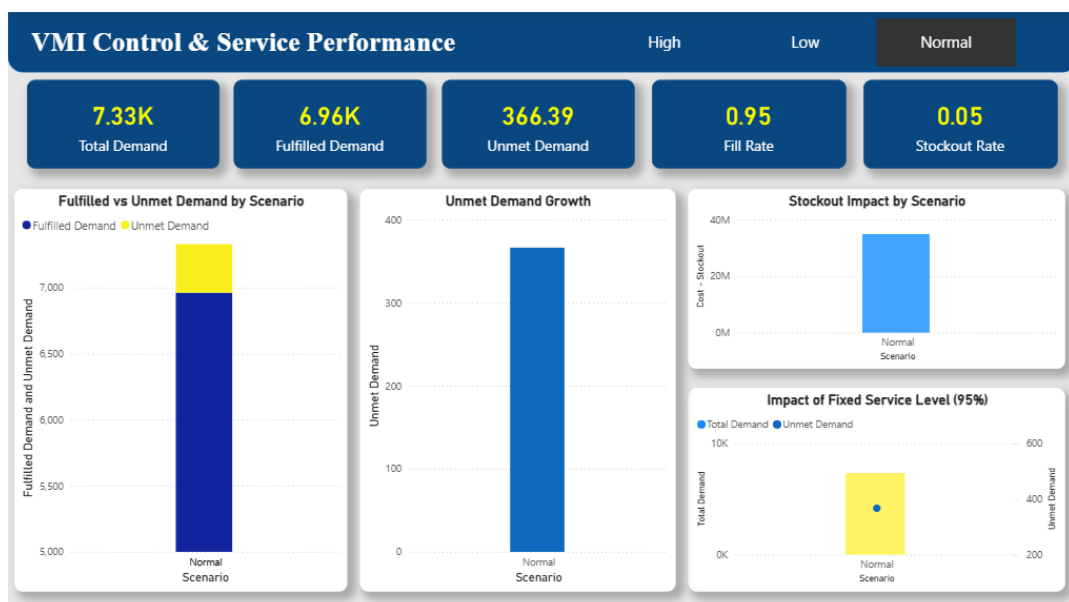
Pada skenario low demand, total permintaan mengalami penurunan menjadi 4,82K unit. Fulfilled demand pada skenario ini tercatat sebesar 4,58K unit, sedangkan unmet demand sebesar 240,86 unit. Nilai fill rate dan stockout rate tetap berada pada angka 95% dan 5% karena perhitungan pemenuhan permintaan mengacu pada service level yang digunakan dalam data penelitian.

Dibandingkan dengan skenario high demand dan normal demand, skenario low demand memiliki total demand, fulfilled demand, dan unmet demand yang paling rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa penurunan volume permintaan menyebabkan beban distribusi dan kebutuhan pemenuhan inventory menjadi lebih kecil. Walaupun persentase layanan tetap sama, jumlah unit yang harus dipenuhi oleh sistem supply chain berkurang secara signifikan.

Dengan demikian, skenario low demand menunjukkan kondisi operasional dengan beban layanan paling rendah. Namun, kondisi ini tidak secara otomatis menunjukkan bahwa sistem berada pada kondisi terbaik, karena demand yang rendah juga dapat berdampak pada rendahnya pemanfaatan kapasitas operasional dan potensi ketidakefisienan dari sisi utilisasi sumber daya.

3. Skenario *Normal Demand*

Gambar 5.3 di bawah ini merupakan hasil dashboard VMI dan *Service Performance* jika skenario permintaan normal



Gambar 5. 3 Dashboard VMI dan *Service Performance* pada *Normal Demand*

Pada skenario normal demand, total permintaan tercatat sebesar 7,33K unit. Fulfilled demand pada skenario ini sebesar 6,96K unit, sedangkan unmet demand sebesar 366,39 unit. Nilai fill rate tetap berada pada angka 95%, sedangkan stockout rate sebesar 5%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pemenuhan permintaan pada skenario normal demand juga mengikuti service level yang digunakan dalam data penelitian.

Skenario normal demand berada di antara skenario low demand dan high demand, baik dari sisi total demand, fulfilled demand, maupun unmet demand. Hal ini menunjukkan bahwa skenario normal demand merepresentasikan kondisi operasional menengah, di mana volume permintaan yang harus ditangani lebih besar dibandingkan low demand, tetapi lebih rendah dibandingkan high demand.

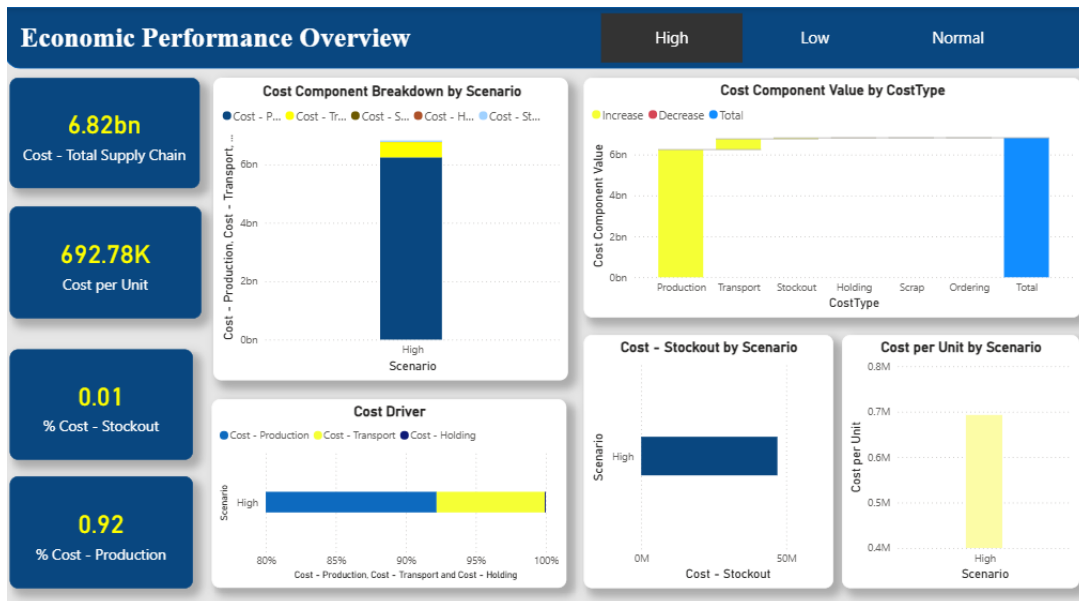
Dengan demikian, skenario normal demand dapat digunakan sebagai kondisi pembanding utama untuk melihat perubahan beban layanan pada skenario permintaan rendah dan tinggi. Perbedaan utama antar skenario tetap terletak pada volume permintaan dan konsekuensi operasional yang ditimbulkan, bukan pada perubahan persentase fill rate dan stockout rate.

5.1.2 Dashboard Aspek Ekonomi

Analisis aspek ekonomi dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi biaya pada sistem supply chain berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI) berdasarkan skenario permintaan yang telah dibentuk. Pengukuran dilakukan menggunakan beberapa indikator utama, yaitu *total supply chain cost*, *cost per unit*, *stockout cost*, serta komponen biaya lainnya seperti biaya produksi, transportasi, penyimpanan, scrap, dan pemesanan. *Dashboard* aspek ekonomi digunakan untuk menunjukkan perubahan struktur biaya pada setiap skenario permintaan.

1. Skenario *High Demand*

Gambar 5.4 di bawah ini merupakan hasil dashboard aspek ekonomi pada skenario permintaan tinggi.



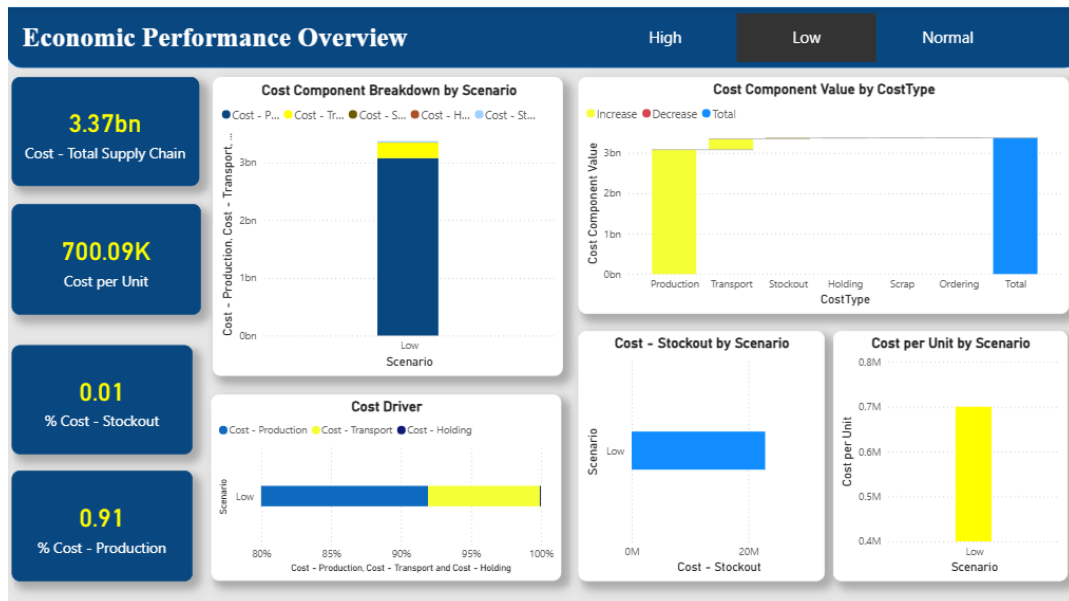
Gambar 5. 4 *Dashboard Aspek Ekonomi pada High Demand*

Berdasarkan Gambar 5.4, total biaya supply chain mencapai 6.82 miliar rupiah dengan biaya per unit sebesar 692.78 ribu rupiah. Tingginya total biaya pada skenario ini dipengaruhi oleh peningkatan volume produksi dan distribusi akibat naiknya jumlah permintaan. Selain itu, peningkatan fulfilled demand juga menyebabkan aktivitas transportasi dan penggunaan sumber daya operasional menjadi lebih besar.

Komponen biaya terbesar pada skenario ini berasal dari production cost yang mendominasi total biaya supply chain. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivitas produksi menjadi cost driver utama dalam sistem VMI pada kondisi permintaan tinggi. Selain biaya produksi, transport cost dan stockout cost juga mengalami peningkatan seiring bertambahnya volume distribusi dan unmet demand.

2. Skenario *Low Demand*

Gambar 5.5 di bawah ini merupakan hasil dashboard aspek ekonomi pada skenario permintaan rendah.



Gambar 5. 5 Dashboard Aspek Ekonomi pada Low Demand

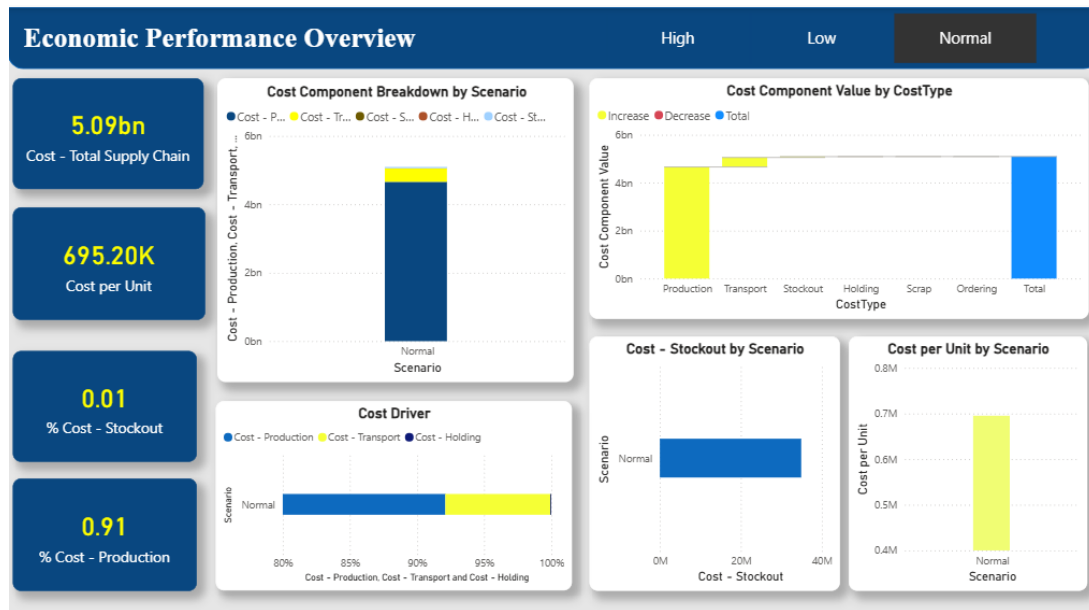
Pada skenario *low demand*, total biaya supply chain menurun menjadi 3.37 miliar rupiah dengan biaya per unit sebesar 697.78 ribu rupiah. Rendahnya total biaya pada skenario ini dipengaruhi oleh menurunnya volume produksi dan aktivitas distribusi akibat rendahnya permintaan. Kondisi ini menyebabkan penggunaan sumber daya operasional menjadi lebih kecil dibandingkan skenario lainnya.

Berdasarkan dashboard aspek ekonomi, komponen biaya terbesar pada skenario ini tetap berasal dari *production cost* dengan kontribusi sebesar 91% terhadap total biaya supply chain. Sementara itu, *transport cost* menjadi komponen biaya terbesar kedua setelah biaya produksi. Hal tersebut menunjukkan bahwa aktivitas produksi masih menjadi *cost driver* utama meskipun volume demand berada pada kondisi rendah.

Selain itu, nilai *stockout cost* pada skenario low demand tercatat relatif lebih rendah dibandingkan skenario lainnya karena jumlah unmet demand juga menurun. Namun demikian, biaya per unit pada skenario ini cenderung lebih tinggi dibandingkan skenario high demand akibat rendahnya volume distribusi yang menyebabkan biaya operasional tetap harus ditanggung pada jumlah unit yang lebih sedikit. Dengan demikian, skenario low demand menghasilkan total biaya operasional terendah, namun belum tentu menjadi kondisi paling efisien dari sisi utilisasi biaya per unit.

3. Skenario Normal Demand

Gambar 5.6 di bawah ini merupakan hasil dashboard aspek ekonomi pada skenario permintaan normal.



Gambar 5. 6 *Dashboard* Aspek Ekonomi pada *Normal Demand*

Pada skenario *normal demand*, total biaya supply chain tercatat sebesar 5.09 miliar rupiah dengan biaya per unit sebesar 695.20 ribu rupiah. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan skenario high demand karena volume permintaan dan aktivitas distribusi yang lebih kecil. Penurunan demand menyebabkan kebutuhan produksi dan pengiriman produk menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi permintaan tinggi.

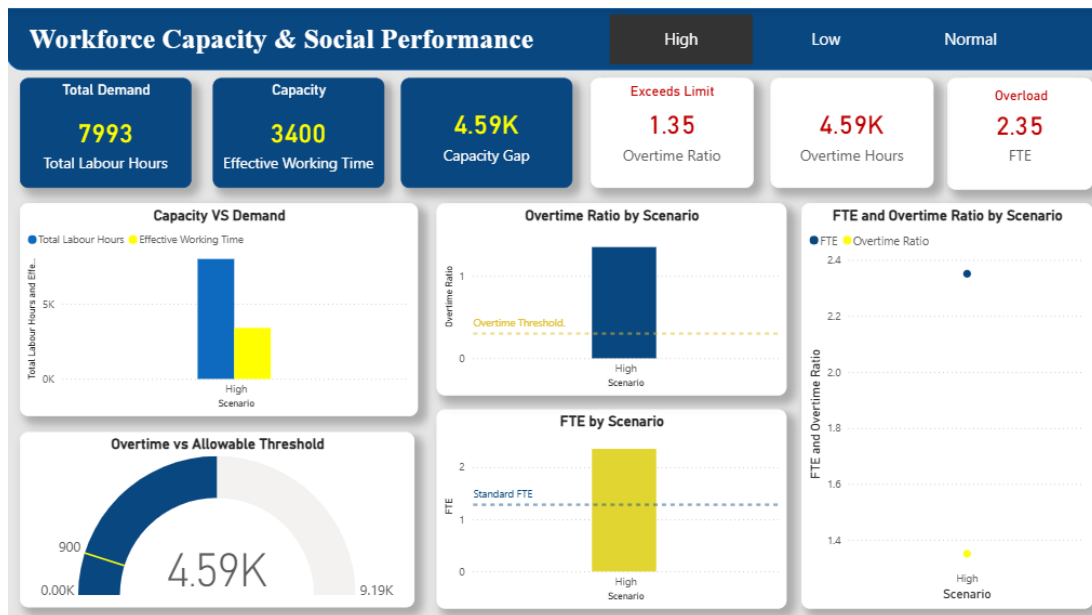
Struktur biaya pada skenario normal masih menunjukkan bahwa *production cost* menjadi komponen biaya terbesar dalam sistem supply chain. Namun demikian, nilai beberapa komponen biaya seperti *transport cost* dan *stockout cost* mengalami penurunan dibandingkan skenario high demand. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan demand memberikan pengaruh langsung terhadap total biaya operasional supply chain.

5.1.3 Analisis Aspek Sosial

Analisis aspek sosial dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas dan utilisasi tenaga kerja pada sistem supply chain berbasis Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan yang telah dibentuk. Pengukuran aspek sosial dilakukan menggunakan beberapa indikator utama, yaitu *Full Time Equivalent (FTE)*, *overtime ratio*, *total labour hours*, dan *effective working time*. Analisis ini digunakan untuk melihat pengaruh perubahan demand terhadap kebutuhan tenaga kerja dan beban operasional sistem supply chain.

1. Skenario *High Demand*

Hasil dari *dashboard* aspek sosial pada skenario permintaan tinggi ditunjukkan pada Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5. 7 Dashboard Aspek Sosial pada *High Demand*

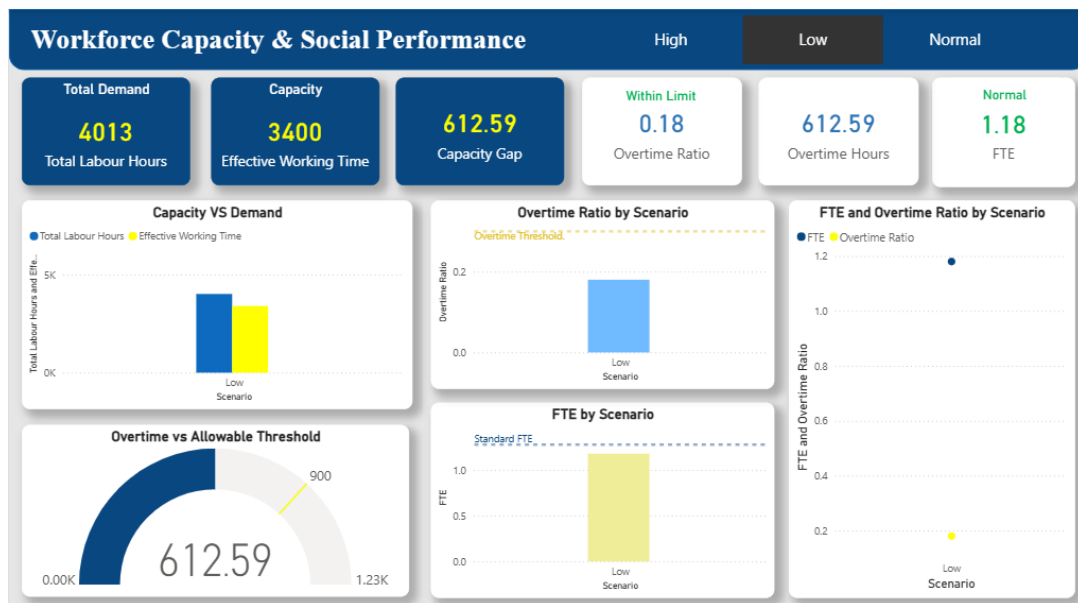
Berdasarkan dashboard aspek sosial pada skenario *high demand*, total labour hours tercatat sebesar 7993 jam kerja dengan effective working time sebesar 3400 jam kerja. Kondisi tersebut menghasilkan capacity gap sebesar 4.59K jam kerja yang menunjukkan bahwa kebutuhan operasional jauh melebihi kapasitas kerja reguler yang tersedia. Nilai *overtime ratio* pada skenario ini mencapai 1.35 sehingga telah melewati batas overtime threshold yang ditetapkan.

Nilai *Full Time Equivalent (FTE)* pada skenario ini sebesar 2.35 yang menunjukkan bahwa kebutuhan tenaga kerja berada pada kondisi overload. Selain itu, overtime hours tercatat sebesar 4.59K jam yang menunjukkan tingginya kebutuhan lembur untuk mendukung aktivitas produksi dan distribusi pada kondisi permintaan tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan demand memberikan tekanan yang signifikan terhadap kapasitas tenaga kerja dalam sistem supply chain berbasis VMI.

Berdasarkan visualisasi dashboard, skenario high demand menghasilkan tingkat utilisasi tenaga kerja tertinggi dibandingkan skenario lainnya. Tingginya nilai overtime ratio dan FTE menunjukkan bahwa kapasitas operasional yang tersedia belum mampu memenuhi kebutuhan demand secara optimal tanpa tambahan beban kerja. Dengan demikian, skenario high demand menghasilkan tekanan operasional terbesar pada aspek sosial dalam penelitian ini.

2. Skenario *Low Demand*

Hasil dari dashboard aspek sosial pada skenario permintaan rendah ditunjukkan pada Gambar 5.8 di bawah ini.



Gambar 5. 8 Dashboard Aspek Sosial pada Low Demand

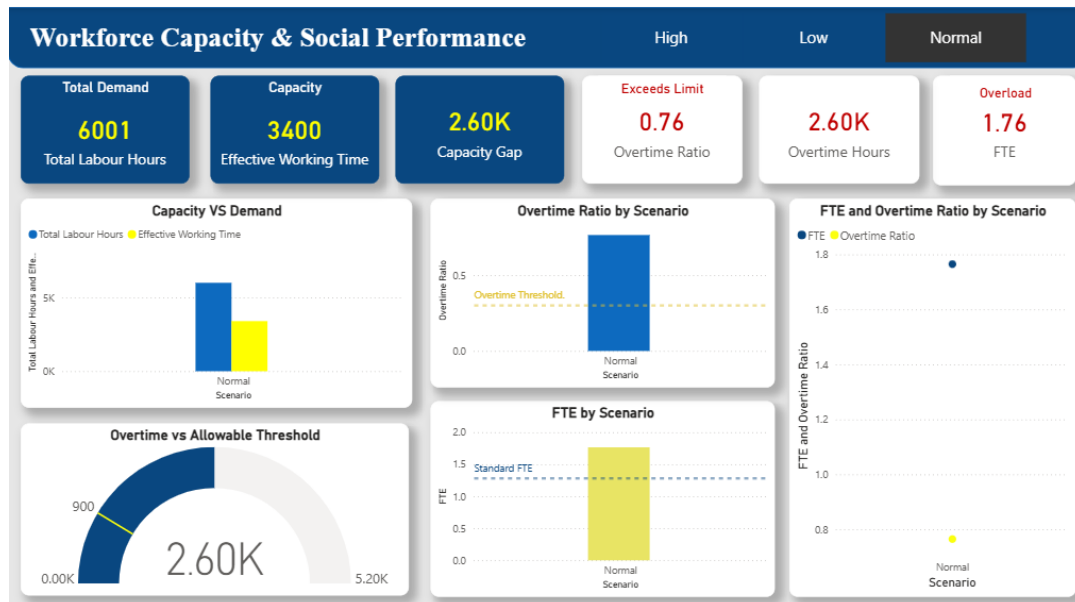
Pada skenario *low demand*, total labour hours tercatat sebesar 4013 jam kerja dengan effective working time sebesar 3400 jam kerja. Kondisi tersebut menghasilkan capacity gap sebesar 612.59 jam kerja yang menunjukkan bahwa kebutuhan operasional mulai melebihi kapasitas kerja reguler yang tersedia. Nilai *overtime ratio* pada skenario ini tercatat sebesar 0.18 atau masih berada di bawah batas overtime threshold yang telah ditentukan.

Nilai *Full Time Equivalent (FTE)* pada skenario ini sebesar 1.18 yang menunjukkan bahwa kebutuhan tenaga kerja masih berada pada kondisi relatif normal dan belum memerlukan penambahan tenaga kerja secara signifikan. Selain itu, overtime hours sebesar 612.59 jam menunjukkan bahwa sistem operasional masih membutuhkan lembur untuk memenuhi aktivitas distribusi dan produksi meskipun volume demand berada pada kondisi rendah.

Berdasarkan dashboard aspek sosial, kondisi low demand menunjukkan bahwa tekanan operasional pada tenaga kerja lebih rendah dibandingkan skenario high demand. Namun demikian, masih terdapat kebutuhan overtime akibat kapasitas kerja efektif yang belum sepenuhnya mampu memenuhi total labour hours yang dibutuhkan. Dengan demikian, skenario low demand menghasilkan kondisi operasional yang relatif lebih ringan, tetapi belum sepenuhnya bebas dari tekanan kapasitas tenaga kerja.

3. Skenario *Normal Demand*

Hasil dari dashboard aspek sosial pada skenario permintaan tinggi ditunjukkan pada Gambar 5.9 di bawah ini.



Gambar 5. 9 Dashboard Aspek Sosial pada *Normal Demand*

Pada skenario *normal demand*, total labour hours tercatat sebesar 6001 jam kerja dengan effective working time sebesar 3400 jam kerja. Kondisi tersebut menghasilkan capacity gap sebesar 2.60K jam kerja yang menunjukkan bahwa kebutuhan operasional masih melebihi kapasitas kerja reguler yang tersedia. Nilai *overtime ratio* pada skenario ini sebesar 0.76 dan masih berada di atas overtime threshold yang telah ditentukan.

Nilai *Full Time Equivalent (FTE)* pada skenario ini sebesar 1.76 yang menunjukkan bahwa kebutuhan tenaga kerja berada pada kondisi overload, namun tidak sebesar skenario high demand. Selain itu, overtime hours sebesar 2.60K jam menunjukkan bahwa sistem operasional masih membutuhkan lembur untuk mendukung aktivitas supply chain pada kondisi permintaan normal. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan demand pada skenario normal tetap memberikan tekanan terhadap kapasitas tenaga kerja meskipun lebih rendah dibandingkan skenario high demand.

Berdasarkan dashboard aspek sosial, skenario normal demand menghasilkan tingkat utilisasi tenaga kerja yang lebih stabil dibandingkan skenario high demand. Namun demikian, nilai overtime ratio dan FTE yang masih cukup tinggi menunjukkan bahwa kapasitas kerja efektif belum sepenuhnya mampu memenuhi kebutuhan operasional tanpa

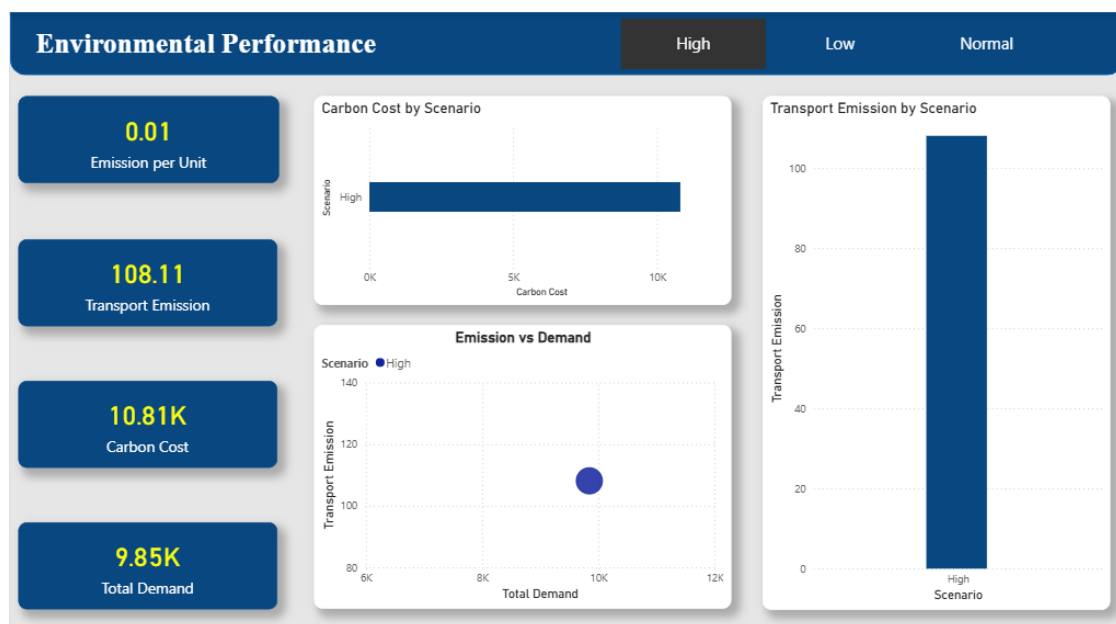
tambahan lembur. Dengan demikian, skenario normal demand masih memerlukan penyesuaian kapasitas tenaga kerja untuk menjaga kestabilan operasional supply chain.

5.1.4 Analisis Aspek Lingkungan

Analisis aspek lingkungan dilakukan untuk mengevaluasi dampak operasional supply chain terhadap lingkungan pada implementasi Vendor Managed Inventory (VMI) berdasarkan skenario permintaan yang telah dibentuk. Pengukuran dilakukan menggunakan beberapa indikator utama, yaitu *transport emission*, *carbon cost*, dan *emission per unit*. Analisis ini digunakan untuk melihat pengaruh perubahan volume distribusi terhadap tingkat emisi karbon yang dihasilkan dari aktivitas transportasi supply chain.

1. Skenario *High Demand*

Hasil dari *dashboard* aspek lingkungan pada skenario permintaan tinggi ditunjukkan pada Gambar 5.10 di bawah ini.



Gambar 5. 10 *Dashboard* Aspek Lingkungan pada *High Demand*

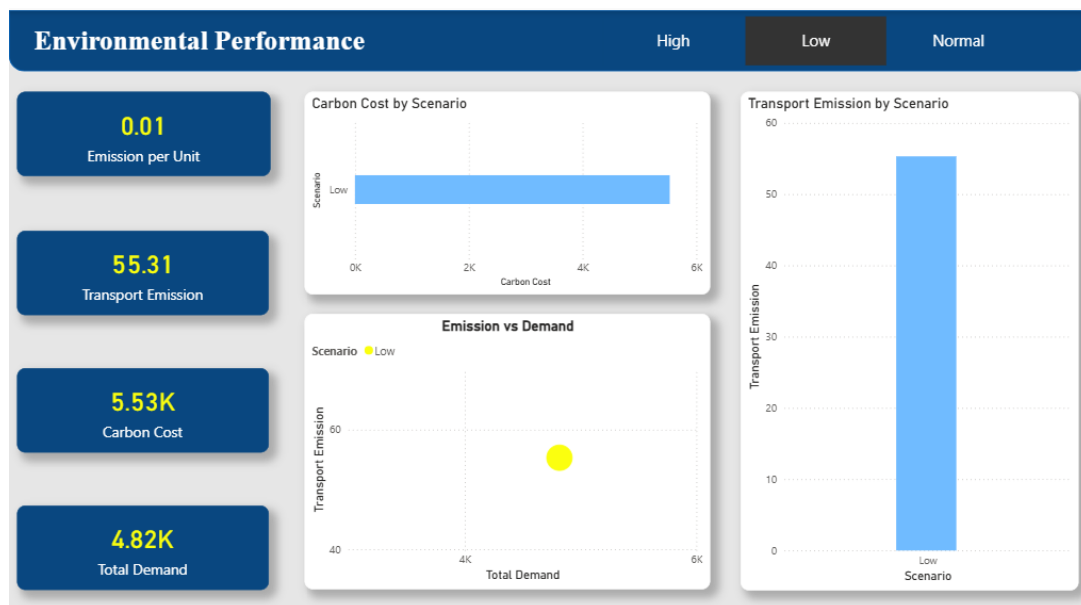
Berdasarkan dashboard aspek lingkungan pada skenario *high demand*, total transport emission tercatat sebesar 108.11 kgCO₂ dengan carbon cost sebesar 10.81 ribu rupiah. Nilai tersebut merupakan yang tertinggi dibandingkan skenario lainnya karena volume permintaan dan aktivitas distribusi berada pada kondisi paling tinggi. Selain itu, total demand pada skenario ini mencapai 9.85K unit yang menyebabkan intensitas pengiriman produk menjadi lebih besar.

Tingginya nilai emisi pada skenario high demand menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas distribusi memberikan dampak langsung terhadap kenaikan emisi karbon transportasi. Meskipun demikian, nilai *emission per unit* tetap berada pada angka 0.01 yang menunjukkan bahwa rata-rata emisi per unit produk relatif stabil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan total emisi lebih dipengaruhi oleh bertambahnya volume distribusi dibandingkan perubahan efisiensi transportasi.

Berdasarkan visualisasi *emission vs demand*, peningkatan total demand pada skenario high demand diikuti dengan peningkatan transport emission secara signifikan. Dengan demikian, skenario high demand menghasilkan dampak lingkungan terbesar dalam sistem supply chain berbasis VMI pada penelitian ini.

2. Skenario Low Demand

Hasil dari *dashboard* aspek lingkungan pada skenario permintaan rendah ditunjukkan pada Gambar 5.11 di bawah ini.



Gambar 5. 11 *Dashboard* Aspek Lingkungan pada *Low Demand*

Pada skenario *low demand*, total transport emission tercatat sebesar 55.31 kgCO₂ dengan carbon cost sebesar 5.53 ribu rupiah. Nilai tersebut merupakan yang terendah dibandingkan skenario lainnya karena volume permintaan dan aktivitas distribusi berada pada kondisi paling rendah. Total demand pada skenario ini tercatat sebesar 4.82K unit sehingga kebutuhan transportasi dan pengiriman produk menjadi lebih kecil.

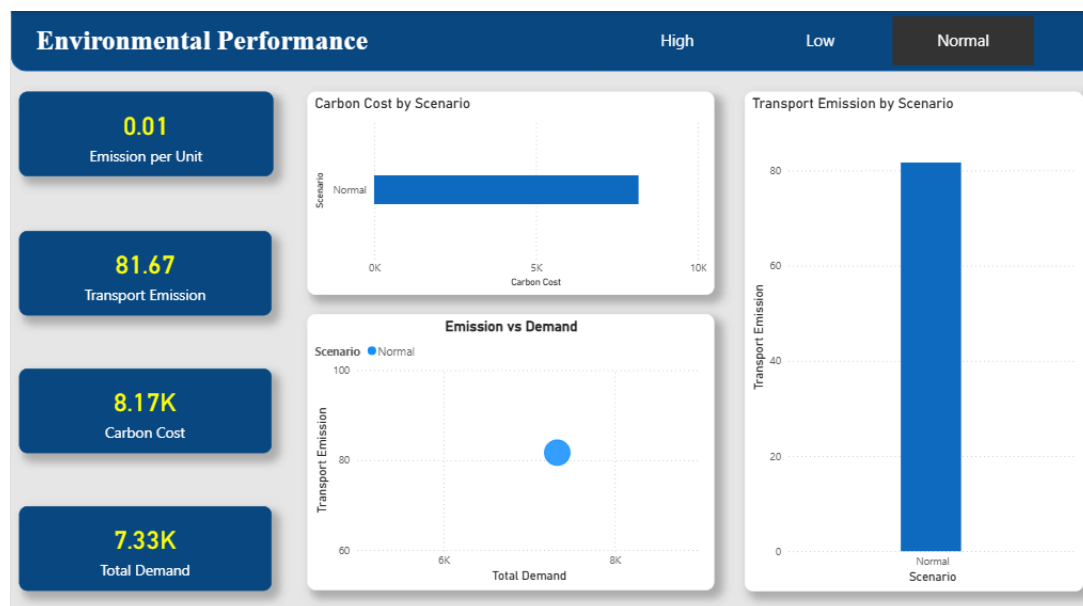
Nilai *emission per unit* pada skenario ini tetap berada pada angka 0.01 yang menunjukkan bahwa rata-rata emisi per unit distribusi relatif stabil pada seluruh skenario

permintaan. Rendahnya total emisi pada skenario low demand menunjukkan bahwa penurunan aktivitas distribusi memberikan dampak langsung terhadap pengurangan emisi karbon transportasi dalam sistem supply chain.

Berdasarkan visualisasi *emission vs demand*, skenario low demand menghasilkan titik distribusi dengan tingkat emisi paling rendah dibandingkan skenario lainnya. Dengan demikian, skenario low demand menghasilkan dampak lingkungan terkecil pada implementasi supply chain berbasis VMI dalam penelitian ini.

3. Skenario Normal Demand

Hasil dari *dashboard* aspek lingkungan pada skenario permintaan normal ditunjukkan pada Gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5. 12 *Dashboard Aspek Lingkungan pada Normal Demand*

Pada skenario *normal demand*, total transport emission tercatat sebesar 81.67 kgCO₂ dengan carbon cost sebesar 8.17 ribu rupiah. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan skenario high demand karena volume permintaan dan aktivitas distribusi yang lebih kecil. Total demand pada skenario ini tercatat sebesar 7.33K unit sehingga kebutuhan pengiriman produk menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi permintaan tinggi.

Nilai *emission per unit* pada skenario ini tetap berada pada angka 0.01 yang menunjukkan bahwa efisiensi emisi per unit distribusi relatif konsisten. Selain itu, visualisasi *emission vs demand* menunjukkan hubungan positif antara jumlah permintaan dan tingkat emisi transportasi yang dihasilkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa

perubahan volume demand memberikan pengaruh langsung terhadap peningkatan aktivitas distribusi dan emisi karbon.

Secara keseluruhan, skenario normal demand menghasilkan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan skenario high demand, namun masih lebih tinggi dibandingkan skenario low demand. Kondisi ini menunjukkan bahwa kebutuhan distribusi pada skenario normal masih memberikan tekanan terhadap aspek lingkungan meskipun tidak sebesar kondisi permintaan tinggi.

5.2 Pembentukan Knowledge dari Hasil Dashboard

Hasil dashboard pada subbab sebelumnya menunjukkan informasi KPI pada aspek *VMI and service performance*, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Informasi tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggabungkan beberapa indikator yang saling berkaitan agar dapat menghasilkan *knowledge*. Dalam pendekatan DIKW, *knowledge* terbentuk ketika beberapa informasi tidak hanya dibaca secara terpisah, tetapi dihubungkan untuk memahami pola, hubungan sebab-akibat, serta implikasi operasional dari kondisi *supply chain*.

Pada penelitian ini, pembentukan *knowledge* dilakukan dengan menggabungkan informasi dari beberapa aspek dashboard. Hasil penggabungan informasi tersebut menghasilkan beberapa *knowledge* utama yang dapat digunakan sebagai dasar penyusunan *managerial insight*.

5.2.1 Knowledge 1: Service Level Stabil, tetapi beban Operasional Meningkat

Berdasarkan *dashboard* VMI Control and Service Performance, nilai *fill rate* pada seluruh skenario permintaan berada pada angka 0,95 atau 95%, sedangkan *stockout rate* berada pada angka 0,05 atau 5%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pemenuhan permintaan pada setiap skenario mengikuti parameter *service level* yang digunakan dalam data penelitian. Dengan demikian, perbedaan antara skenario *low demand*, *normal demand*, dan *high demand* tidak terletak pada perubahan persentase layanan, melainkan pada perubahan volume permintaan yang harus dipenuhi oleh sistem *supply chain*.

Ketika informasi *service performance* digabungkan dengan *dashboard* aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan, terlihat bahwa *service level* yang stabil tidak berarti beban operasional juga berada pada kondisi yang sama. Pada skenario *high demand*, peningkatan volume permintaan menyebabkan total *supply chain cost* meningkat menjadi Rp6,82 miliar, *overtime hours* meningkat menjadi 4,59K jam, dan *transport emission* meningkat menjadi 108,11

kgCO₂. Sebaliknya, pada skenario *low demand*, nilai biaya, *overtime*, dan emisi berada pada tingkat yang lebih rendah karena volume permintaan yang harus ditangani juga lebih kecil.

Berdasarkan penggabungan informasi tersebut, *knowledge* yang diperoleh adalah bahwa fill rate sebesar 95% perlu diinterpretasikan bersama indikator operasional lainnya. Meskipun persentase layanan tetap, peningkatan demand tetap menyebabkan kenaikan *fulfilled demand*, *unmet demand*, biaya supply chain, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi transportasi. Oleh karena itu, evaluasi performa supply chain berbasis VMI tidak cukup hanya melihat stabilitas service level, tetapi juga perlu mempertimbangkan tekanan operasional yang muncul di balik pencapaian tingkat layanan tersebut.

5.2.2 Knowledge 2: *Production Cost* Menjadi *Cost Driver* Utama

Berdasarkan dashboard aspek ekonomi, *total supply chain cost* meningkat seiring dengan kenaikan skenario permintaan. Pada skenario *low demand*, total biaya tercatat sebesar Rp3,37 miliar, meningkat menjadi Rp5,09 miliar pada skenario *normal demand*, dan mencapai Rp6,82 miliar pada skenario *high demand*. Peningkatan biaya tersebut sejalan dengan peningkatan *fulfilled demand* pada dashboard *VMI Control*.

Komponen biaya terbesar pada seluruh skenario berasal dari *production cost*. Kondisi ini menunjukkan bahwa biaya produksi menjadi faktor utama yang membentuk total biaya *supply chain*. Informasi ini menjadi penting karena peningkatan demand tidak hanya meningkatkan biaya distribusi, tetapi juga secara langsung meningkatkan kebutuhan produksi dan biaya produksi yang terkait.

Berdasarkan penggabungan informasi antara *fulfilled demand*, *total supply chain cost*, dan komposisi biaya, *knowledge* yang diperoleh adalah bahwa efisiensi biaya *supply chain* dalam penelitian ini sangat dipengaruhi oleh efisiensi produksi. Dengan demikian, apabila perusahaan ingin mengendalikan total biaya *supply chain*, perhatian utama tidak hanya perlu diberikan pada biaya transportasi atau biaya pemesanan, tetapi juga pada biaya produksi dan faktor-faktor yang memengaruhinya, seperti efisiensi proses produksi, tingkat *scrap*, dan penggunaan sumber daya produksi.

5.2.3 Knowledge 3: Kapasitas Tenaga Kerja Menjadi Titik Tekanan Operasional

Berdasarkan dashboard aspek sosial, *effective working time* pada seluruh skenario adalah 3.400 jam. Sementara itu, *total labour hours* meningkat dari 4.013 jam pada skenario *low demand*, menjadi 6.001 jam pada skenario *normal demand*, dan 7.993 jam pada skenario *high demand*.

Perbedaan antara kebutuhan jam kerja dan kapasitas kerja efektif menyebabkan munculnya *overtime hours* pada seluruh skenario.

Pada skenario *low demand*, *overtime hours* tercatat sebesar 612,59 jam. Nilai ini meningkat menjadi 2,60K jam pada skenario *normal demand* dan 4,59K jam pada skenario *high demand*. Nilai FTE juga meningkat dari 1,18 pada skenario *low demand*, menjadi 1,76 pada skenario *normal demand*, dan 2,35 pada skenario *high demand*. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan demand memberikan tekanan langsung terhadap kapasitas tenaga kerja.

Berdasarkan penggabungan informasi antara *total labour hours*, *effective working time*, FTE, dan *overtime hours*, *knowledge* yang diperoleh adalah bahwa kapasitas tenaga kerja menjadi salah satu titik tekanan utama dalam sistem *supply chain*. Bahkan pada skenario *low demand*, kebutuhan jam kerja sudah melebihi kapasitas kerja efektif yang tersedia. Kondisi ini menunjukkan bahwa dalam implementasi VMI, peningkatan demand tidak hanya berdampak pada inventory dan distribusi, tetapi juga pada kesiapan kapasitas tenaga kerja.

5.2.4 Knowledge 4: Emisi Total Meningkat karena Volume Distribusi

Berdasarkan dashboard aspek lingkungan, *transport emission* meningkat dari 55,31 kgCO₂ pada skenario *low demand*, menjadi 81,67 kgCO₂ pada skenario *normal demand*, dan 108,11 kgCO₂ pada skenario *high demand*. Peningkatan ini sejalan dengan peningkatan *total demand* dan *fulfilled demand* pada dashboard *VMI Control*.

Namun, nilai *emission per unit* pada seluruh skenario relatif tetap, yaitu sebesar 0,01 kgCO₂/unit. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan total emisi bukan disebabkan oleh memburuknya intensitas emisi per unit, melainkan oleh bertambahnya volume produk yang didistribusikan. Dengan kata lain, sistem distribusi memiliki intensitas emisi yang relatif stabil, tetapi total dampak lingkungan tetap meningkat ketika jumlah permintaan yang dipenuhi bertambah.

Berdasarkan penggabungan informasi antara *transport emission*, *emission per unit*, dan volume demand, *knowledge* yang diperoleh adalah bahwa peningkatan dampak lingkungan terutama dipengaruhi oleh peningkatan volume aktivitas distribusi. Oleh karena itu, pemantauan emisi perlu dilakukan dalam dua bentuk, yaitu total emisi untuk melihat besarnya dampak lingkungan secara keseluruhan, dan *emission per unit* untuk melihat efisiensi emisi terhadap volume produk yang didistribusikan.

5.2.5 Knowledge 5: Skenario *Low Demand* Memiliki Beban Terendah, tetapi Tidak Selalu Menunjukkan Kondisi Operasional Terbaik

Berdasarkan hasil dashboard, skenario *low demand* menghasilkan *total supply chain cost*, *overtime hours*, dan *transport emission* terendah dibandingkan skenario lainnya. Dari sisi beban operasional, kondisi ini tampak paling ringan karena aktivitas produksi dan distribusi lebih rendah.

Namun, jika informasi ini dikaitkan dengan konteks operasional, rendahnya demand juga dapat menunjukkan bahwa kapasitas produksi, tenaga kerja, dan distribusi belum dimanfaatkan secara maksimal. Hal ini terlihat dari volume *fulfilled demand* yang lebih rendah dibandingkan skenario *normal demand* dan *high demand*. Dengan demikian, skenario *low demand* tidak dapat langsung dianggap sebagai kondisi terbaik secara keseluruhan, karena rendahnya beban biaya dan emisi dapat terjadi akibat rendahnya aktivitas operasional.

Berdasarkan penggabungan informasi tersebut, *knowledge* yang diperoleh adalah bahwa skenario dengan beban terendah tidak selalu identik dengan kondisi bisnis yang paling ideal. Dalam konteks manajerial, hasil dashboard perlu dibaca tidak hanya dari sisi rendahnya biaya, tenaga kerja, dan emisi, tetapi juga dari sisi pemanfaatan kapasitas dan volume pelayanan yang dihasilkan.

5.2.6 Ringkasan Pembentukan Knowledge

Ringkasan hasil pembentukan *knowledge* dari kombinasi informasi dashboard ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil Pembentukan Knowledge

Kombinasi Informasi	Knowledge yang Diperoleh	Implikasi Awal
<i>Fill rate, stockout rate, total cost, overtime hours, transport emission</i>	<i>Service level</i> stabil, tetapi beban operasional meningkat ketika demand naik	KPI layanan perlu dibaca bersama KPI biaya, tenaga kerja, dan lingkungan
<i>Fulfilled demand, total supply chain cost, komposisi biaya</i>	<i>Production cost</i> menjadi <i>cost driver</i> utama	Pengendalian biaya perlu difokuskan pada efisiensi produksi dan <i>scrap</i>
<i>Total labour hours, effective working time, FTE, overtime hours</i>	Kapasitas tenaga kerja menjadi titik tekanan operasional	Perlu pemantauan kapasitas kerja ketika demand meningkat
<i>Transport emission, emission</i>	Total emisi meningkat karena volume distribusi, bukan	Emisi perlu dipantau dari sisi total emisi dan emisi per unit

Kombinasi Informasi	Knowledge yang Diperoleh	Implikasi Awal
<i>per unit, total demand</i>	karena intensitas emisi memburuk	
<i>Total cost, overtime hours, transport emission, volume demand</i>	<i>Low demand</i> memiliki beban terendah, tetapi tidak selalu menunjukkan kondisi operasional terbaik	Hasil <i>trade-off</i> perlu dibaca bersama konteks utilisasi kapasitas

5.3 Analisis Trade-off

Analisis *trade-off* dilakukan untuk melihat hubungan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan pada sistem *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI). Analisis ini penting karena perubahan permintaan tidak hanya memengaruhi satu aspek, tetapi juga berdampak secara bersamaan terhadap biaya operasional, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi transportasi.

Pada penelitian ini, analisis *trade-off* menggunakan tiga indikator utama, yaitu *cost index*, *workforce index*, dan *emission index*. *Cost index* merepresentasikan total *supply chain cost*, *workforce index* merepresentasikan *overtime hours*, sedangkan *emission index* merepresentasikan *transport emission*. Ketiga indikator tersebut dinormalisasi agar dapat dibandingkan dalam skala yang sama. Berdasarkan dashboard *trade-off analysis*, skenario *low demand* memiliki nilai indeks terendah pada ketiga aspek, skenario *high demand* memiliki nilai indeks tertinggi, sedangkan skenario *normal demand* berada di antara keduanya.

5.3.1 Skenario High Demand

Hasil dari dashboard analisis *trade off* pada skenario permintaan tinggi ditunjukkan pada Gambar 5.13 di bawah ini.



Gambar 5. 13 Dashboard Trade-off Analysis pada High Demand

Pada skenario *high demand*, *total supply chain cost* mencapai Rp6,82 miliar, *overtime hours* sebesar 4,59K jam, dan *transport emission* sebesar 108,11 kgCO₂. Nilai tersebut merupakan yang tertinggi dibandingkan skenario lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan permintaan menyebabkan kenaikan beban ekonomi, sosial, dan lingkungan secara bersamaan.

Nilai cost index, workforce index, dan emission index pada skenario high demand berada pada tingkat tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pemenuhan demand tinggi membutuhkan aktivitas produksi dan distribusi yang lebih besar, sehingga biaya, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi meningkat. Fill rate pada skenario ini berada pada angka 95% karena mengacu pada parameter service level yang digunakan dalam data penelitian. Namun, pencapaian tingkat layanan tersebut terjadi pada volume permintaan yang lebih besar, sehingga konsekuensi operasional yang ditimbulkan juga meningkat.

Dengan demikian, *trade-off* pada skenario *high demand* menunjukkan bahwa peningkatan volume pelayanan berbanding lurus dengan peningkatan beban operasional. Kondisi ini perlu menjadi perhatian manajemen karena demand tinggi dapat meningkatkan potensi tekanan kapasitas tenaga kerja, kenaikan biaya, dan dampak lingkungan.

5.3.2 Skenario Low Demand

Hasil dari *dashboard* analisis *trade off* pada skenario permintaan rendah ditunjukkan pada Gambar 5.14 di bawah ini.



Gambar 5. 14 *Dashboard Trade-off Analysis* pada *Low Demand*

Pada skenario *low demand*, total supply chain cost tercatat sebesar 3.37 miliar rupiah dengan transport emission sebesar 55.31 kgCO₂ dan overtime hours sebesar 612.59 jam. Nilai tersebut merupakan yang terendah dibandingkan skenario lainnya karena volume permintaan dan aktivitas distribusi berada pada kondisi paling rendah. Selain itu, nilai *tradeoff score* pada skenario ini sebesar 0.00 yang menunjukkan tingkat beban operasional terendah dalam sistem supply chain.

Nilai *cost index*, *workforce index*, dan *emission index* pada skenario ini berada pada tingkat terendah. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa rendahnya volume demand menyebabkan aktivitas produksi dan distribusi lebih kecil, sehingga biaya, kebutuhan lembur, dan emisi juga lebih rendah. Namun, skenario ini tidak dapat langsung dianggap sebagai kondisi paling ideal secara operasional, karena rendahnya demand juga dapat menunjukkan bahwa kapasitas produksi, tenaga kerja, dan distribusi belum dimanfaatkan secara maksimal.

Dengan demikian, *trade-off* pada skenario *low demand* menunjukkan bahwa beban operasional rendah dapat dicapai ketika aktivitas demand juga rendah. Implikasi dari kondisi ini adalah perusahaan perlu tetap mempertimbangkan pemanfaatan kapasitas agar efisiensi biaya dan lingkungan tidak hanya terjadi karena rendahnya volume aktivitas.

5.3.3 Skenario Normal Demand

Hasil dari *dashboard* analisis *trade off* pada skenario permintaan normal ditunjukkan pada Gambar 5.15 di bawah ini.



Gambar 5. 15 Dashboard Trade-off Analysis pada Normal Demand

Pada skenario *normal demand*, *total supply chain cost* tercatat sebesar Rp5,09 miliar, *overtime hours* sebesar 2,60K jam, dan *transport emission* sebesar 81,67 kgCO₂. Nilai tersebut berada di antara skenario *low demand* dan *high demand*. Hal ini menunjukkan bahwa skenario *normal demand* menghasilkan kondisi operasional yang lebih moderat.

Berdasarkan dashboard *trade-off*, nilai *cost index*, *workforce index*, dan *emission index* pada skenario *normal demand* berada pada tingkat menengah. Kondisi ini menunjukkan bahwa kenaikan demand dari skenario *low* ke *normal* meningkatkan biaya, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi, tetapi belum setinggi skenario *high demand*.

Skenario *normal demand* dapat dipahami sebagai kondisi yang lebih seimbang karena volume permintaan lebih tinggi dibandingkan skenario *low demand*, tetapi tekanan biaya, tenaga kerja, dan emisi tidak sebesar skenario *high demand*. Namun, hasil dashboard aspek sosial menunjukkan bahwa pada kondisi normal pun *overtime hours* masih cukup tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas tenaga kerja tetap menjadi aspek yang perlu diperhatikan meskipun demand berada pada kondisi rata-rata. Dengan demikian, *trade-off* pada skenario *normal demand* menunjukkan adanya keseimbangan relatif antara volume pelayanan dan beban operasional. Kondisi ini dapat menjadi acuan dalam memahami performa sistem pada kondisi permintaan rata-rata.

5.3.4 Pola Hubungan *Trade-off* Antar Skenario

Berdasarkan ketiga skenario, terlihat bahwa peningkatan demand memberikan pengaruh yang konsisten terhadap ketiga aspek utama. Semakin tinggi demand, semakin besar *total supply chain cost*, *overtime hours*, dan *transport emission*. Pola ini menunjukkan bahwa aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan bergerak searah terhadap perubahan demand.

Pola tersebut sejalan dengan konsep *Conditional Value-at-Risk* (CVaR), yaitu ukuran risiko yang berfokus pada kerugian atau konsekuensi pada kondisi ekstrem setelah batas risiko tertentu terlampaui. Tyrrell Rockafellar & Uryasev (2000) menjelaskan bahwa CVaR digunakan untuk mengukur dan mengoptimalkan risiko pada bagian distribusi kerugian yang paling merugikan, sehingga lebih menekankan perhatian pada kondisi dengan konsekuensi terbesar dibandingkan hanya melihat nilai rata-rata. Dalam konteks penelitian ini, skenario *high demand* dapat dipahami sebagai kondisi dengan eksposur risiko operasional tertinggi karena menghasilkan nilai biaya, *overtime*, dan emisi paling besar. Oleh karena itu, hasil *trade-off analysis* memperkuat pandangan bahwa keputusan operasional tidak cukup hanya mempertimbangkan skenario rata-rata, tetapi juga perlu memperhatikan skenario dengan tekanan operasional tertinggi.

Penggunaan konsep CVaR juga relevan dalam konteks *supply chain* karena beberapa penelitian menggunakan CVaR untuk mengukur risiko keputusan rantai pasok di bawah ketidakpastian permintaan, biaya, maupun gangguan operasional. Misalnya, penelitian Zhu et al. (2020) menggunakan CVaR sebagai ukuran penilaian risiko dalam pengambilan keputusan ketika terdapat ketidakpastian *manufacturing yield* dan *market demand*. Studi lain pada Taghavi et al. (2024) juga menggunakan CVaR sebagai ukuran risiko untuk menggabungkan nilai ekspektasi dan risiko biaya dalam keputusan *supplier selection*, *order allocation*, dan *production scheduling* di bawah ketidakpastian gangguan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis risiko seperti CVaR dapat mendukung interpretasi hasil *trade-off*, khususnya ketika skenario dengan permintaan tinggi menimbulkan konsekuensi terbesar terhadap biaya, tenaga kerja, dan lingkungan.

Tabel 5. 2 Interpretasi *Trade-off* per Skenario

Skenario	Karakteristik Utama	Dampak Ekonomi	Dampak Sosial	Dampak Lingkungan	Interpretasi <i>Trade-off</i>
<i>Low demand</i>	Volume permintaan rendah	Biaya terendah	Overtime terendah	Emisi terendah	Beban rendah, tetapi utilisasi

Skenario	Karakteristik Utama	Dampak Ekonomi	Dampak Sosial	Dampak Lingkungan	Interpretasi <i>Trade-off</i>
<i>Normal demand</i>	Volume permintaan rata-rata	Biaya menengah	Overtime menengah	Emisi menengah	kapasitas belum maksimal Kondisi relatif seimbang, tetapi kapasitas tenaga kerja tetap perlu diperhatikan
<i>High demand</i>	Volume permintaan tinggi	Biaya tertinggi	Overtime tertinggi	Emisi tertinggi	Layanan tinggi, tetapi tekanan operasional dan lingkungan meningkat

Dengan demikian, analisis *trade-off* menunjukkan bahwa perusahaan perlu melihat performa *supply chain* secara multidimensi. Keputusan operasional tidak cukup hanya didasarkan pada tingkat layanan atau biaya, tetapi juga perlu mempertimbangkan dampaknya terhadap kapasitas tenaga kerja dan lingkungan. Hasil interpretasi pada Tabel 5.2 menunjukkan bahwa skenario *low demand* memiliki beban operasional terendah, tetapi utilisasi kapasitas belum maksimal; skenario *normal demand* berada pada kondisi relatif seimbang; sedangkan skenario *high demand* memberikan volume layanan lebih besar, tetapi disertai tekanan biaya, tenaga kerja, dan emisi yang paling tinggi. Oleh karena itu, hasil *trade-off analysis* dapat digunakan sebagai dasar penyusunan *managerial insight* yang tidak hanya berorientasi pada pemenuhan permintaan, tetapi juga mempertimbangkan risiko operasional, kapasitas sistem, dan keberlanjutan *supply chain*.

5.4 Managerial Insight

Berdasarkan hasil ringkasan KPI dashboard, pembentukan *knowledge*, dan analisis *trade-off*, diperoleh beberapa *managerial insight* yang dapat digunakan sebagai pertimbangan manajemen dalam memahami performa *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI). *Managerial insight* pada penelitian ini tidak dimaksudkan sebagai hasil optimasi atau rekomendasi keputusan final, melainkan sebagai arahan analitis yang dapat membantu perusahaan memahami konsekuensi operasional dari setiap skenario permintaan.

5.4.1 Pemantauan *Service Level* Perlu Dikombinasikan dengan Indikator Operasional

Hasil *dashboard* menunjukkan bahwa nilai *fill rate* berada pada angka 0,95 atau 95% pada seluruh skenario permintaan. Nilai tersebut terjadi karena perhitungan pemenuhan permintaan mengacu pada parameter *service level* yang digunakan dalam data penelitian. Dengan

demikian, stabilitas *fill rate* tidak secara langsung menunjukkan bahwa kondisi operasional pada setiap skenario memiliki beban yang sama. Ketika *demand* meningkat, indikator lain seperti total *supply chain cost*, overtime hours, dan *transport emission* juga mengalami peningkatan.

Insight yang diperoleh adalah bahwa *service level* tidak dapat dijadikan satu-satunya indikator dalam menilai performa supply chain. Nilai *fill rate* yang stabil belum tentu menunjukkan bahwa sistem berada pada kondisi operasional yang ringan atau efisien. Pada skenario *high demand*, *fill rate* tetap berada pada 95%, tetapi pencapaian tingkat layanan tersebut terjadi pada volume permintaan yang lebih besar, sehingga menimbulkan konsekuensi berupa peningkatan biaya, kebutuhan lembur, dan emisi transportasi.

Dengan demikian, manajemen perlu membaca indikator layanan secara bersamaan dengan indikator ekonomi, sosial, dan lingkungan. *Dashboard Business Intelligence* dapat digunakan sebagai alat pemantauan multidimensi agar perusahaan tidak hanya berfokus pada tingkat pemenuhan permintaan, tetapi juga memahami beban operasional yang muncul di balik pencapaian *service level* tersebut.

5.4.2 Pengendalian Biaya Perlu Berfokus pada Komponen *Production Cost*

Hasil aspek ekonomi menunjukkan bahwa *production cost* menjadi komponen biaya terbesar pada seluruh skenario permintaan. Hal ini menunjukkan bahwa total biaya *supply chain* lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas produksi dibandingkan komponen biaya lainnya.

Insight yang diperoleh adalah bahwa upaya pengendalian biaya tidak cukup hanya diarahkan pada biaya transportasi, biaya pemesanan, atau biaya penyimpanan. Karena *production cost* menjadi *cost driver* utama, maka perubahan kecil pada efisiensi produksi dapat berdampak besar terhadap *total biaya supply chain*.

Dengan demikian, manajemen dapat menggunakan informasi ini untuk memberikan perhatian lebih pada efisiensi proses produksi, pengendalian *scrap*, penggunaan kapasitas produksi, dan produktivitas tenaga kerja. Dalam konteks VMI, pengendalian biaya produksi menjadi penting karena *supplier* memiliki peran utama dalam menjaga ketersediaan produk bagi *retailer*.

5.4.3 Kapasitas Tenaga Kerja Perlu Menjadi Indikator Peringatan Dini

Hasil aspek sosial menunjukkan bahwa *total labour hours* melebihi *effective working time* pada seluruh skenario permintaan. Bahkan pada skenario *low demand*, masih terdapat overtime hours.

Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas tenaga kerja menjadi salah satu titik tekanan utama dalam sistem *supply chain*.

Insight yang diperoleh adalah bahwa peningkatan demand tidak hanya memengaruhi inventory dan distribusi, tetapi juga secara langsung memengaruhi kebutuhan kapasitas tenaga kerja. Jika kondisi ini tidak terpantau, peningkatan demand dapat menyebabkan ketergantungan terhadap lembur yang semakin besar.

Dengan demikian, indikator seperti FTE, *overtime hours*, dan *overtime ratio* perlu digunakan sebagai indikator peringatan dini bagi manajemen. Ketika nilai FTE dan overtime ratio mulai meningkat, perusahaan dapat mempertimbangkan penyesuaian kapasitas kerja, pengaturan jadwal, atau pembagian beban kerja sebelum tekanan operasional semakin tinggi.

5.4.4 Pemantauan Emisi Perlu Dilakukan dari Sisi Total Emisi dan Intensitas Emisi

Hasil aspek lingkungan menunjukkan bahwa *transport emission* meningkat seiring dengan peningkatan demand. Namun, nilai emission per unit relative tetap pada seluruh skenario. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan total emisi lebih dipengaruhi oleh meningkatnya volume distribusi, bukan oleh memburuknya entitas emisi per unit.

Insight yang diperoleh adalah bahwa manajemen perlu membedakan antara total emisi dan intensitas emisi. Total emisi menunjukkan besarnya dampak lingkungan secara keseluruhan, sedangkan *emission per unit* menunjukkan tingkat efisiensi emisi per unit produk yang didistribusikan.

Dengan demikian, ketika demand meningkat, perusahaan tidak hanya perlu memantau kenaikan total emisi, tetapi juga memastikan bahwa *emission per unit* tetap terkendali. Dashboard lingkungan dapat digunakan untuk mengamati apakah kenaikan emisi disebabkan oleh peningkatan volume distribusi atau oleh penurunan efisiensi distribusi.

5.4.5 Analisis Trade-off Perlu Dibaca Bersama Konteks Utilisasi Kapasitas

Hasil *trade-off analysis* menunjukkan bahwa skenario *low demand* memiliki nilai biaya, *overtime*, dan emisi terendah. Namun, kondisi ini tidak selalu berarti bahwa skenario tersebut merupakan kondisi operasional terbaik secara keseluruhan. Rendahnya beban biaya, tenaga kerja, dan lingkungan dapat terjadi karena volume permintaan yang rendah, sehingga pemanfaatan kapasitas operasional juga belum maksimal.

Insight yang diperoleh adalah bahwa hasil *trade-off* perlu dibaca bersama konteks utilisasi kapasitas dan volume pelayanan. Skenario dengan beban terendah dapat memberikan efisiensi

dari sisi biaya dan lingkungan, tetapi belum tentu mencerminkan kondisi bisnis yang paling produktif.

Dengan demikian, manajemen perlu menggunakan *trade-off analysis* sebagai alat untuk memahami konsekuensi antar aspek, bukan sebagai satu-satunya dasar untuk menentukan skenario terbaik. Hasil *trade-off* sebaiknya dikombinasikan dengan pertimbangan demand, kapasitas, dan tujuan operasional perusahaan.

5.5 Implikasi Manajerial Berbasis Wisdom

Implikasi manajerial berbasis *wisdom* merupakan tahap akhir dari pendekatan DIKW, yaitu penerjemahan *knowledge* dan *managerial insight* menjadi pertimbangan tindakan yang dapat digunakan oleh perusahaan. Pada penelitian ini, implikasi yang diberikan bersifat terbatas karena penelitian tidak melakukan optimasi matematis, perancangan algoritma *inventory*, maupun penentuan kebijakan operasional final. Oleh karena itu, implikasi manajerial pada subbab ini disusun sebagai arahan analitis yang dapat dipertimbangkan perusahaan dalam mengelola *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI).

5.5.1 Penetapan Ambang Batas Operasional dalam Pengendalian Service Level

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *fill rate* dan *stockout rate* tetap stabil pada seluruh skenario permintaan, yaitu *fill rate* sebesar 95% dan *stockout rate* sebesar 5%. Namun, stabilitas indikator layanan tersebut tidak menunjukkan bahwa kondisi operasional pada setiap skenario juga stabil. Pada skenario *high demand*, peningkatan volume permintaan menyebabkan kenaikan total supply chain cost, *overtime hours*, dan *transport emission*. Dengan demikian, setelah *dashboard* Business Intelligence dibangun, perusahaan tidak cukup hanya menggunakannya untuk melihat capaian *service level*, tetapi perlu menggunakannya sebagai dasar dalam menetapkan batas kendali operasional.

Implikasi manajerial yang dapat dilakukan adalah menetapkan ambang batas atau threshold untuk indikator operasional yang berhubungan dengan pencapaian *service level*. Misalnya, perusahaan dapat menentukan batas maksimum *total supply chain cost*, batas maksimum *overtime hours*, dan batas maksimum *transport emission* yang masih dapat diterima ketika *fill rate* dipertahankan pada tingkat 95%. Apabila *dashboard* menunjukkan bahwa pencapaian *service level* mulai menyebabkan biaya, lembur, atau emisi melebihi batas yang telah ditentukan, maka manajemen perlu melakukan evaluasi terhadap strategi pemenuhan permintaan, alokasi pengiriman, kapasitas tenaga kerja, atau pola distribusi.

Implikasi ini sejalan dengan Gunasekaran et al. (2004), yang menekankan bahwa pengukuran performa supply chain perlu dilakukan secara multidimensi karena performa supply chain tidak hanya dilihat dari satu indikator, tetapi juga dari hubungan antara biaya, layanan, proses, dan aspek operasional lainnya. Selain itu, studi Nabil et al. (2023) menunjukkan bahwa dashboard Microsoft Power BI dapat meningkatkan visibilitas dan mendukung pengambilan keputusan melalui penyajian KPI secara real-time dan terstruktur. Berdasarkan hal tersebut, hasil dashboard dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar tindakan manajerial, bukan hanya sebagai alat pelaporan.

Dengan demikian, tindakan yang dapat dilakukan perusahaan setelah dashboard diterapkan adalah menggunakan hasil *dashboard* untuk menentukan batas toleransi operasional dalam pencapaian *service level*. Perusahaan perlu memastikan bahwa upaya mempertahankan fill rate sebesar 95% tidak menimbulkan konsekuensi operasional yang berlebihan dari sisi biaya, tenaga kerja, maupun emisi transportasi. Melalui pendekatan ini, manajemen dapat mengambil keputusan yang lebih terkendali, yaitu mempertahankan tingkat layanan pelanggan sekaligus menjaga efisiensi biaya, kapasitas kerja, dan dampak lingkungan.

5.5.2 Penetapan *Early Warning Indicator* untuk Kondisi Demand Tinggi

Berdasarkan hasil analisis, skenario *high demand* menghasilkan peningkatan paling besar pada *total supply chain cost*, *overtime hours*, dan *transport emission*. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan demand dapat menjadi pemicu tekanan operasional pada beberapa aspek secara bersamaan.

Implikasi ini didukung oleh literatur mengenai *supply chain planning* dan ketidakpastian permintaan. Studi Sengupta et al. (2025) menjelaskan bahwa perencanaan *supply chain* perlu mampu merespons ketidakpastian agar sistem tidak hanya berorientasi pada stabilitas, tetapi juga adaptif terhadap perubahan kondisi operasional. Selain itu, laporan RAND yang ditulis oleh Martin (2024) mengenai ketidakpastian *supply chain* menekankan bahwa transparansi dan koordinasi menjadi faktor penting dalam mengelola kerentanan dan respons terhadap perubahan atau tekanan dalam sistem *supply chain*.

Dengan demikian, perusahaan dapat mempertimbangkan penetapan *early warning indicator* ketika demand mulai mendekati karakteristik skenario *normal demand* atau *high demand*. Indikator peringatan dini dapat menggunakan kombinasi KPI seperti *total demand*, FTE, *overtime ratio*, *total supply chain cost*, dan *transport emission*. Apabila indikator tersebut

melewati batas tertentu, perusahaan dapat melakukan peninjauan kapasitas, jadwal distribusi, atau kebutuhan tenaga kerja sebelum tekanan operasional meningkat lebih besar.

5.5.3 Penguatan Pengendalian Biaya pada Aktivitas Produksi

Hasil analisis menunjukkan bahwa *production cost* menjadi komponen biaya terbesar dalam *total supply chain cost*. Hal ini menunjukkan bahwa biaya produksi memiliki pengaruh dominan terhadap performa ekonomi sistem *supply chain*. Oleh karena itu, pengendalian biaya produksi menjadi area penting yang perlu diperhatikan dalam implementasi VMI.

Implikasi ini sejalan dengan konsep *cost management* dalam *supply chain*, yang menekankan bahwa pengelolaan biaya tidak hanya berfokus pada nilai total biaya, tetapi juga pada struktur biaya dan perilaku biaya yang membentuk keseluruhan performa perusahaan (Taschner & Charifzadeh, 2023). Literatur Ellram & Tate (2020) juga menjelaskan bahwa pengelolaan biaya dalam *supply chain* perlu dilakukan secara holistik dengan mempertimbangkan sumber-sumber biaya utama dalam proses bisnis.

Dengan demikian, perusahaan dapat mempertimbangkan pemantauan lebih rinci terhadap biaya produksi per produk, efisiensi proses produksi, dan tingkat *scrap*. Dashboard ekonomi dapat digunakan untuk mengidentifikasi produk atau kondisi demand yang memberikan kontribusi biaya terbesar. Dengan demikian, upaya pengendalian biaya dapat diarahkan pada aktivitas yang paling berpengaruh terhadap *total supply chain cost*.

5.5.4 Perencanaan Kapasitas Tenaga Kerja yang Lebih Fleksibel

Hasil analisis aspek sosial menunjukkan bahwa kebutuhan jam kerja melebihi *effective working time* pada seluruh skenario permintaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas tenaga kerja menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam implementasi VMI, terutama ketika demand meningkat.

Implikasi ini didukung oleh studi Heuser et al. (2022) mengenai *workforce planning* dalam sistem produksi yang menunjukkan bahwa volatilitas permintaan memiliki pengaruh terhadap kebutuhan kapasitas tenaga kerja dan strategi penjadwalan. Studi tersebut menjelaskan bahwa strategi tenaga kerja perlu mempertimbangkan kondisi permintaan dan kapasitas agar sistem dapat merespons perubahan kebutuhan operasional. Selain itu, penelitian Fazil Pac et al. (2009) menjelaskan bahwa pada lingkungan manufaktur dengan demand yang tidak stabil, manajemen inventory dapat dikaitkan dengan penyesuaian kapasitas secara dinamis untuk menghadapi fluktuasi permintaan.

Dengan demikian, perusahaan dapat mempertimbangkan perencanaan kapasitas tenaga kerja yang lebih fleksibel. Bentuk tindakan yang dapat dipertimbangkan antara lain penyesuaian jadwal kerja, pengaturan *shift*, pemerataan beban kerja, atau penggunaan tenaga kerja tambahan sementara pada periode demand tinggi. Dengan adanya informasi FTE dan *overtime ratio* pada dashboard, perusahaan dapat memantau kapan kapasitas tenaga kerja mulai mendekati kondisi *overload*.

5.5.5 Pengendalian Emisi melalui Pengelolaan Distribusi

Hasil trade-off analysis menunjukkan bahwa setiap skenario permintaan memiliki konsekuensi yang berbeda terhadap biaya, tenaga kerja, dan emisi. Skenario low demand menghasilkan beban operasional yang lebih rendah, sedangkan skenario high demand mampu menghasilkan volume layanan yang lebih besar, tetapi diikuti peningkatan total supply chain cost, overtime hours, dan transport emission. Oleh karena itu, hasil trade-off tidak hanya digunakan untuk membandingkan skenario, tetapi juga sebagai dasar untuk menentukan prioritas operasional perusahaan. Implikasi ini sejalan dengan kerangka pengukuran emisi logistik yang menggunakan aktivitas transportasi sebagai dasar perhitungan emisi. OECD (2023) menjelaskan bahwa pengukuran emisi logistik dapat digunakan untuk meningkatkan transparansi dan efisiensi dalam *supply chain*. Selain itu, Klein et al. (2020) menjelaskan bahwa satuan *tonne-kilometre* menghubungkan emisi dengan performa transportasi berdasarkan berat muatan dan jarak pengiriman. Dengan demikian, pengelolaan distribusi seperti rute, jarak, muatan, dan frekuensi pengiriman menjadi relevan dalam pengendalian emisi transportasi.

Dengan demikian, perusahaan dapat mempertimbangkan pengelolaan aktivitas distribusi agar peningkatan demand tidak menyebabkan kenaikan emisi yang tidak terkendali. Perusahaan dapat mempertimbangkan konsolidasi pengiriman, pengaturan frekuensi distribusi, pemilihan rute yang lebih efisien, atau pemantauan emisi berdasarkan retailer dan produk. Dengan demikian, perusahaan tidak hanya memantau total emisi, tetapi juga menjaga agar intensitas emisi per unit tetap terkendali.

5.5.6 Penetapan Prioritas Operasional Berdasarkan Hasil Trade-off Analysis

Hasil *trade-off analysis* menunjukkan bahwa setiap skenario permintaan memiliki konsekuensi yang berbeda terhadap biaya, tenaga kerja, dan emisi. Skenario *low demand* menghasilkan beban operasional yang lebih rendah, sedangkan skenario *high demand* mampu menghasilkan volume layanan yang lebih besar, tetapi diikuti peningkatan *total supply chain cost*, *overtime hours*, dan *transport emission*. Oleh karena itu, hasil *trade-off* tidak hanya digunakan untuk

membandingkan skenario, tetapi juga sebagai dasar untuk menentukan prioritas operasional perusahaan.

Implikasi manajerial yang dapat dilakukan adalah menetapkan aturan pengambilan keputusan berbasis trade-off. Apabila perusahaan memprioritaskan efisiensi biaya, maka skenario dengan *total supply chain cost* lebih rendah dapat menjadi acuan. Namun, apabila perusahaan memprioritaskan pemenuhan permintaan yang lebih tinggi, maka skenario *high demand* dapat dipertimbangkan selama peningkatan *overtime* dan emisi masih berada dalam batas toleransi. Dengan demikian, perusahaan perlu menentukan batas maksimum biaya, lembur, dan emisi yang masih dapat diterima sebelum memilih strategi operasional tertentu.

Implikasi ini sejalan dengan konsep sustainable supply chain management yang menekankan pentingnya mempertimbangkan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan secara bersamaan dalam pengambilan keputusan supply chain. Dengan menggunakan hasil trade-off analysis, manajemen dapat mengambil keputusan yang lebih terarah, yaitu memilih skenario operasional bukan hanya berdasarkan satu indikator terbaik, tetapi berdasarkan keseimbangan antara pemenuhan permintaan, efisiensi biaya, kapasitas tenaga kerja, dan dampak lingkungan.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis *service performance* pada sistem *supply chain* berbasis *Vendor Managed Inventory* (VMI), dengan *fill rate* pada seluruh skenario permintaan berada pada angka 0,95 atau 95%, sedangkan nilai *stockout rate* berada pada angka 0,05 atau 5%. Diketahui untuk nilai *fulfilled demand* dan *unmet demand* pada skenario *low demand* secara berturut-turut adalah, 4,58K unit dan 240,86 unit dengan total demand 4,82 . Pada skenario *normal demand*, total permintaan sebesar 7,33K unit dengan *fulfilled demand* sebesar 6,96K unit dan *unmet demand* sebesar 366,39 unit. Pada skenario *high demand*, total permintaan sebesar 9,85K unit dengan *fulfilled demand* sebesar 9,35K unit dan *unmet demand* sebesar 492,26 unit.

Berdasarkan hasil analisis indikator kinerja aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan, diketahui bahwa perubahan skenario permintaan memengaruhi nilai KPI pada masing-masing aspek. Pada aspek ekonomi, *total supply chain cost* meningkat dari Rp3,37 miliar pada skenario *low demand*, menjadi Rp5,09 miliar pada skenario *normal demand*, dan Rp6,82 miliar pada skenario *high demand*. Pada aspek sosial, nilai *Full Time Equivalent* (FTE) meningkat dari 1,18 pada skenario *low demand*, menjadi 1,76 pada skenario *normal demand*, dan 2,35 pada skenario *high demand*. Nilai *overtime ratio* juga meningkat dari 0,18 menjadi 0,76 dan 1,35 pada masing-masing skenario. Pada aspek lingkungan, *transport emission* meningkat dari 55,31 kgCO₂ pada skenario *low demand*, menjadi 81,67 kgCO₂ pada skenario *normal demand*, dan 108,11 kgCO₂ pada skenario *high demand*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi skenario permintaan, semakin besar pula biaya *supply chain*, kebutuhan kapasitas tenaga kerja, dan emisi transportasi yang dihasilkan.

Berdasarkan hasil analisis *trade-off*, diketahui bahwa aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan memiliki hubungan yang searah terhadap perubahan skenario permintaan. Peningkatan *demand* menyebabkan peningkatan *total supply chain cost*, *overtime hours*, dan *transport emission* secara bersamaan. Skenario *low demand* menghasilkan beban operasional terendah dari sisi biaya, tenaga kerja, dan emisi, tetapi memiliki volume pemenuhan permintaan yang lebih rendah. Sebaliknya, skenario *high demand* menghasilkan volume pelayanan tertinggi, namun disertai tekanan operasional terbesar berupa peningkatan biaya, kebutuhan tenaga kerja, dan emisi transportasi. Temuan ini sejalan dengan konsep CVaR yang menekankan pentingnya

memperhatikan kondisi dengan konsekuensi risiko tertinggi, sehingga skenario *high demand* dapat dipahami sebagai kondisi dengan eksposur risiko operasional paling besar. Dengan demikian, hubungan *trade-off* pada sistem *supply chain* berbasis VMI menunjukkan bahwa peningkatan pemenuhan permintaan perlu dianalisis bersama konsekuensi ekonomi, sosial, dan lingkungan agar perusahaan dapat memahami dampak serta risiko operasional dari setiap skenario permintaan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat menghitung fill rate dan stockout rate untuk melihat secara langsung dengan pemenuhan kapasitas yang diinginkan berapa fill rate dan stockout rate yang dihasilkan, sehingga dapat melihat performa VMI dari segi service level.
2. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan analisis *supply chain* berbasis VMI dengan metode optimasi matematis. Hal ini dapat digunakan untuk menentukan kebijakan operasional yang lebih spesifik, seperti jumlah pengiriman, alokasi produk, kapasitas persediaan, atau jadwal distribusi, sehingga penelitian tidak hanya berhenti pada analisis performa tetapi juga menghasilkan usulan keputusan operasional.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengombinasikan simulasi Monte Carlo dengan metode *forecasting* permintaan. Pada penelitian ini, skenario permintaan dibentuk berdasarkan distribusi normal dari nilai *mean demand* dan *standard deviation*. Penggunaan metode *forecasting* dapat membantu menangkap pola tren, musiman, dan fluktuasi permintaan secara lebih mendalam.
4. Penelitian selanjutnya dapat memperluas analisis lingkungan menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Pada penelitian ini, aspek lingkungan masih dibatasi pada *transport emission* dan *carbon cost*. Dengan pendekatan LCA, dampak lingkungan dapat dianalisis secara lebih menyeluruh mulai dari produksi, penyimpanan, distribusi, hingga akhir siklus hidup produk.
5. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan dashboard *Business Intelligence* dengan fitur analitik lanjutan seperti *what-if analysis*, *predictive analytics*, atau integrasi data secara *real-time*. Pengembangan ini dapat memperluas fungsi dashboard dari alat visualisasi menjadi alat bantu analisis dan pengambilan keputusan yang lebih adaptif.

6. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan analisis *trade-off* menggunakan metode *multi-criteria decision making* (MCDM), seperti AHP, TOPSIS, VIKOR, atau PROMETHEE. Metode tersebut dapat digunakan untuk memberikan bobot pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan sehingga perbandingan skenario dapat dilakukan secara lebih terstruktur sesuai prioritas pengambilan keputusan.

DAFTAR PUSTAKA

- Absi, N., Dauzère-Pérès, S., Kedad-Sidhoum, S., Penz, B., & Rapine, C. (2013). Lot sizing with carbon emission constraints. *European Journal of Operational Research*, 227(1), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.11.044>
- Adirektawon, S., Theeraroungchaisri, A., & Sakulbumrungsil, R. C. (2024). Efficiency of Inventory in Thai Hospitals: Comparing Traditional and Vendor-Managed Inventory Systems. *Logistics*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/logistics8030089>
- Ahmad, I., Rahmanto, Y., & Borman, R. I. (2023). *Business Intelligence* (R. I. Riskiono, Ed.). Universitas Teknokrat Indonesia.
- Alfin, M., Farih, A., Ernawati, D., Program,), Teknik, S., Fakultas, I., Universitas, T., Veteran, P. N., Timur, J., Rungkut, J., & Surabaya, M. (2020). Pengurangan Bullwhip Effect Menggunakan Metode Vendor Managed Inventory (Vmi) Pada Supply Chain Di PT. XYZ. In *Juminten : Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi* (Vol. 01, Number 02).
- Antarariq, T. M. D., & Fitria, L. (2022). *Usulan Pengurangan Bullwhip Effect Menggunakan Metode Vendor Managed Inventory pada Distributor PT EWINDO* (Number 1).
- APICS. (2016). *Supply Chain Sustainability Uncovering The Triple Bottom Line*.
- Arvyanda, R., Fernandito, E., & Landung, P. (2023). *Analisis Pengaruh Perbedaan Bahasa dalam Komunikasi Antarmahasiswa*. 1(1). <http://stipram.co.id>
- Assauri, S. (2005). *Pengantar Manajemen Keuangan*.
- Auronen, S. (2025). *Improvement of performance measurement in supply chain management: case study from forest industry*.
- Azhar, Z., Dan, Y., & Ariyanti, S. (2018). Analisis Beban Kerja Pada Maintenance Bd-Check Dengan Metode Full Time Equivalent. In *Jurnal Ilmiah Teknik Industri* (Vol. 6, Number 1).
- Babiloni, E., & Guijarro, E. (2020). Fill Rate: from its definition to its calculation for the continuous (s, Q) inventory system with discrete demands and lost sales. *Central European Journal of Operations Research*, 28, 35–43.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2025, November 5). *Ekonomi Indonesia Triwulan III-2025 Tumbuh 5,04 Persen (Y-on-Y)*. Badan Pusat Statistik (BPS). <https://www.bps.go.id/id/pressrelease/2025/11/05/2478/ekonomi-indonesia-triwulan-iii-2025-tumbuh-5-04-persen--y-on-y-.html>
- Badi, I., Demir, G., Bouraima, M. B., & Maraka, A. K. (2025). Vendor Managed Inventory in Practice: Efficient Scheduling and Delivery Optimization. *Spectrum of Decision Making and Applications*, 2(1), 157–165. <https://doi.org/10.31181/sdmap21202515>
- Bai, B., Li, B., & Jia, X. (2025). The impacts of stockout cost on a stochastic production-inventory system in minimizing total cost conditional value-at-risk. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 37(3), 943–978. <https://doi.org/10.1007/s10696-024-09562-w>
- Banu, S., & Vimala, V. (2024). Economic and Environmental Trade-offs in Sustainable Business Practices. *9th International Conference on Economic Growth and Sustainable Development- Emerging Trends*.
- Belvardi, G. (2012). Monte Carlo Simulation Based Performance Analysis of Supply Chains. *International Journal of Managing Value and Supply Chains*, 3(2), 1–15. <https://doi.org/10.5121/ijmvsc.2012.3201>

- Berling, P., Johansson, L., & Marklund, J. (2023). Controlling inventories in omni/multi-channel distribution systems with variable customer order-sizes. *Omega (United Kingdom)*, 114. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102745>
- Bhowmik, O., & Parvez, S. (2024). Supply chain network design: an MILP and Monte Carlo simulation approach. *Brazilian Journal of Operations and Production Management*, 21(1). <https://doi.org/10.14488/BJOPM.1936.2024>
- Bokade, I., Hirve, S. A., Gade, V., Wagh, J., & Ingale, S. (2025). A graph-based monte Carlo framework for multi-tier supply chain disruption Analysis. *International Journal of Science and Research Archive*, 17(2), 501–508. <https://doi.org/10.30574/ijrsra.2025.17.2.3015>
- Brennan, G., & Tennant, M. (2017). Sustainable value and trade-offs: exploring situational logics and power relations in a UK brewery's malt supply network business model. *Business Strategy & Environment – Special Issue Delivering Sustainability in Supply Networks*.
- Brown, L. (2024). Enhancing Data Presentation through Interactive Graphs in Excel. *Journal of Educational Technology*, 15(3), 123–135.
- Budi, S., & Wulandari, F. C. (2021). Analisis Pengelolaan Persediaan Barang Dagang pada Perusahaan Herbal (Studi Empiris Pada PT. Natural Indah Perkasa). *Jurnal Penelitian Implementasi Akuntansi*.
- Caputo, F., Palazzo, G., & Ligorio, L. (2025). Business Intelligence in Supply Chain Management: Insights for Performance and Sustainability. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. <https://doi.org/10.1002/csr.70239>
- Casetra, J., & Kimball, R. (2004). *The Data Warehouse ETL Toolkit* (K. A. Malm, M. Bednarek, A. O. Tulton, & P. Hanley, Eds.). Wiley Publishing, Inc.
- Cimino, A., Curcio, D., Mirabelli, G., & Papoff, E. (2008). *WAREHOUSE INVENTORY MANAGEMENT BASED ON FILL RATE ANALYSIS*.
- Connolly, T. M. ., & Begg, C. E. . (2015). *Database systems : a practical approach to design, implementation and management*. Pearson Education Limited.
- Dalulia, P., Chandra, G. A., Fajar, A., Putra, P., & Erliana, K. (2025). *Usulan Kriteria Penilaian Kesiapan Penerapan Vendor Managed Inventory (Vmi) Pada Material Kayu Dalam Upaya Minimasi Stockout Dan Over Inventory*. 3(1). <https://journal.lenvari.org/index.php/jieti>
- Darudiato, S. (2010). Perancangan Data Warehouse Penjualan Untuk Mendukung Kebutuhan Informasi Eksekutif Cemerlang Skin Care. *Seminar Nasional Informatika*.
- Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199–215. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00110-5](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00110-5)
- Domínguez-Caamaño, P., García-Arca, J., Fernandez-González, A. J., & Prado-Prado, J. C. (2017). *Transport KPIs for Supply Chain Improvement. A Literature Analysis* (pp. 251–258). https://doi.org/10.1007/978-3-319-45748-2_27
- Dossou, P. E., Alvarez-de-los-Mozos, E., & Pawlewski, P. (2024). A Conceptual Framework for Optimizing Performance in Sustainable Supply Chain Management and Digital Transformation towards Industry 5.0. *Mathematics*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/math12172737>
- Dosunmu, O. F., Adeoye, A. H., Ukonu, P. A., Offo, C. G., Izuchukwu, A. E., & Akadiri, O. O. (2025). A Comparative Study Of Data Visualisation Techniques For Effective

- Decision-Making In Business Intelligence. *Path of Science*, 11(8), 1058. <https://doi.org/10.22178/pos.121-45>
- Ellram, L. M., & Tate, W. L. (2020). Strategic Cost Management in the Supply Chain. In *The Oxford Handbook of Supply Chain Management* (pp. 489–505). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190066727.013.7>
- Fang, H., Fang, F., Hu, Q., & Wan, Y. (2022). Supply Chain Management: A Review and Bibliometric Analysis. In *Processes* (Vol. 10, Number 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/pr10091681>
- Fazil Pac, M., Alp, O., & Tan, T. (2009). *Integrated Workforce Capacity and Inventory Management Under Temporary Labor Supply Uncertainty*.
- Ferdous, J. (2025). Logistics Network Design for Sustainable Supply Chains: Evaluating Trade-Offs between Cost and Environmental Impact. *Journal of Management World*, 2025(3), 209–217. <https://doi.org/10.53935/jomw.v2024i4.1109>
- Gamme, N., & Johansson, M. (2015). *Measuring supply chain performance through KPI identification and evaluation*.
- Gobachew, A. M., & Haasis, H. D. (2023). Scenario-Based Optimization of Supply Chain Performance under Demand Uncertainty. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310603>
- Goedhart, J., Haijema, R., Akkerman, R., & de Leeuw, S. (2023). Replenishment and fulfilment decisions for stores in an omni-channel retail network. *European Journal of Operational Research*, 311(3), 1009–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.06.018>
- Gonzales-León, L. M., Salcedo-Portocarrero, N. P., & Quiroz-Flores, J. C. (2023). Inventory Management Model for Reducing Stockout rate by Applying Lean Warehousing and DDMRP Tools in a SMEs in the Commercial Sector. *13th International Workshop on Computer Science and Engineering, WCSE 2023*, 365–374. <https://doi.org/10.18178/wcse.2023.06.055>
- Gunasekaran, A., Patel, C., & McGaughey, R. E. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*, 87(3), 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2003.08.003>
- Gupta, A., Maranas, C. D., & McDonald, C. M. (2000). Mid-term supply chain planning under demand uncertainty: customer demand satisfaction and inventory management. *Computers & Chemical Engineering*, 24(12), 2613–2621. [https://doi.org/10.1016/S0098-1354\(00\)00617-7](https://doi.org/10.1016/S0098-1354(00)00617-7)
- Handayani, H., Faizah, K. U., Mutiara Ayulya, A., Rozan, M. F., & Wulan, D. (2023). Perancangan Sistem Informasi Inventory Barang Berbasis Web Menggunakan Metode Agile Software Development. *Jurnal Testing Dan Implementasi Sistem Informasi*, 1(1), 29–40.
- Heuser, P., Letmathe, P., & Schinner, M. (2022). Workforce planning in production with flexible or budgeted employee training and volatile demand. *Journal of Business Economics*, 92(7), 1093–1124. <https://doi.org/10.1007/s11573-022-01090-z>
- Humphrey, I. U., Obinna Franklyn, I., Oshobugie, I. I., Sarpong Abeyie, K., Adedokun, I., Olude, D. A., & Samuel, A. (2025). International Journal of Research Publication and Reviews Sustainable Energy Supply Chain Design: Economic Trade-offs and Engineering Solutions for Waste and Emission Reduction. In *International Journal of Research Publication and Reviews* (Vol. 6). www.ijrpr.com
- Izadi, A., & Kimiagari, A. M. (2014). Distribution network design under demand uncertainty using genetic algorithm and Monte Carlo simulation approach: a case

- study in pharmaceutical industry. *Journal of Industrial Engineering International*, 10(2). <https://doi.org/10.1007/s40092-014-0050-1>
- Jude Uchekukwu, A., & Darlington Arinze, E. (2024). *The Importance of KPI Monitoring and Feedback Mechanisms in Supply Chain Management for Continuous Optimisation*. <https://rijournals.com/current-issues-in-arts-and-management/>
- Kaynov, I., van Knippenberg, M., Menkovski, V., van Breemen, A., & van Jaarsveld, W. (2024). Deep Reinforcement Learning for One-Warehouse Multi-Retailer inventory management. *International Journal of Production Economics*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.109088>
- Khatun, A., Islam, S., Karmakar, R., & Garai, A. (2026). Sustainable economic policies for a VMI-CS-based closed-loop supply chain with quality control measures under the carbon cap-and-trade regulation. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100280>
- Klein, A., Hilster, D., Scholten, P., Van Wijngaarden, L., Tol, E., & Otten, M. (2020). *STREAM Freight Transport 2020 Emissions of freight transport modes* (Vol. 2). www.cedelft.eu
- Klosterhalfen, Steffen. T., Williems, S. P., & Dittmar, D. (2023). Safety stock placement in supply chains with expediting. *European Journal of Operational Research*, 307(2), 745–757.
- Klumpp, M. (2018). How to achieve supply chain sustainability efficiently? Taming the triple bottom line split business cycle. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). <https://doi.org/10.3390/su10020397>
- Kokroko, B. Y., Kobi, J., & Yeboah, E. K. (2025). Risk Assessment Models Identify Potential Supply Chain Disruptions Through Scenario Analysis Monte Carlo Simulation Predictive Analytics. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2765–2805. <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25oct1432>
- Kumar, K., & Kumar, A. (2025). Application of Optimization Models in Sustainable Supply Chain Management: A Systematic Review Based on PRISMA Guidelines. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 9(3), 763–790. <https://doi.org/10.1007/s41660-024-00455-x>
- Laurin, F., & Fantazy, K. (2017). Sustainable supply chain management: a case study at IKEA. *Transnational Corporations Review*, 9(4), 309–318. <https://doi.org/10.1080/19186444.2017.1401208>
- Leseure, M. (2016). *Strategic trade-offs and sustainable supply chains*.
- Lindsey, Groven, & Hirschey. (2020). *Scenario Planning Has Never Been More Important*. www.oliverwight-america.com
- Lotfi, R., MohajerAnsari, P., Sharifi Nevisi, M. M., Afshar, M., Reza Davoodi, S. M., & Ali, S. S. (2024). A viable supply chain by considering vendor-managed-inventory with a consignment stock policy and learning approach. *Results in Engineering*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101609>
- Lu, L. X., & Swaminathan, J. M. (2015). Supply Chain Management. In *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (pp. 709–713). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.73032-7>
- Macklin, B. (2024). *Business Intelligence in Supply Chain Management A Systematic Literature Review*.
- Maio, A. De, & Lagana, D. (2020). The effectiveness of Vendor Managed Inventory in the last-mile delivery: an industrial application. *Procedia Manufacturing* 42, 462–466.

- Maitra, S. (2023). *A Novel Approach with Monte-Carlo Simulation and Hybrid Optimization Approach for Inventory Management with Stochastic Demand*.
- Martin, B. Dean. (2024). *Supply chain uncertainty: building resilience in the face of impending threats*. RAND.
- Martins, P. (2020). Planning Production and Workforce in a Discrete-Time Financial Model Using Scenarios Modeling. *SN Operations Research Forum*, 1(4), 35. <https://doi.org/10.1007/s43069-020-00035-y>
- Mili, K. (2024). Optimizing Supply Chain Network Design under Uncertainty: A Practical Methodology for Sustainable Value Creation. *Journal of Ecohumanism*, 3(3), 1574–1586. <https://doi.org/10.62754/joe.v3i3.3330>
- Mithun Ali, S., & Nakade, K. (2014). Scenario-based Supply Chain Disruptions Management Framework-A Quantitative Approach. *Innovation and Supply Chain Management*, 8(3), 81–91. <https://doi.org/10.14327/iscm.8.81>
- Mochammad, T., Antarariq, D., & Fitria, L. (2022). *Usulan Pengurangan Bullwhip Effect Menggunakan Metode Vendor Managed Inventory pada Distributor PT EWINDO* (Number 1).
- Mohite, R., Chaurasiya, R., Rajawat, A. S., & Rodrigues, K. (2025). A Study Of Vendor-Managed Inventory (Vmi) And Cloud-Based Inventory Management Tools For Msmes In Boisar Midc Of Palghar District. In *JMDB* (Vol. 4, Number 2).
- Nabil, D. H., Rahman, M. H., Chowdhury, A. H., & Menezes, B. C. (2023). Managing supply chain performance using a real time Microsoft Power BI dashboard by action design research (ADR) method. *Cogent Engineering*, 10(2). <https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2257924>
- Octaviani, M. (2013). *Tinjauan Atas Metode Pencatatan Dan Penilaian Persediaan Barang Pada Direktorat Aerostructure PT. Dirgantara Indonesia (Persero)*. Diploma Iii Akuntansi, Universitas Widyatama Bandung.
- OECD. (2023). *Emissions Measurement in Supply Chains: Business Realities and Challenges*.
- Okay, N. C., Sencer, A., & Taskin, N. (2024). Quantitative indicators for environmental and social sustainability performance assessment of the supply chain. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05210-3>
- Pandensolang, F., Manoppo, F., & Sumendap, A. (2022). *Implementasi Business Intelligence Untuk Analisa dan Visualisasi Perbandingan Perencanaan dan Realisasi Anggaran pada BNNP Sulawesi Utara*. 1(OSF Preprint), 1–8.
- Phadnis, S. S., & Darkow, I.-L. (2020). *Scenario planning as a strategy process to foster supply chain adaptability: theoretical framework and longitudinal case*.
- Phong, H. T., & Yenradee, P. (2020). Vendor managed inventory for multi-vendor single-manufacturer supply chain: A case study of instant noodle industry. *Engineering Journal*, 24(6), 91–107. <https://doi.org/10.4186/ej.2020.24.6.91>
- Purnasari, E. (2025). *Pengaruh Business Intelligence, Vendor Managed Inventory, Organizational Learning Capability terhadap Operation Performance: Conceptual Framework*. <https://jurnal.smartindo.org/index.php/ekobil>
- Rahmawati, A. (2022). *Modul Ajar Mata Kuliah Visualisasi Data*.
- Rajesh, R. (2021). Optimal trade-offs in decision-making for sustainability and resilience in manufacturing supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127596. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127596>
- Ramadhan, F. A., & Mansur, A. (2025). *Optimization Of Integrated Material Procurement Processes in The Vendor Managed Inventory (VMI) System*. 22(2), 355–364.

- Saeed, M. A., & Kersten, W. (2020). Supply chain sustainability performance indicators- A systematic literature review. In *Logistics Research* (Vol. 13, Number 1, pp. 1–19). Bundesvereinigung Logistik (BVL). https://doi.org/10.23773/2020_6
- Salas-Navarro, K., Florez, W. F., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2024). A vendor-managed inventory model for a three-layer supply chain considering exponential demand, imperfect system, and remanufacturing. *Annals of Operations Research*, 332(1–3), 329–371. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05793-6>
- Salas-Navarro, K., Rojano-Flores, M., Salcedo-Villanueva, V., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2025). An Analytical Review of Vendor-Managed Inventory Models in Sustainable Supply Chains. *Supply Chain Analytics*, 100189. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2025.100189>
- Sengupta, S., Jonsson, P., Dreyer, H., Kaipia, R., & Choi, T. Y. (2025). Uncertainty regulation and adaptable supply chain planning. *International Journal of Operations and Production Management*, 45(11), 1861–1883. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-07-2025-0645>
- Senol, A., Bakhsh, A. A., & Elshennawy, A. K. (2021). Review of supply chain metrics to support performance excellence. *Journal of Management and Engineering Integration*, 14(1), 90–104. <https://doi.org/10.62704/10057/24772>
- Shekarian, E., Ijadi, B., Zare, A., & Majava, J. (2022). Sustainable Supply Chain Management: A Comprehensive Systematic Review of Industrial Practices. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Number 13). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su14137892>
- Shen, L., Govindan, K., Borade, A. B., Diabat, A., & Kannan, D. (2013). An evaluation of vendor managed inventory practices from small and medium indian enterprises. *Journal of Business Economics and Management*, 14(SUPPL1). <https://doi.org/10.3846/16111699.2012.749805>
- Shukla, S., & Pillai, V. M. (2020). Stockout Prediction in Multi Echelon Supply Chain using Machine Learning Algorithms. *Proceedings of the 2nd Indian International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
- Simangunsong, E., Hendry, L. C., & Stevenson, M. (2012). Supply-chain uncertainty: a review and theoretical foundation for future research. *International Journal of Production Research*, 50(16), 4493–4523. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.613864>
- Simchi-Levi, David., Kaminsky, Philip., & Simchi-Levi, Edith. (2000). *Designing and managing the supply chain : concepts, strategies, and case studies*. Irwin/McGraw-Hill.
- Siregar, E. T., Alfina, O., Saputra, D. A., Ikorasaki, F., & Safii, M. (2025). Pelatihan Membuat Grafik Interaktif Dan Presentase Data Menarik Dengan Microsoft Excel Di Smk Tritech Indonesia. *Januari*, 2(1), 1–5.
- Smart Freight Centre. (2025). *Global Logistics Emissions Council (GLEC) Framework*.
- Sodhi, M. S., & Tang, C. S. (2012). *Stochastic Programming for Supply Chain Planning Under Demand Uncertainty* (pp. 259–277). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3238-8_15
- Sulianta, F. (2024). *Buku Visualisasi Data untuk Pemula*.
- Taghavi, S. M., Ghezavati, V., Mohammadi Bidhandi, H., & Mirzapour Al-e-Hashem, S. M. J. (2024). Sustainable and resilient supplier selection, order allocation, and production scheduling problem under disruption utilizing conditional value at risk.

- Journal of Modelling in Management*, 19(2), 658–692. <https://doi.org/10.1108/JM2-10-2022-0250>
- Tampubolon, A. D., & Harahap, A. M. (2025). *Sistem Informasi Persediaan Berbasis Web Pada Toko Baju Gelora Dengan Metode Vendor Managed Inventory (VMI)*. 7(3), 1345–1353.
- Taschner, A., & Charifzadeh, M. (2023). Cost Management in Supply Chains. In *Management Accounting in Supply Chains* (pp. 103–129). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-41300-2_5
- Turgay, S., Demir, R., & Kavacık, M. (2026). A Monte Carlo-based approach to demand forecasting and stochastic optimization in supply chains. *Supply Chain Analytics*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2026.100210>
- Turnea, E.-S. (2020). *The Using of Full Time Equivalent in Working Time Planning; Case Study*. 8(15).
- Tyrrell Rockafellar, R., & Uryasev, S. (2000). *Optimization of Conditional Value-at-Risk*. <http://www.gloriamundi.org/>.
- Undariyanto, W. (2023). Kelayakan Implementasi Vendor Managed Inventory Di PT Kereta Api Indonesia (Persero). *Jurnal Logistik Bisnis*, 13(1). <https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/logistik/>
- Undariyanto, W., & Bahagia, S. N. (2024). Kerangka Kerja Evaluasi Kesesuaian Implementasi Vendor Managed Inventory The Suitability Evaluation Framework of Vendor Managed Inventory Implementation. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 11(01). <https://journal.itltrisakti.ac.id/index.php/jmtranslog>
- Veeqo. (2020). *The Complete Guide To Inventory Management*.
- Waller, M., Johnson, M. E., & Davis, T. (1999). Vendor-managed inventory in the retail supply chain. *Journal of Business Logistics*, 20(1).
- Wijaya, R., & Pudjoatmodjo, B. (2016). Penerapan Extraction-Transformation-Loading (ETL) Dalam Data Warehouse (Studi Kasus : Departemen Pertanian). *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, 5(2).
- Xu, H., & Zhao, C. (2022). Supply Chain Management Practices Influence Supply Chain Performance With Mediation Role of Innovation and Moderation Role of Top Management Support. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.813828>
- Yang, J., Fan, D., & Li, C. (2025). Employee Overtime and Innovation Dilemma. *Journal of Business Ethics*, 200(3), 689–713. <https://doi.org/10.1007/s10551-024-05918-2>
- Yosefa, Sitompul, C., & Alfian. (2015). *Perancangan Model VMI (Vendor Managed Inventory) dengan Satu Pemasok dan Banyak Retailer yang Meminimasi Ongkos Total Rantai Pasok*. 5(2), 88–96.
- Zachariassen, F., de Haas, H., & Bürkland, S. (2014). Vendor managed inventory: Why you need to talk to your supplier. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 7(4), 831–856. <https://doi.org/10.3926/jiem.1195>
- Zadek, H., & Schulz, R. (2010). *Methods for the Calculation of CO2 Emissions in Logistics Activities* (pp. 263–268). https://doi.org/10.1007/978-3-642-12494-5_24
- Zhao, R. (2019). A Review on Theoretical Development of Vendor-Managed Inventory in Supply Chain. *American Journal of Industrial and Business Management*, 09(04), 999–1010. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2019.94068>

- Zhu, B., Wen, B., Ji, S., & Qiu, R. (2020). Coordinating a dual-channel supply chain with conditional value-at-risk under uncertainties of yield and demand. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106181. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106181>
- Zou, S., & Dortmund, T. U. (2025). Assessment of Supply Chain Designs Considering Uncertainty via a Monte Carlo Simulation. *Simulation in Produktion Und Logistik* 2025. <https://doi.org/10.25368/2025.233>

LAMPIRAN

A-DAX Perhitngan KPI

```

1 Unmet Demand =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (1 - (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100))
6 )

1 Fulfilled Demand =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100)
6 )

1 Fill Rate =
2 DIVIDE([Fulfilled Demand], [Total Demand])

1 Stockout Rate =
2 DIVIDE([Unmet Demand], [Total Demand])

1 FTE =
2 DIVIDE(
3     [Total Labour Hours],
4     [Effective Working Time],
5     0 )
6

1 Effective Working Time =
2 SUMX(
3     DISTINCT(SupplierParams[Supplier]),
4     CALCULATE(
5         MAX(SupplierParams[Working_days]) *
5         MAX(SupplierParams[Working_hours]) *
7         MAX(SupplierParams[Worker])
3     )
3 )

1 Overtime Ratio =
2 DIVIDE(
3     [Overtime Hours],
4     [Effective Working Time],
5     0
6 )

1 Overtime Hours =
2 MAX(
3     0,
4     [Total Labour Hours] - [Effective Working Time]
5 )

```

```

1 Cost - Production =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100) *
6     RELATED(ProductCost[AvgUnitCost])
7 )

1 ProductCost =
2 SUMMARIZE(
3     SupplierProduct,
4     SupplierProduct[Product],
5     "AvgUnitCost", AVERAGE(SupplierProduct[UnitProdCost_IDR])
6 )

1 Cost - Ordering =
2 [Param - VendorOrderCost_IDR_per_PO] +
3 [Param - Delivery Cost]

1 Cost - Scrap =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100) *
6     RELATED(Products[Weight_kg_per_unit]) *
7     RELATED(ProductParam[AvgScrapRate]) *
8     2500
9 )

1 Cost - Stockout =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (1 - (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100)) *
6     RELATED(RetailersCosts[StockoutPenalty_IDR_per_unit])
7 )

1 Cost - Transport =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100) *
6     RELATED(Products[Weight_kg_per_unit]) *
7     [Param - Transport Cost per Kg Km] *
8     RELATED(RetailerDistance[AvgDistance])
9 )

1 Cost - Holding =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100) / 2) *
6     RELATED(RetailersCosts[HoldingCost_IDR_per_unit_period])
7 )

```

```

1 ProductParam =
2 SUMMARIZE(
3     SupplierProduct,
4     SupplierProduct[Product],
5     "AvgScrapRate", AVERAGE(SupplierProduct[ScrapRate_at_Vendor])
6 )

1 RetailerDistance =
2 SUMMARIZE(
3     Distances,
4     Distances[Retailer],
5     "AvgDistance", AVERAGE(Distances[Distance_km])
6 )

1 Cost - Total Supply Chain =
2 [Cost - Production] +
3 [Cost - Holding] +
4 [Cost - Transport] +
5 [Cost - Scrap] +
6 [Cost - Stockout] +
7 [Cost - Ordering]

1 Cost per Unit =
2 DIVIDE([Cost - Total Supply Chain], [Total Demand])

1 Transport Emission =
2 SUMX(
3     DemandScenario,
4     DemandScenario[Demand] *
5     (RELATED(RetailersCosts[ServiceLevelTarget_%]) / 100) *
6     RELATED(Products[Weight_kg_per_unit]) / 1000 *
7     RELATED(RetailerDistance[AvgDistance]) *
8     0.062
9 )

1 Emission per Unit =
2 DIVIDE([Transport Emission], [Total Demand])

1 Carbon Cost =
2 DIVIDE([Transport Emission], 1000, 0) * 100000

1 Cost Index =
2 VAR MinCost =
3     MINX(
4         ALL(DemandScenario[Scenario]),
5         [Cost - Total Supply Chain]
6     )
7 VAR MaxCost =
8     MAXX(
9         ALL(DemandScenario[Scenario]),
10        [Cost - Total Supply Chain]
11    )
12 RETURN
13 DIVIDE(
14     [Cost - Total Supply Chain] - MinCost,
15     MaxCost - MinCost,
16     0
17 )

```

```

1 Workforce Index =
2 VAR MinOT =
3     MINX(
4         ALL(DemandScenario[Scenario]),
5         [Overtime Hours]
6     )
7 VAR MaxOT =
8     MAXX(
9         ALL(DemandScenario[Scenario]),
10        [Overtime Hours]
11    )
12 RETURN
13 DIVIDE(
14     [Overtime Hours] - MinOT,
15     MaxOT - MinOT,
16     0
17 )

1 Emission Index =
2 VAR MinEmission =
3     MINX(
4         ALL(DemandScenario[Scenario]),
5         [Transport Emission]
6     )
7 VAR MaxEmission =
8     MAXX(
9         ALL(DemandScenario[Scenario]),
10        [Transport Emission]
11    )
12 RETURN
13 DIVIDE(
14     [Transport Emission] - MinEmission,
15     MaxEmission - MinEmission,
16     0
17 )

```

B – Tabel Hasil Pembuatan Skenario Demand

Retailer	Product	Scenario	Demand	LaborHours per unit	TotalLabour	Key
R1	P1	Low	54,2307	1,76	95,4461	R1-P1
R1	P1	Normal	74,495	1,76	131,111	R1-P1
R1	P1	High	94,442	1,76	166,218	R1-P1
R1	P2	Low	101,54	0,91	92,4016	R1-P2
R1	P2	Normal	144,393	0,91	131,397	R1-P2
R1	P2	High	187,58	0,91	170,698	R1-P2
R1	P3	Low	55,8766	0,35	19,5568	R1-P3
R1	P3	Normal	84,7242	0,35	29,6535	R1-P3
R1	P3	High	114,32	0,35	40,0122	R1-P3
R1	P4	Low	72,5768	1,01	73,3026	R1-P4
R1	P4	Normal	101,049	1,01	102,06	R1-P4
R1	P4	High	129,554	1,01	130,85	R1-P4

Retailer	Product	Scenario	Demand	LaborHours per unit	TotalLabour	Key
R1	P5	Low	103,91	0,7	72,737	R1-P5
R1	P5	Normal	134,572	0,7	94,2005	R1-P5
R1	P5	High	165,413	0,7	115,789	R1-P5
R1	P6	Low	94,7033	0,58	54,9279	R1-P6
R1	P6	Normal	116,406	0,58	67,5156	R1-P6
R1	P6	High	138,094	0,58	80,0944	R1-P6
R1	P7	Low	45,1215	0,57	25,7192	R1-P7
R1	P7	Normal	65,9808	0,57	37,6091	R1-P7
R1	P7	High	86,967	0,57	49,5712	R1-P7
R2	P1	Low	110,806	1,76	195,018	R2-P1
R2	P1	Normal	155,823	1,76	274,248	R2-P1
R2	P1	High	201,228	1,76	354,161	R2-P1
R2	P2	Low	55,9034	0,91	50,8721	R2-P2
R2	P2	Normal	106,382	0,91	96,8075	R2-P2
R2	P2	High	157,343	0,91	143,182	R2-P2
R2	P3	Low	50,5923	0,35	17,7073	R2-P3
R2	P3	Normal	120,071	0,35	42,025	R2-P3
R2	P3	High	188,859	0,35	66,1008	R2-P3
R2	P4	Low	83,8939	1,01	84,7328	R2-P4
R2	P4	Normal	104,371	1,01	105,415	R2-P4
R2	P4	High	124,993	1,01	126,243	R2-P4
R2	P5	Low	123,149	0,7	86,2045	R2-P5
R2	P5	Normal	163,039	0,7	114,127	R2-P5
R2	P5	High	203,01	0,7	142,107	R2-P5
R2	P6	Low	59,998	0,58	34,7988	R2-P6
R2	P6	Normal	103,259	0,58	59,8904	R2-P6
R2	P6	High	145,96	0,58	84,6566	R2-P6
R2	P7	Low	95,8549	0,57	54,6373	R2-P7
R2	P7	Normal	178,292	0,57	101,627	R2-P7
R2	P7	High	261,05	0,57	148,799	R2-P7
R3	P1	Low	114,702	1,76	201,875	R3-P1
R3	P1	Normal	140,45	1,76	247,192	R3-P1
R3	P1	High	166,41	1,76	292,881	R3-P1
R3	P2	Low	67,8067	0,91	61,7041	R3-P2
R3	P2	Normal	132,136	0,91	120,243	R3-P2
R3	P2	High	196,452	0,91	178,771	R3-P2
R3	P3	Low	104,266	0,35	36,4931	R3-P3
R3	P3	Normal	126,625	0,35	44,3187	R3-P3
R3	P3	High	149,026	0,35	52,159	R3-P3
R3	P4	Low	110,253	1,01	111,355	R3-P4
R3	P4	Normal	177,001	1,01	178,771	R3-P4

Retailer	Product	Scenario	Demand	LaborHours per unit	TotalLabour	Key
R3	P4	High	244,196	1,01	246,638	R3-P4
R3	P5	Low	85,1622	0,7	59,6136	R3-P5
R3	P5	Normal	142,856	0,7	99,9989	R3-P5
R3	P5	High	200,341	0,7	140,239	R3-P5
R3	P6	Low	37,1151	0,58	21,5268	R3-P6
R3	P6	Normal	108,445	0,58	62,8981	R3-P6
R3	P6	High	180,708	0,58	104,811	R3-P6
R3	P7	Low	116,656	0,57	66,4941	R3-P7
R3	P7	Normal	171,752	0,57	97,8986	R3-P7
R3	P7	High	226,416	0,57	129,057	R3-P7
R4	P1	Low	54,547	1,76	96,0028	R4-P1
R4	P1	Normal	81,2023	1,76	142,916	R4-P1
R4	P1	High	107,522	1,76	189,238	R4-P1
R4	P2	Low	74,563	0,91	67,8523	R4-P2
R4	P2	Normal	111,151	0,91	101,148	R4-P2
R4	P2	High	147,065	0,91	133,83	R4-P2
R4	P3	Low	80,6916	0,35	28,2421	R4-P3
R4	P3	Normal	106,409	0,35	37,2431	R4-P3
R4	P3	High	132,264	0,35	46,2923	R4-P3
R4	P4	Low	111,932	1,01	113,052	R4-P4
R4	P4	Normal	142,504	1,01	143,929	R4-P4
R4	P4	High	172,857	1,01	174,585	R4-P4
R4	P5	Low	29,4905	0,7	20,6434	R4-P5
R4	P5	Normal	38,9826	0,7	27,2878	R4-P5
R4	P5	High	48,5394	0,7	33,9776	R4-P5
R4	P6	Low	45,5476	0,58	26,4176	R4-P6
R4	P6	Normal	103,536	0,58	60,051	R4-P6
R4	P6	High	161,83	0,58	93,8616	R4-P6
R4	P7	Low	55,6681	0,57	31,7308	R4-P7
R4	P7	Normal	100,205	0,57	57,1168	R4-P7
R4	P7	High	144,047	0,57	82,1066	R4-P7
R5	P1	Low	56,5417	1,76	99,5133	R5-P1
R5	P1	Normal	85,535	1,76	150,542	R5-P1
R5	P1	High	114,278	1,76	201,129	R5-P1
R5	P2	Low	80,0612	0,91	72,8557	R5-P2
R5	P2	Normal	97,9585	0,91	89,1422	R5-P2
R5	P2	High	115,508	0,91	105,113	R5-P2
R5	P3	Low	51,6196	0,35	18,0669	R5-P3
R5	P3	Normal	100,739	0,35	35,2586	R5-P3
R5	P3	High	150,163	0,35	52,5571	R5-P3
R5	P4	Low	62,3317	1,01	62,955	R5-P4

Retailer	Product	Scenario	Demand	LaborHours per unit	TotalLabour	Key
R5	P4	Normal	84,4725	1,01	85,3173	R5-P4
R5	P4	High	106,808	1,01	107,876	R5-P4
R5	P5	Low	107,039	0,7	74,9271	R5-P5
R5	P5	Normal	136,401	0,7	95,481	R5-P5
R5	P5	High	165,061	0,7	115,543	R5-P5
R5	P6	Low	47,6012	0,58	27,6087	R5-P6
R5	P6	Normal	111,107	0,58	64,4421	R5-P6
R5	P6	High	174,835	0,58	101,404	R5-P6
R5	P7	Low	110,094	0,57	62,7535	R5-P7
R5	P7	Normal	155,496	0,57	88,6326	R5-P7
R5	P7	High	199,998	0,57	113,999	R5-P7
R6	P1	Low	52,8811	1,76	93,0708	R6-P1
R6	P1	Normal	78,1374	1,76	137,522	R6-P1
R6	P1	High	103,498	1,76	182,157	R6-P1
R6	P2	Low	67,5976	0,91	61,5138	R6-P2
R6	P2	Normal	161,316	0,91	146,798	R6-P2
R6	P2	High	254,084	0,91	231,217	R6-P2
R6	P3	Low	87,6553	0,35	30,6793	R6-P3
R6	P3	Normal	156,358	0,35	54,7252	R6-P3
R6	P3	High	225,567	0,35	78,9485	R6-P3
R6	P4	Low	59,9949	1,01	60,5948	R6-P4
R6	P4	Normal	74,2762	1,01	75,019	R6-P4
R6	P4	High	88,5689	1,01	89,4545	R6-P4
R6	P5	Low	56,7534	0,7	39,7274	R6-P5
R6	P5	Normal	107,246	0,7	75,0723	R6-P5
R6	P5	High	157,416	0,7	110,191	R6-P5
R6	P6	Low	72,8863	0,58	42,274	R6-P6
R6	P6	Normal	113,361	0,58	65,7491	R6-P6
R6	P6	High	153,648	0,58	89,116	R6-P6
R6	P7	Low	57,9094	0,57	33,0083	R6-P7
R6	P7	Normal	72,7364	0,57	41,4597	R6-P7
R6	P7	High	87,5942	0,57	49,9287	R6-P7
R7	P1	Low	72,1306	1,76	126,95	R7-P1
R7	P1	Normal	95,818	1,76	168,64	R7-P1
R7	P1	High	118,712	1,76	208,933	R7-P1
R7	P2	Low	114,99	0,91	104,641	R7-P2
R7	P2	Normal	140,079	0,91	127,472	R7-P2
R7	P2	High	164,969	0,91	150,122	R7-P2
R7	P3	Low	97,6036	0,35	34,1613	R7-P3
R7	P3	Normal	160,12	0,35	56,0419	R7-P3
R7	P3	High	222,287	0,35	77,8003	R7-P3

Retailer	Product	Scenario	Demand	LaborHours per unit	TotalLabour	Key
R7	P4	Low	87,2061	1,01	88,0782	R7-P4
R7	P4	Normal	124,545	1,01	125,79	R7-P4
R7	P4	High	161,93	1,01	163,549	R7-P4
R7	P5	Low	140,54	0,7	98,3778	R7-P5
R7	P5	Normal	173,031	0,7	121,122	R7-P5
R7	P5	High	205,321	0,7	143,725	R7-P5
R7	P6	Low	91,1985	0,58	52,8951	R7-P6
R7	P6	Normal	142,873	0,58	82,8662	R7-P6
R7	P6	High	194,924	0,58	113,056	R7-P6
R7	P7	Low	30,8833	0,57	17,6035	R7-P7
R7	P7	Normal	47,2381	0,57	26,9257	R7-P7
R7	P7	High	63,4175	0,57	36,148	R7-P7
R8	P1	Low	55,9406	1,76	98,4555	R8-P1
R8	P1	Normal	68,7635	1,76	121,024	R8-P1
R8	P1	High	81,5476	1,76	143,524	R8-P1
R8	P2	Low	42,1799	0,91	38,3838	R8-P2
R8	P2	Normal	126,357	0,91	114,985	R8-P2
R8	P2	High	210,461	0,91	191,52	R8-P2
R8	P3	Low	131,34	0,35	45,969	R8-P3
R8	P3	Normal	188,6	0,35	66,0101	R8-P3
R8	P3	High	246,054	0,35	86,1189	R8-P3
R8	P4	Low	67,8074	1,01	68,4855	R8-P4
R8	P4	Normal	93,2183	1,01	94,1505	R8-P4
R8	P4	High	119,332	1,01	120,526	R8-P4
R8	P5	Low	52,6854	0,7	36,8798	R8-P5
R8	P5	Normal	64,4187	0,7	45,0931	R8-P5
R8	P5	High	76,1962	0,7	53,3373	R8-P5
R8	P6	Low	134,249	0,58	77,8645	R8-P6
R8	P6	Normal	185,174	0,58	107,401	R8-P6
R8	P6	High	235,915	0,58	136,831	R8-P6
R8	P7	Low	70,5218	0,57	40,1974	R8-P7
R8	P7	Normal	118,594	0,57	67,5989	R8-P7
R8	P7	High	166,556	0,57	94,9367	R8-P7
R9	P1	Low	53,4746	1,76	94,1153	R9-P1
R9	P1	Normal	102,539	1,76	180,469	R9-P1
R9	P1	High	151,804	1,76	267,175	R9-P1
R9	P2	Low	82,0073	0,91	74,6266	R9-P2
R9	P2	Normal	133,068	0,91	121,092	R9-P2
R9	P2	High	184,157	0,91	167,583	R9-P2
R9	P3	Low	61,1036	0,35	21,3863	R9-P3
R9	P3	Normal	79,8594	0,35	27,9508	R9-P3

Retailer	Product	Scenario	Demand	LaborHours per unit	TotalLabour	Key
R9	P3	High	98,3239	0,35	34,4134	R9-P3
R9	P4	Low	124,011	1,01	125,251	R9-P4
R9	P4	Normal	187,966	1,01	189,846	R9-P4
R9	P4	High	250,571	1,01	253,077	R9-P4
R9	P5	Low	47,6628	0,7	33,364	R9-P5
R9	P5	Normal	100,545	0,7	70,3814	R9-P5
R9	P5	High	153,541	0,7	107,479	R9-P5
R9	P6	Low	57,7736	0,58	33,5087	R9-P6
R9	P6	Normal	70,1559	0,58	40,6904	R9-P6
R9	P6	High	82,7201	0,58	47,9777	R9-P6
R9	P7	Low	32,1703	0,57	18,3371	R9-P7
R9	P7	Normal	51,3168	0,57	29,2506	R9-P7
R9	P7	High	70,6999	0,57	40,2989	R9-P7

C - Tabel Hasil Verifikasi Simulasi

Retailer	Product	Total Rows	Simulated Mean	Simulated Std	Min Demand	Mean units	SD units	Expected Rows	Row Check	Negative Check	Mean Error %	Std Error %	Verification Status
R1	P1	12000	74,41	12,18	25,73	74,48	12,30	12000	True	True	0,10	0,94	Passed
R1	P2	12000	144,52	25,89	48,17	144,40	25,90	12000	True	True	0,08	0,05	Passed
R1	P3	12000	84,37	17,68	4,48	84,36	17,80	12000	True	True	0,01	0,67	Passed
R1	P4	12000	101,00	17,53	23,85	100,89	17,50	12000	True	True	0,11	0,17	Passed
R1	P5	12000	134,69	18,89	65,31	134,71	18,80	12000	True	True	0,01	0,46	Passed
R1	P6	12000	116,51	13,38	62,85	116,47	13,30	12000	True	True	0,03	0,58	Passed
R1	P7	12000	65,80	12,74	18,06	65,93	12,80	12000	True	True	0,19	0,45	Passed
R2	P1	12000	156,24	27,96	53,43	156,18	27,70	12000	True	True	0,04	0,95	Passed
R2	P2	12000	106,80	30,45	0,00	106,50	30,70	12000	True	True	0,28	0,81	Passed
R2	P3	12000	120,07	41,88	0,00	119,90	41,60	12000	True	True	0,14	0,67	Passed
R2	P4	12000	104,39	12,38	57,36	104,50	12,40	12000	True	True	0,11	0,16	Passed
R2	P5	12000	162,85	23,88	68,01	163,02	24,00	12000	True	True	0,10	0,49	Passed
R2	P6	12000	103,19	26,17	11,77	103,30	26,20	12000	True	True	0,10	0,11	Passed
R2	P7	12000	178,92	50,60	0,00	178,50	50,30	12000	True	True	0,24	0,60	Passed
R3	P1	12000	140,40	15,97	78,94	140,22	16,00	12000	True	True	0,13	0,19	Passed
R3	P2	12000	131,87	39,25	0,00	132,10	39,20	12000	True	True	0,18	0,13	Passed
R3	P3	12000	126,54	13,60	74,61	126,54	13,70	12000	True	True	0,00	0,70	Passed
R3	P4	12000	177,01	40,35	18,09	176,51	40,80	12000	True	True	0,28	1,09	Passed
R3	P5	12000	141,78	35,69	0,00	142,50	35,60	12000	True	True	0,51	0,25	Passed
R3	P6	12000	107,96	43,41	0,00	108,10	43,50	12000	True	True	0,13	0,20	Passed
R3	P7	12000	171,76	33,84	21,98	171,95	33,60	12000	True	True	0,11	0,70	Passed
R4	P1	12000	81,81	16,03	15,71	81,51	16,00	12000	True	True	0,37	0,16	Passed

Retailer	Product	Total Rows	Simulated Mean	Simulated Std	Min Demand	Mean units	SD units	Expected Rows	Row Check	Negative Check	Mean Error %	Std Error %	Verification Status
R4	P2	12000	110,94	21,82	27,55	110,96	22,00	12000	True	True	0,02	0,82	Passed
R4	P3	12000	106,30	15,59	49,63	106,40	15,60	12000	True	True	0,10	0,08	Passed
R4	P4	12000	142,64	18,41	65,04	142,50	18,50	12000	True	True	0,10	0,47	Passed
R4	P5	12000	38,86	5,79	15,24	38,95	5,80	12000	True	True	0,24	0,10	Passed
R4	P6	12000	103,29	34,73	0,00	103,40	35,30	12000	True	True	0,10	1,60	Passed
R4	P7	12000	100,18	27,07	0,00	100,20	26,90	12000	True	True	0,02	0,65	Passed
R5	P1	12000	85,33	17,80	21,97	85,50	17,60	12000	True	True	0,20	1,12	Passed
R5	P2	12000	97,84	10,62	55,38	97,85	10,70	12000	True	True	0,01	0,77	Passed
R5	P3	12000	101,14	29,76	0,00	101,10	29,90	12000	True	True	0,04	0,46	Passed
R5	P4	12000	84,50	13,36	31,80	84,55	13,50	12000	True	True	0,06	1,02	Passed
R5	P5	12000	136,51	17,66	63,42	136,61	17,70	12000	True	True	0,07	0,22	Passed
R5	P6	12000	111,73	38,51	0,00	111,50	38,60	12000	True	True	0,21	0,23	Passed
R5	P7	12000	155,32	27,25	49,19	155,42	27,40	12000	True	True	0,06	0,53	Passed
R6	P1	12000	78,28	15,52	23,03	78,28	15,40	12000	True	True	0,00	0,76	Passed
R6	P2	12000	162,73	56,95	0,00	161,30	57,20	12000	True	True	0,89	0,44	Passed
R6	P3	12000	155,44	41,39	0,00	155,80	41,60	12000	True	True	0,23	0,51	Passed
R6	P4	12000	74,32	8,64	42,49	74,29	8,70	12000	True	True	0,04	0,70	Passed
R6	P5	12000	107,45	30,16	0,00	107,30	30,40	12000	True	True	0,14	0,78	Passed
R6	P6	12000	113,26	24,61	28,11	113,43	24,50	12000	True	True	0,15	0,45	Passed
R6	P7	12000	72,79	8,88	34,99	72,77	9,00	12000	True	True	0,03	1,38	Passed
R7	P1	12000	95,74	14,26	46,80	95,76	14,10	12000	True	True	0,02	1,10	Passed
R7	P2	12000	140,14	15,36	81,73	140,22	15,30	12000	True	True	0,06	0,39	Passed
R7	P3	12000	160,06	38,19	0,00	160,17	37,90	12000	True	True	0,07	0,76	Passed
R7	P4	12000	124,73	22,62	41,24	124,64	22,50	12000	True	True	0,07	0,51	Passed

Retailer	Product	Total Rows	Simulated Mean	Simulated Std	Min Demand	Mean units	SD units	Expected Rows	Row Check	Negative Check	Mean Error %	Std Error %	Verification Status
R7	P5	12000	173,23	19,76	93,43	173,09	19,80	12000	True	True	0,08	0,19	Passed
R7	P6	12000	142,49	32,13	11,87	142,31	32,20	12000	True	True	0,13	0,21	Passed
R7	P7	12000	47,38	9,90	12,00	47,31	9,90	12000	True	True	0,14	0,00	Passed
R8	P1	12000	68,84	7,91	37,63	68,78	7,90	12000	True	True	0,09	0,12	Passed
R8	P2	12000	125,36	50,42	0,00	125,00	50,90	12000	True	True	0,29	0,94	Passed
R8	P3	12000	188,35	34,66	47,48	188,48	34,80	12000	True	True	0,07	0,41	Passed
R8	P4	12000	93,33	15,51	31,50	93,29	15,60	12000	True	True	0,04	0,58	Passed
R8	P5	12000	64,40	7,16	35,02	64,41	7,20	12000	True	True	0,02	0,56	Passed
R8	P6	12000	185,02	31,34	50,90	185,25	31,10	12000	True	True	0,12	0,78	Passed
R8	P7	12000	118,29	29,52	4,80	118,30	29,30	12000	True	True	0,00	0,74	Passed
R9	P1	12000	102,83	29,72	0,00	102,60	29,90	12000	True	True	0,22	0,59	Passed
R9	P2	12000	132,64	31,70	1,11	133,19	31,50	12000	True	True	0,41	0,62	Passed
R9	P3	12000	79,87	11,29	34,94	79,99	11,20	12000	True	True	0,15	0,79	Passed
R9	P4	12000	187,66	38,43	36,18	187,91	38,30	12000	True	True	0,13	0,35	Passed
R9	P5	12000	100,74	31,79	0,00	100,90	32,10	12000	True	True	0,16	0,97	Passed
R9	P6	12000	70,14	7,45	42,70	70,11	7,50	12000	True	True	0,04	0,62	Passed
R9	P7	12000	51,55	11,97	3,28	51,30	11,90	12000	True	True	0,48	0,59	Passed

C - Tabel Hasil Validasi Simulasi

Retailer	Product	Mean	Std	Min	Max	P5	Median	P95	Actual Mean	Actual Std	Mean Accuracy %	Std Accuracy %	Validation Status
R1	P1	74,42	12,33	28,23	121,71	54,44	74,43	95,01	74,48	12,30	99,92	99,72	Valid
R1	P2	144,12	25,74	49,24	237,79	101,40	144,27	186,82	144,40	25,90	99,80	99,39	Valid
R1	P3	84,02	17,92	6,78	158,36	54,37	84,02	113,35	84,36	17,80	99,60	99,34	Valid
R1	P4	100,73	17,71	23,35	164,97	71,62	100,92	129,73	100,89	17,50	99,84	98,77	Valid
R1	P5	134,69	18,55	69,93	203,16	104,09	134,59	165,16	134,71	18,80	99,99	98,65	Valid
R1	P6	116,61	13,48	65,12	169,44	94,38	116,74	138,48	116,47	13,30	99,88	98,66	Valid
R1	P7	65,75	12,71	11,78	111,09	45,03	65,70	86,96	65,93	12,80	99,73	99,26	Valid
R2	P1	155,86	27,36	52,92	258,90	110,83	156,05	201,06	156,18	27,70	99,80	98,76	Valid
R2	P2	106,14	30,86	0,00	221,19	55,33	105,98	156,61	106,50	30,70	99,66	99,49	Valid
R2	P3	119,78	41,43	0,00	271,44	51,09	120,26	188,14	119,90	41,60	99,90	99,60	Valid
R2	P4	104,30	12,35	55,47	156,06	84,14	104,20	124,62	104,50	12,40	99,81	99,59	Valid
R2	P5	162,74	23,79	67,08	251,85	123,27	162,97	201,65	163,02	24,00	99,83	99,14	Valid
R2	P6	103,31	26,27	8,78	210,88	60,61	103,03	146,69	103,30	26,20	99,99	99,74	Valid
R2	P7	178,97	49,82	0,00	368,55	96,32	179,21	260,17	178,50	50,30	99,74	99,05	Valid
R3	P1	140,28	16,01	83,41	210,40	113,91	140,25	166,23	140,22	16,00	99,96	99,93	Valid
R3	P2	132,77	39,03	0,00	311,51	68,31	132,65	197,25	132,10	39,20	99,49	99,58	Valid
R3	P3	126,65	13,57	76,32	177,01	104,20	126,81	148,63	126,54	13,70	99,92	99,05	Valid
R3	P4	176,45	40,93	23,41	337,47	110,23	176,25	243,98	176,51	40,80	99,96	99,69	Valid
R3	P5	142,38	35,62	0,00	300,17	83,76	142,53	200,20	142,50	35,60	99,91	99,94	Valid
R3	P6	107,79	43,19	0,00	277,87	36,04	107,93	178,55	108,10	43,50	99,71	99,29	Valid
R3	P7	171,76	33,30	37,31	308,53	116,98	171,48	226,41	171,95	33,60	99,89	99,09	Valid
R4	P1	81,64	15,95	22,35	144,09	55,16	81,57	107,81	81,51	16,00	99,84	99,72	Valid
R4	P2	111,01	22,03	22,94	202,45	75,38	110,61	147,58	110,96	22,00	99,95	99,86	Valid

R4	P3	106,32	15,58	37,38	162,87	80,62	106,33	131,68	106,40	15,60	99,92	99,85	Valid
R4	P4	142,60	18,56	74,19	217,44	111,96	142,57	173,14	142,50	18,50	99,93	99,66	Valid
R4	P5	39,01	5,76	18,30	60,15	29,48	39,01	48,33	38,95	5,80	99,85	99,27	Valid
R4	P6	103,38	35,23	0,00	239,31	45,34	103,33	161,15	103,40	35,30	99,98	99,81	Valid
R4	P7	100,54	26,88	0,00	205,02	55,49	100,72	143,95	100,20	26,90	99,66	99,92	Valid
R5	P1	85,24	17,72	22,67	147,05	55,91	85,47	114,12	85,50	17,60	99,70	99,34	Valid
R5	P2	97,83	10,81	54,20	138,55	80,20	97,82	115,54	97,85	10,70	99,98	98,97	Valid
R5	P3	101,24	29,96	0,00	207,48	51,69	101,57	149,95	101,10	29,90	99,87	99,78	Valid
R5	P4	84,65	13,41	32,27	134,30	62,55	84,66	106,70	84,55	13,50	99,88	99,36	Valid
R5	P5	136,66	17,82	64,97	201,54	107,63	136,81	165,98	136,61	17,70	99,96	99,30	Valid
R5	P6	110,83	38,64	0,00	280,70	47,03	110,77	174,13	111,50	38,60	99,40	99,89	Valid
R5	P7	156,01	27,49	59,96	269,76	110,66	156,20	201,46	155,42	27,40	99,62	99,67	Valid
R6	P1	78,26	15,39	20,04	131,25	53,26	78,20	103,70	78,28	15,40	99,97	99,95	Valid
R6	P2	161,25	56,64	0,00	419,16	69,02	160,71	253,97	161,30	57,20	99,97	99,02	Valid
R6	P3	156,19	41,79	0,00	296,36	87,01	156,46	224,48	155,80	41,60	99,75	99,55	Valid
R6	P4	74,32	8,71	37,61	111,59	59,99	74,28	88,67	74,29	8,70	99,95	99,89	Valid
R6	P5	107,36	30,58	0,00	217,06	57,35	107,52	157,63	107,30	30,40	99,95	99,40	Valid
R6	P6	113,36	24,51	20,90	223,09	72,54	113,48	153,41	113,43	24,50	99,93	99,97	Valid
R6	P7	72,66	8,98	34,68	110,43	57,90	72,65	87,48	72,77	9,00	99,85	99,82	Valid
R7	P1	95,93	14,06	45,74	146,14	72,62	95,88	119,11	95,76	14,10	99,82	99,74	Valid
R7	P2	140,19	15,31	89,13	212,14	114,98	140,20	165,63	140,22	15,30	99,98	99,90	Valid
R7	P3	160,39	37,86	8,83	298,44	97,90	160,55	222,31	160,17	37,90	99,86	99,90	Valid
R7	P4	124,59	22,67	40,25	205,66	87,61	124,64	162,16	124,64	22,50	99,96	99,24	Valid
R7	P5	172,83	19,78	82,75	246,59	140,26	173,08	205,42	173,09	19,80	99,85	99,92	Valid
R7	P6	142,28	32,05	24,41	268,15	89,52	142,21	195,09	142,31	32,20	99,98	99,54	Valid
R7	P7	47,36	9,92	6,60	87,95	31,10	47,31	63,68	47,31	9,90	99,90	99,76	Valid
R8	P1	68,80	7,92	38,68	104,52	55,76	68,85	81,68	68,78	7,90	99,97	99,77	Valid

R8	P2	124,81	50,73	0,00	321,49	41,80	123,85	209,08	125,00	50,90	99,85	99,67	Valid
R8	P3	188,89	35,15	56,93	316,75	131,34	188,69	246,50	188,48	34,80	99,78	98,99	Valid
R8	P4	93,35	15,44	38,39	155,83	67,95	93,39	118,68	93,29	15,60	99,94	98,96	Valid
R8	P5	64,45	7,15	37,27	89,68	52,63	64,43	76,33	64,41	7,20	99,95	99,31	Valid
R8	P6	185,53	30,78	70,83	312,57	135,77	185,47	236,63	185,25	31,10	99,85	98,97	Valid
R8	P7	118,30	29,25	0,00	238,21	69,99	118,23	166,45	118,30	29,30	100,00	99,83	Valid
R9	P1	102,37	29,82	0,00	229,20	53,58	102,56	151,37	102,60	29,90	99,77	99,72	Valid
R9	P2	133,05	31,80	7,49	257,96	80,48	133,10	185,42	133,19	31,50	99,89	99,05	Valid
R9	P3	80,09	11,33	37,48	122,66	61,36	80,15	98,60	79,99	11,20	99,87	98,80	Valid
R9	P4	187,61	38,17	40,83	341,53	124,71	187,82	250,48	187,91	38,30	99,84	99,67	Valid
R9	P5	100,95	31,96	0,00	213,52	48,34	100,88	154,07	100,90	32,10	99,95	99,57	Valid
R9	P6	70,18	7,50	42,44	96,91	57,97	70,17	82,85	70,11	7,50	99,89	99,95	Valid
R9	P7	51,19	11,61	11,63	96,18	32,22	51,15	70,38	51,30	11,90	99,78	97,60	Valid