OPTIMASI RANTAI PASOK MULTI-ESELON DAN MULTI-PRODUK DENGAN MENGINTEGRASIKAN PENDEKATAN *CONDITION VALUE AT RISK*

TUGAS AKHIR

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

Nama : **Syifa Ramadhini**
No. Mahasiswa : **22522007**

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

2026

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini merupakan hasil penulisan saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Apabila dikemudian hari terdapat bukti bahwa pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia jika ijazah yang telah saya terima, ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 14 – Agustus – 2026



(Syifa Ramadhini)

22522007

SURAT BUKTI PENELITIAN



FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 309/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/VII/2026

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Syifa Ramadhini

Nim : 22522007

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 **"OPTIMASI RANTAI PASOK MULTI-ESELON DAN MULTI-PRODUK DENGAN MENGINTEGRASIKAN PENDEKATAN CONDITION VALUE AT RISK (STUDI KASUS PT. X)"** mulai pelaksanaan penelitian 9 April 2026 sampai 17 Juli 2026.

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

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 21 Juli 2026
Kepala Laboratorium
Sistem Manufaktur Terintegrasi

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

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

OPTIMASI RANTAI PASOK MULTI-ESELON DAN MULTI-PRODUK DENGAN MENGINTEGRASIKAN PENDEKATAN *CONDITION VALUE AT RISK*
(STUDI KASUS PT. X)
TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Syifa Ramadhini
No. Mahasiswa : 22522007

Yogyakarta, 27 Juli 2026

Dosen Pembimbing

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

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

OPTIMASI RANTAI PASOK MULTI-ESELON DAN MULTI-PRODUK DENGAN MENGINTEGRASIKAN PENDEKATAN *CONDITION VALUE AT RISK*

(STUDI KASUS PT. X)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Syifa Ramadhini

No. Mahasiswa : 22522007

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, .21– 08 – 2026

Tim Penguji

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo S.T., M.Sc., Ph.D., IPM Ketua	
Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T Anggota I	
Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc. 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

015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, kekuatan, dan kemudahan yang telah diberikan, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Lembaran persembahan ini saya persembahkan sepenuhnya untuk keluarga tercinta, khususnya kedua orang tua saya, Ayah dan Mama yang menjadi pilar utama dalam hidup saya. Terima kasih yang tak terhingga atas kasih sayang yang tak terbatas, pengorbanan yang tak ternilai, serta ketulusan doa yang senantiasa mengiringi setiap langkah perjalanan saya. Tidak lupa untuk saudari saya, Ayuk Icha yang telah memberikan banyak dukungan, perhatian, dan selalu menjadi tempat terbaik untuk menyampaikan keluh kesah.

Karya ini juga saya persembahkan untuk sahabat – sahabat seperjuangan saya, Faza, Kania, Soka, Bayu, Iqbal, Hafis, Afran, Adam, Clinton, Dafa, dan Rafif. Terima kasih telah menjadi bagian terbaik di masa – masa perkuliahan ini, selalu hadir memberikan semangat, menjadi tempat bertukar pikiran, hingga mendengarkan setiap keluh kesah sepanjang masa perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Kebersamaan, tawa, dan dorongan moral dari kalian membuat perjalanan yang rumit ini terasa jauh lebih ringan dan menyenangkan. Terakhir, terima kasih yang mendalam untuk diri saya sendiri yang pantang menyerah dan terus mau berjuang melewati setiap proses hingga titik akhir.

MOTTO

”Bermanfaat tanpa memanfaatkan, bersinar tanpa memadamkan.”

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.
Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **"**Optimasi Rantai Pasok Multi Eselon dan Multi Produk dengan Mengintegrasikan Pendekatan *Conditional Value at Risk"* tepat pada waktunya. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata – 1 pada Program Studi Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses berjalannya penyusunan laporan ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan, serta bantuan yang diberikan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Sri Kusumadewi, S.Si., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Kepala Jurusan Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM yang juga menjadi dosen pembimbing tugas akhir yang membimbing, mengarahkan, dan membantu saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
4. Kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan dan doa selama masa perkuliahan
5. Seluruh sahabat yang senantiasa memberikan dukungan dan hadir menemani masa-masa senang dan sulit selama masa perkuliahan. Terima kasih telah menjadi bagian dari kisah perjalanan kuliah penulis yang telah memberikan banyak pembelajaran hidup serta menjadi saksi untuk banyak momen yang membahagiakan.
6. Seluruh keluarga, kerabat, dan teman-teman yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas segala kontribusi, doa, dukungan, dan bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari pembaca sebagai perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap semoga laporan ini dapat menjadi manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

ABSTRAK

Sistem rantai pasok pada industri perangkat infrastruktur telekomunikasi menghadapi tantangan kompleksitas struktur *multi-eselon* dan *multi-produk* serta tingginya ketidakpastian permintaan pasar. Pendekatan optimasi konvensional berbasis deterministik atau *risk neutral* sering kali gagal menangani fluktuasi ekstrem, sehingga berisiko menimbulkan kerugian finansial yang signifikan pada *tail risk*. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem rantai pasok *multi-eselon* dan *multi-produk* dengan mengintegrasikan pendekatan *Conditional Value at Risk* (CVaR) guna merumuskan strategi alokasi distribusi yang menyeimbangkan antara efisiensi biaya operasional (*expected cost*) dan ketahanan finansial (*robustness*). Penelitian dilakukan dengan studi kasus pada PT. X yang mendistribusikan dua varian produk *transceiver* (TRX-10G SFP+ dan TRX-100G QSFP28) melalui jaringan yang melibatkan 2 *vendor* dan 5 *retailer*. Ketidakpastian permintaan dimodelkan secara stokastik melalui 30 skenario pasar. Model optimasi diselesaikan menggunakan algoritma *heuristik Evolutionary Solver* pada tingkat kepercayaan (α) 68%, 95%, dan 99% serta parameter preferensi risiko (λ) 0,5, 0,7, dan 0,8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan λ dan α mendorong kenaikan *objective value* secara linier. Kombinasi α = 95% dan λ = 0,5 teridentifikasi sebagai titik keseimbangan (*sweet spot*) yang paling optimal dalam mengamankan risiko operasional. Dari hasil optimasi diperoleh dua alokasi *vendor* optimal. Alokasi *vendor* 1 memberikan keunggulan efisiensi biaya dasar (*expected cost*) yang lebih hemat sebesar Rp76.554.000 (2,32%) dibandingkan alokasi *vendor* alternatif 2, namun memiliki ketahanan operasional yang lebih rendah karena memaksimalkan kapasitas Vendor 1. Sebaliknya, Alokasi *vendor* alternatif 2 menawarkan ketahanan operasional (*robustness*) yang lebih tinggi dengan membagi kuota pasokan secara seimbang untuk membentuk *capacity slack* penyangga di kedua *vendor* guna mengantisipasi gangguan pasokan ekstrem.

Kata Kunci: Rantai Pasok Multi Eselon, Multi Produk, *Conditional Value at Risk* (CVaR), Model Stokastik, *Evolutionary Solver*, *Trade – off*

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 ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Kajian Literatur 6
2.2 Landasan Teori 12
2.2.1 Optimasi Rantai Pasok 12
2.2.2 Rantai Pasok Multi-Eselon 12
2.2.3 Rantai Pasok Multi-Produk 13
2.2.4 Model Stokastik 14
2.2.5 *Value at Risk* (VaR) 14
2.2.6 *Condition Value at Risk* (CVaR) 15
BAB III METODE PENELITIAN 17
3.1 Objek Penelitian 17
3.2 Subjek Penelitian 17
3.3 Metode Pengumpulan Data 17
3.4 Jenis Data 17
3.5 Komponen Model 18
3.6 Formulasi Model Matematis 20
3.6.1 Fungsi Tujuan 20
3.6.2 Fungsi Kendala 20
3.6.3 Kendala Batas Suplai *Vendor* 21
3.6.4 Kendala Batas Unit Terjual (*Sales Upper Bounds*) 21
3.6.5 Kendala Penentuan Kelebihan Stok (*Excess Inventory*) 21
3.6.6 Kendala Penentuan Kekurangan Stok (Shortage) 22
3.6.7 Formulasi Komponen Finansial Skenario 22
3.6.8 Formulasi Fungsi Kerugian Finansial Bersih 22
3.6.9 Kendala Linearisasi Risiko CVaR 23
3.6.10 Kendala Batas Sifat dan Karakteristik Variabel 23
3.7 Alur Penelitian 24
BAB IV PENGUMPULAN & PENGOLAHAN DATA 26
4.1 Pengumpulan Data 26

4.1.1 Data Vendor 26
4.1.2 Data *Retailer* 27
4.1.3 Data Produk 27
4.1.4 Data Skenario Permintaan 28
4.2 Visualisasi Alur dan Jaringan Distribusi 29
4.3 Pengolahan Data dan Formulasi Model Optimasi 31
4.3.1. Parameter Model Finansial dan *Output* Finansial 31
4.3.2. Variabel Keputusan Optimal 35
4.3.3. Penggunaan *Evolutionary Solver* 36
4.3.4. Pengolahan Alokasi Pasokan dan Pemenuhan Permintaan 38
BAB V HASIL & PEMBAHASAN 40
5.1 Analisis Hasil Optimasi 40
5.1.1 Hasil Optimasi Alokasi *Vendor* Alternatif 40
5.1.2 Kapasitas *Vendor* 42
5.2 Uji Sensitivitas Multi Skenario Finansial Berbasis Risiko 43
5.2.1 Tingkat Kepercayaan 68% 43
5.2.2 Tingkat Kepercayaan 95% 45
5.2.3 Tingkat Kepercayaan 99% 46
5.3 Analisis Pengaruh Parameter Risiko 48
5.3.1 Analisis Perubahan VaR dan CVaR 48
5.3.2 Analisis Pengaruh Parameter *Input* 50
5.4 Perbandingan Strategi Alokasi 52
5.5 Keterbatasan Penelitian 54
BAB VI KESIMPULAN & SARAN 56
6.1 Kesimpulan 56
6.2 Saran 57
6.2.1 Saran Manajerial 57
6.2.2 Saran Penelitian Berikutnya 57
DAFTAR PUSTAKA 58
LAMPIRAN A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Research Gap 10
Tabel 4. 1 Data Vendor 26
Tabel 4. 2 Data Retailer 27
Tabel 4. 3 Data Produk 27
Tabel 4. 4 Skenario Permintaan 28
Tabel 5. 1 Alokasi Vendor A 40
Tabel 5. 2 Alokasi vendor B 41
Tabel 5. 3 Kapasitas Strategi Alokasi A 42
Tabel 5. 4 Kapasitas Strategi Alokasi B 42
Tabel 5. 5 Output Strategi Alokasi A (68%) 44
Tabel 5. 6 Output Strategi Alokasi B (68%) 44
Tabel 5. 7 Output Strategi Alokasi A (95%) 45
Tabel 5. 8 Output Strategi Alokasi B (95%) 46
Tabel 5. 9 Output Strategi Alokasi A (99%) 47
Tabel 5. 10 *Output Strategi Alokasi* B (99%) 47
Tabel 5. 11 Trade – Off Strategi Alokasi Vendor 53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram alur Penelitian 24
Gambar 4. 1 Alur Jaringan Distribusi dan Informasi 30
Gambar 4. 2 Formula Expected Cost 32
Gambar 4. 3 Formula VaR 32
Gambar 4. 4 Formula CVaR 33
Gambar 4. 5 Formula Objective 34
Gambar 4. 6 Formula Biaya Total Order 34
Gambar 4. 7 Formula Order Quantity 35
Gambar 4. 8 Kolom Order Quantity 36
Gambar 4. 9 Jendela Solver 37
Gambar 4. 10 Suplai Vendor dan Slack 38
Gambar 4. 11 Suplai Retailer dan Slack 39

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manajemen rantai pasok dalam industri modern saat ini menghadapi tantangan kompleksitas yang semakin tinggi seiring dengan peningkatan variasi produk serta luasnya jaringan distribusi yang ada. Di dalam struktur rantai pasok *multi-eselon*, distribusi produk/jasa melibatkan koordinasi intensif antara berbagai tingkatan, mulai dari pemasok yang menjadi hulu pada titik distribusi, pusat manufaktur, pusat *inventory* atau gudang penyimpanan hingga *retailer* sebagai pengecer. Alur ini menjadi semakin kompleks dengan adanya sistem *multi-produk*, di mana setiap produk yang akan didistribusikan memiliki karakteristik biaya, hingga permintaan yang berbeda – beda untuk setiap produk. Dalam konfigurasi ini, segala keputusan pada satu tingkatan akan menciptakan suatu efek domino (*bullwhip effect*) yang dapat mengganggu biaya operasional serta ketersediaan stok untuk tingkatan lainnya (Lu & Kirshner, 2026).

Dampak domino dari kompleksitas tersebut diperparah oleh adanya ketidakpastian permintaan yang kini menjadi variabel kritis dan sulit untuk diprediksi secara akurat. Meskipun model optimasi deterministik telah banyak digunakan untuk memodelkan pasar, pendekatan statis tersebut sering kali gagal dan rentan dalam menangani fluktuasi permintaan yang naik dan turun secara ekstrem, didukung penelitian oleh (Jumiono , Apriyanto , Kushariyadi, Raza , & Wilda, 2024) yang menyetujui bahwa pendekatan adaptif sangat dibutuhan dalam menghadapi dinamika pasar yang fluktuatif, hal ini disebabkan oleh model statis dan deteministik yang tidak lagi relevan untuk merepresentasikan dinamika fluktuasi yang terjadi di lapangan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Rossmann, Luedtke, & Roald, 2026), bahwa pendekatan stokastik merepresentasikan variabilitas data, model konvensial yang menitikberatkan pada minimalisasi ekspektasi biaya rata – rata cenderung memiliki sifat netral terhadap risiko (*risk neutral*). Pengabaian potensi kerugian ekstrem pada ekor distribusi (*tail* risk) ini dapat membahayakan perusahaan seperti adanya gangguan pada suplai serta lonjakan *demand* yang tidak terduga sehingga mengakibatkan adanya pembengkakan biaya penalti dan penurunan drastis pada tingkat layanan pelanggan (Yu, Maier, & Erfani, 2026)

Guna mengantisipasi potensi kerugian ekstrem akibat pengabaian risiko ekor (*tail risk*), dibutuhkan sebuah instrumen manajemen risiko yang lebih tangguh. Menurut (Aisah, Santoso, & Nurul, 2026), Pendekatan *Conditional Value at Risk* (CVaR) dapat menjadi solusi yang lebih

unggul apabila dibandingkan dengan *Value at Risk* (VaR), hal ini disebabkan oleh kemampuan yang dimiliki CVaR untuk memberi gambaran mengenai besaran dari ekspektasi kerugian pada skenario terburuk di luar dari ambang batas kepercayaan tertentu. Dengan mengintegrasikan CVaR kedalam model optimasi rantai pasok multi-eselon dan multi-produk, perusahaan dapat membangun ketahanan (*robustness*) sistem rantai pasok terhadap risiko dari fluktuasi yang ekstrem serta mencapai efisiensi biaya. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merumuskan strategi distribusi yang dapat menyeimbangkan antara minimalisasi biaya operasional dan mitigasi risiko finansial secara simultan.

Di samping aspek pemodelan matematis, tantangan mendasar dalam manajemen rantai pasok modern adalah penyelarasan antara efisiensi biaya dan kebijakan strategis perusahaan. Dalam praktiknya, arah kebijakan investasi dan operasional logistik juga dipengaruhi oleh cara manajemen memandang potensi kerugian finasial. Perbedaan ini melahirkan variasi preferensi perilaku terhadap risiko, mulai dari kebijakan yang agresif untuk mengejar keuntungan (*risk seeker*), kebijakan yang moderat (*risk neutral*), hingga kebijakan konservatif untuk mengamankan sistem dari kerugian (*risk averse*). Penelitian oleh Golpira (2017) menunjukkan bahwa perubahan sikap manajemen dari netral menjadi penghindar risiko (*risk averse*) akan mengubah konfigurasi jaringan melalui pengalihan alokasi pasokan ke jalur distribusi yang lebih aman, meskipun harus mengorbankan efisiensi biaya total. Oleh karena itu, integras CVaR dalam model optimasi perlu dievaluasi melalui berbagai skenario preferensi risiko. Pemilihan parameter preferensi risiko dalam penelitian oleh Gandelman & Hernández-Murillo (2014) membahas bahwa koefisien risk aversion pada entitas pengambilan keputusan terkonsentrasi pada rentang 0,5 hingga 1, hal tersebut dikarenakan keputusan $\lambda < 0.5$ berperilaku seolah – olah manajemen hampir tidak peduli pada risiko kerugian. Dengan demikian, perbandingan beberapa preferensi risiko dari tingkat moderat hingga sangat konservatif ($\lambda = 0.5$, 0.7, dan 0.8) menjadi sangat krusial dilakukan untuk menyajikan analisis *trade-off* yang objektif dan realistis antara efisiensi biaya dasar dan ketangguhan solusi (*robustness*) dalam menghadapi ketidakpastian.

Untuk menjawab tantangan kompleksitas struktural serta dinamika ketidakpastian yang ada pada sistem multi eselon dan multi produk, khususnya pada industri perangkat infrastruktur telekomunikasi dengan variabilitas produk yang tinggi serta sensitif terhadap keterlambatan pasokan, penelitian ini mengintegrasikan model optimasi berbasis risiko menggunakan data operasional riil dari perusahaan X yang mendistribusikan komponen telekomunikasi berupa

transceiver. Jaringan distribusi yang dianalisis dari dalam penelitian ini memiliki dua *vendor* utama yang bekerjasanma dengan Perusahaan X pada hulu proses. Karakteristik multi produk direpresentasikan melalui dua varian komponen *transceiver* dengan struktur biaya yang berbeda, yaitu tipe TRX-10G SFP+ dan juga tipe TRX-100G QSFP28. Seluruh lini produk tersebut disalurkan menuju lima *retailer* yang tersebar di kota – kota besar di Indonesia.

Sebagai langkah teknis dalam mengakomodasi fluktuasi pasar tersebut, ketidakpastian dalam sistem ini akan dimodelkan secara stokastik lewat penyusunan serangkaian skenario mencakup kondisi pasar dalam keadaan normal, lonjakan permintaan (*high demand*), penurunan ekonomi (*recession*), hingga potensi terjadinya gangguan pasokan (*disruption*). Seluruh parameter dalam biaya operasional terintegrasi akan dievaluasi menggunakan pendekatan CVaR pada tingkat kepercayaan (α) 68%, 95%, dan 99% yang umumnya digunakan sebagai standar industri (Kurniawan & Budiawan, 2026). Penelitian ini juga akan mensimulasikan, membandingkan, dan mengevaluasi tiga skenario kebijakan manajemen berdasarkan preferensi perilaku terhadap risiko, yaitu skenario pengambil risiko (*risk seeker*), skenario normal (*risk neutral*), dan skenario penghindar risiko (*risk averse*). Lewat perbandingan ketiga preferensi kebijakan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menyajikan gambaran objektif terhadap profil risiko dari setiap pilihan strategi, sehingga mampu menjadi instrumen evaluasi yang fleksibel bagi manajemen dalam memahami dampak alokasi distribusi yang adaptif terhadap berbagai tingkat toleransi risiko di lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari pembahasan latar belakang di atas, maka di rumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar perubahan nilai keseimbangan (*trade-off*) antara efisiensi biaya total dan ketahanan (*robustness*) sistem yang dihasilkan oleh masing – masing skenario preferensi risiko (*risk seeker, risk neutral,* dan *risk averse*) dalam menghadapi fluktuasi permintaan ekstrem ?
2. Apa perbedaan keputusan operasional yang dihasilkan dari ketiga skenario preferensi risiko tersebut ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian yang dilakukan :

1. Mengukur besar perubahan nilai keseimbangan (*trade-off*) antara efisiensi biaya total dan ketahanan (*robustness*) sistem yang dihasilkan oleh skenario preferensi risiko (*risk seeker, risk neutral,* dan *risk averse*) dalam menghadapi fluktuasi permintaan ekstrem.
2. Mengidentifikasi apa saja perbedaan keputusan operasional, seperti penentuan strategi alokasi *vendor* optimal yang diperoleh dari hasil optimasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari penelitian yang dilakukan:

1. Manfaat bagi Mahasiswa
   a. Menjadi wadah untuk menerapkan teori dan ilmu yang telah dipelajari selama masa perkuliahan.
   b. Mengembangkan pola berpikir analitis serta keterampilan untuk mencari solusi dari permasalahan komples yang ada di dunia kerja.
   c. Memenuhi salah satu persyaratan akademik guna meraih gelar sarjana Teknik Industri di Universitas Islam Indonesia.
2. Manfaat bagi Perusahaan
   a. Memberikan gambaran mengenai potensi risiko kerugian pada jaringan distribusi melalui pendekatan *Conditional Value at Risk* (CVaR).
   b. Memberikan rekomendasi strategi distribusi yang lebih efisien untuk meminimalkan biaya operasional pada seluruh level eselon.
   c. Membantu perusahaan dalam mengambil keputusan yang lebih tepat untuk mengoptimalkan stok dan sumber daya dalam menghadapi ketidakpastian pasar.
3. Manfaat bagi Dunia Akademik
   a. Menjadi referensi atau rujukan untuk peneliti berikutnya yang ingin mendalami topik terkait manajemen resiko pada jaringan distribusi multi-eselon dan multi-produk.
   b. Memperkaya kajian ilmiah mengenai penerapan pemodelan stokastik dalam menyelesaikan permasalahan nyata di bidang Teknik Industri.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian berperan untuk membatasi ruang lingkup pemodelan matematis agar pembahasan tetap fokus pada tujuan awal penelitian:

1. Penelitian ini dibatasi pada sistem jaringan rantai pasok multi-eselon dan multi-produk dengan studi kasus sesuai dengan operasional riil pada Perusahaan X.
2. Sturktur multi-eselon yang dianalisis dibatasi pada aliran distribusi dengan melibatkan 2 *vendor* utama di hulu hingga 5 *retailer* di hilir, aktivitas distribusi bersifat searah (*forward logistics*) dari hulu ke hilir.
3. Skenario ketidakpastian pasar dibatasi pada 4 kondisi bentukan, yaitu kondisi normal, *high demand* (lonjakan), *recession* (penurunan ekonomi), dan *disruption* (gangguan pasokan), diaman probabilitas terjadinya setiap risiko telah diketahui.
4. Menggunakan dua opsi alokasi *vendor* alternatif optimal terpilih untuk menghitung parameter dan memberikan perbandingan antara strategi - strategi optimal yang diperoleh.
5. Pengukuran risiko finansial menggunakan pendekatan CVaR pada tingkat kepercayaan (α) (α) sebesar 68%., 95%, dan 99%, dengan *risk aversion lambda (λ)* sebesar 0.5, 0.7, dan 0.8
6. Simulasi dan perbandingan preferensi risiko menejemen dibatasi pada 3 jenis perilaku, yaitu pengambil risiko (*risk seeker*), normal (*risk neutral*), dan penghindar risiko (*risk averse*).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur yang digunakan pada penelitian terdiri dari jurnal ilmiah serta studi yang relevan dengan pembahasan terkait optimasi rantai pasok. Tujuan dari adanya kajian literatur ini yaitu memberikan pemahaman mendalam serta menjadi acuan dalam penelitian. Dari hasil penelusuran yang dilakukan lewat basis data Elsevier hingga Google Scholar didapatkan sejumlah penelitian relevan yang dapat dijadikan acuan dalam penelitian ini.

Dimulai dengan penelitian yang dilakukan oleh Khoidir et al. (2025) dengan judul *Optimasi Jaringan Distribusi Multi-eselon dalam Rantai Pasok Multi Produk Menggunakan Mixed Integer Linear Programming,* dalam penelitian ini digunakan metode *Mmixed Integer Linear Programming* (MILP) sebagai pendekatan utama. Fokus metode ini yaitu meminimalkan biaya distribusi total dengan mempertimbangkan kendala kapasitas dan permintaan yang bervariasi pada setiap eselon. Hasil dari penelitian ini yaitu solusi berupa pola distribusi usulan berupa penambahan fasilitas *Distribution Center* (DC) yang mana menunjukkan efisiensi signifikan dengan pengurangan biaya distribusi sebesar 1,33% dari biaya awal perusahaan yang membuktikan bahwa penataan ulang jaringan distribusi *multi-eselon* secara matematis mampu meningkatkan profitabilitas operasional perusahaan.

Berikutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Jeremi & Vanany (2023) yang berjudul *Model Optimasi Rantai Pasok Susu Sapi Segar untuk Mereduksi Emisi Karbon dan Food Waste* menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) yang bertujuan untuk menjawab tantangan pada industri susu yang memiliki karakteristik mudah rusak (*perishable*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode MILP ini mampu mereduksi emisi karbon sebesar 11,35% dan menekan angka *food waste* hingga 10,75% lewat pengaturan ulang rute dan volume pengiriman yang lebih presisi. Selain itu dari segi finansial didapatkan keuntungan sebesar 5,10% yang membuktikan bahwa pendekatan optimasi matematis dapat menjadi instrumen strategis untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi ekonomi dan keberlanjutan lingkungan dalam manajemen rantai pasok pangan.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Porporatto et al. (2025) dengan judul penelitian yaitu *MILP reformulation and extension of multi-echelon inventory optimization* mengusulkan penggunaan model optimasi persediaan *Multi-Echelon Inventory Optimization* (MEIO) dengan

menggunakan pendekatan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) yang didasarkan pada strategi *Guaranteed Service Model* (GSM). Metode ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi komputasi dan performa penyelesaian model yang memungkinkan penentuan tingkat *safety stock* lebih optimal pada seluruh tingkatan rantai pasok serta fleksibel dalam mengakomodasi berbagai karakteristik permintaan, baik yang mengikuti distribusi normal maupun *poisson*. Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat menentukan penempatan inventaris yang strategis di berbagai eselon untuk memitigasi dampak variabilitas permintaan tanpa harus meningkatkan biaya penyimpanan secara berlebihan. Metode MILP berbasis GSM ini efektif dalam membantu perusahaan mengambil keputusan taktis mengenai kebijakan persediaan yang seimbang antara efisiensi biaya dan kepuasan pelanggan.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Arifin et al. (2024) dengan judul penelitian yaitu *Model Optimasi untuk Menentukan Tingkat Produksi Produk Multi Item Berkategori Cepat Rusak* berfokus pada pengembangan model matematis yang bertujuan untuk menentukan tingkat produksi optimal pada multi-produk dengan karakteristik produk cepat rusak (*perishable products*). Metode yang digunakan yaitu pemodelan optimasi deterministik dengan pendekatan sistem produksi *batch*, didasari atas kebutuhan untuk mengelola fasilitas produksi yang digunakan secara bersamaan oleh multi-produk dengan kegiatan produksi secara bergantian serta memitigasi risiko kerugian akibat produk berumur pendek. Hasil dari penerapan metode tersebut menunjukkan bahwa penekanan biaya kadaluwarsa dan penyimpanan memberikan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kebijakan produksi konvensional yang mana hal ini sangat relevan apabila diterapkan pada industri dengan karakteristik produk mudah rusak.

Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Philipus et al. (2026) dalam penelitian berjudul *Optimasi Rantai Pasok Tandan Buah Segar Dan Pelepah (Limbah) Kelapa Sawit Pada Hulu Rantai Pasok Industri Kelapa Sawit* menggunakan metode *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) yang menggunakan pendekatan *transshipment problem.* Metode MILP digunakan untuk memecahkan permasalahan yang ada di hulu rantai pasok di mana produk memiliki karakteristik cepat rusak, biaya logistik yang tinggi, hingga potensi ekonomi limbah yang belum ditinjau secara maksimal. Dilakukan penggabungan tiga fungsi tujuan yang berbeda yaitu minimasi kerugian produk akibat penurunan kualitas (*production loss*), minimasi biaya produksi secara keseluruhan, serta maksimasi keuntungan dari segi sosial dan ekonomi kedalam satu fungsi tujuan tunggal yang dioptimasi secara simultan. Implementasi dari model usulan

yang diberikan dapat menurunkan kerugian produksi sebesar 2% serta menekan biaya logistik dengan total hingga 8,8% dari usulan lokasi dan rute distribusi yang lebih efisien dari kebun ke pabrik.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan Indriani (2026) dalam jurnal berjudul *Penerapan Model Matematika dalam Optimasi Sistem Logistik untuk Efisiensi Distribusi Barang.* Model matematika menjadi istrumen untuk memaksimalkan efisiensi distribusi pada sistem logistik yang kompleks dengan metodologi optimasi mencakup pendekatan kuantitatif untuk menangani masalah distribusi berskala besar. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa model matematika mampu menekan biaya operasional transportasi, mempercepat waktu pengiriman, dan memastikan pemenuhan permintaan pelanggan lebih akurat. Selain dari efisiensi biaya, adanya simulasi *monte carlo* dalam kajian ini terbukti efektif untuk mengelola ketidakpastian operasional. Adanya integrasi antara model matematikaa dengan data logistik dapat meningkatkan mendukung ketahanan dan keberlanjutan sistem distribusi melalui pendekatan *green logistics*.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Setyorini (2025) dengan judul penelitian yaitu *Optimalisasi Manajemen Persediaan: Strategi Meningkatkan Efisiensi dan Mengurangi Biaya dalam Operasi Rantai Pasokan*, membahas terkait strategi peningkatan efisiensi rantai pasok dengan menggunakan metode studi literatur dan analisis komprehensif terhadap teknik manajemen persediaan modern seperti *Just-in-Time* (JIT), *Economic Order Quantity* (EOQ), dan *Vendor Managed Inventory* (VMI). Dari penelitian ini dihasilkan analisis yang menunjukkan bahwa dari penerapan strategi manajemen persediaan yang tepat dan didukung dengan sistem pemantauan basis data dapat memberi dampak signifikan terhadap pengurangan biaya operasional serta peningkatan layanan pelanggan. Penggunaan metode seperti EOQ terbukti efektif dalam menentukan kuantitas pesanan paling ekonomis, sementara JIT dan VMI berperan besar dalam mempercepat perputaran inventaris dan mempererat kolaborasi dengan pemasok.

Berikutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Van Wallendael et al. (2026) dengan judul penelitian *Mitigating Downside Risk: ESG Integration in Portfolio Construction with Stock Preselection Using Machine Learning and Mean-CVaR Optimization.* Pada penelitian ini, CVaR digunakan untuk mengukur resiko pada ekor distribusi (*tail risk*), di mana hal ini tidak mampu untuk ditangkap oleh metode varians tradisional. Penerapan dari pendekatan ini berguna mengevaluasi apakah integrasi kriteria *Environmental, Social, and Governance* (ESG)

dapat difungsikan sebagai *safe haven* selama masa krisis pasar, dengan fokus meminimalkan potensi kerugian ekstrem pada ringkat kepercayaan tertentu. Dari penelitian dengan studi kasus pasar saham tersebut didapatkan bahwa, portofolio yang diintegrasikan dengan skor ESG tinggi dan dioptimasi menggunakan CVaR terbukti efektif mampu mengurangi *downside risk* secara signifikan tanpa mengorbankan potensi imbal hasil secara berlebihan.

Pada penelitian yang dilakukan olehLo et al. (2023) dengan judul penelitian *A Novel Hybrid Method for Constructing Resilient Microalgae Supply* Chain : *Integration of n-1 Contingency Analysis with Stochastic Modelling,* menggunakan metode optimasi matematika untuk menentukan lokasi fasilitas dan simulasi *monte carlo* untuk aspek ketidakpastian dalam rantai pasok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi analisis kontingensi ke dalam pemodelan stokastik meningkatkan ketahanan rantai pasok mikroalga dibandingkan penggunaan optimasi tradisional. Simulasi *monte carlo* memberikan estimasi keuntungan dalam menghadapi variabilitas lingkungan dan pasar. Model ini juga mampu mengidentifikasi lokasi – lokasi strategis dengan profil risiko rendah untuk keberlanjutan pasokan bioenergi jangka panjang.

Berikutnya adalah penelitian yang oleh Yu Suen et al. (2023) dalam penelitiannya berjudul *A Two Stage Stochastic Model for A Multi-Objective Blood Platelet Supply Chain Network Design Problem Incorporating Frozen Platelets.* Dalam jurnal ini digunakan model stokastik dua tahap untuk pengambilan keputusan strategis pada tahap pertama dan keputusan operasional pada tahap kedua. Hasilnya menunjukkan bahwa adanya trombosit beku dapat menyangga stok persediaan darah apabila terjadi lonjakan permintaan ekstrem, bersamaan dengan penerapan model *goal programming* yang fleksibel untuk pengambilan keputusan dengan menetapkan target prioritas antara efisiensi biaya operasional dan *service level.*

Berdasarkan kajian literatur diatas, berikut merupakan *research gap* dari penelitian yang ada pada kajian literatur tersebut yang disajikan pada Tabel berikut

Tabel 2. 1 *Research Gap*

Penulis dan Tahun	Objek		Metode			
	Multi-produk	***Multi-eselon***	**CVaR**	**Model Stokastik & Simulasi**	**MILP**	**Manajemen Persediaan & Deterministik**
(Khoidir et al., 2025)	√	√			√	
(Jeremi & Vanany, 2023)					√	
(Porporatto, et al., 2025)		√				
(Arifin et al., 2024)	√					√
(Philipus et al., 2026)	√				√	
(Indriani, 2026)				√		
(Setyorini & Purwanti, 2025)						√
(Van Wallendael et al., 2026)			√			
(Lo et al., 2023)				√		
(Yu Suen et al., 2023)				√		√

Penulis dan Tahun	Objek		Metode			
	Multi-produk	***Multi-eselon***	**CVaR**	**Model Stokastik & Simulasi**	**MILP**	**Manajemen Persediaan & Deterministik**
Penelitian Saat Ini	√	√	√	√	√	√

Dari penelitian – penelitian terdahulu yang telah diulas, belum ada penelitian yang mengintegrasikan aspek multi-eselon, multi-produk, model stokastik, dan penggunaan pendekatan model CVaR secara bersamaan pada industri perangkat infrastruktur telekomunikasi. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan penelitian dengan integrasi aspek – aspek tersebut.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Optimasi Rantai Pasok

Optimasi rantai pasok merupakan integrasi antara pemodelan matematis, teori sistem stokastik, dan algoritma komputasi yang digunakan untuk mengevaluasi sekaligus meningkatkan performa jaringan logistik di tengah berbagai variabel ketidakpastian pasar. Hubungan optimasi dengan manajemen rantai pasok berada pada peran masing – masing, di mana optimasi bertindak sebagai instrumen pendukung keputusan (*decision support tool*) yang berguna mengubah kerangka kerja strategis dalam manajemen rantai pasok menjadi rencana operasional yang terukur secara kuantitatif(Lang et al, 2026). Menurut Philipus et al. (2026), optimasi diperlukan sebagai instrumen strategis yang menghubungkan antara efisiensi biaya operasional dan pencapaian tingkat layanan (*service level*) yang lebih optimal. Model matematis ini memungkinkan perusahaan untuk mengidentifikasi titik temu terbaik (*trade-off*) dengan cara mengatur aliran barang secara presisi, sehingga efisiensi sumber daya dapat tercapai tanpa mengorbankan kepuasan pelanggan atau standar kualitas produk yang telah ditetapkan.

Berdasarkan penelitian oleh Risqi et al. (2025), yang membahas bahwa dalam perspektif Teknik Industri, model optimasi kuantitatif dibangun oleh tiga komponen struktural utama, yaitu variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala. Variabel keputusan akan merepresentasikan opsi keputusan yang ingin dicari nilai optimalnya dan berada dibawah kendali penuh pengambilan keputusan, seperti penentuan rute distribusi aktif dan volume kuota dari pasokan produk. Fungsi tujuan merupakan representasi matematis dari performa sistem yang ingin dicapai, seperti meminimalkan ekspektasi total biaya logistik terintegrasi sekaligus memitigasi potensi risiko finansial pada ekor distribusi (*tail risk*). Sementara itu untuk fungsi kendala merupakan kumpulan Persamaan atau ketidaksamaan matematis yang membatasi ruang solusi operasional berdasarkan kondsi riil di lapangan, seperti keterbatasan pada kapasitas *vendor*, pemenuhan permintaan di tingkat *retailer*, tingkat keandalan (*reliability*), hingga batas preferensi risiko yang ditentukan oleh pihak manajemen.

2.2.2 Rantai Pasok Multi-Eselon

Rantai pasok multi-eselon merupakan sebuah sistem distribusi dan penyimpanan yang terdiri dari beberapa tingkatan atau lapisan hirarkis yang saling berhubungan dalam suatu aliran produk dari hulu ke hilir (Wang, Liu, Geng, & Hill, 2026). Dalam perspektif operasional, eselon merepresentasikan titik – titik di mana inventori akan disimpan ataupun diproses sebelum

produk dikirimkan ke tingkat berikutnya, seperti dari pemasok ke pusat manufaktur, lalu dilanjutkan ke pusat distribusi, dan berakhir sampai ke pengecer. Dalam struktur ini, keputusan yang diambil pada satu tingkatan eselon akan secara langsung memengaruhi ketersediaan stok dan biaya operasional di tingkatan berikutnya, sehingga pengelolaan jaringan multi-eselon membutuhkan koordinasi yang bersifat sistematis pada seluruh *level* untuk meminimalkan total biaya sistem serta menghindari penumpukan stok pada satu titik tertentu (Kayvanfar et al., 2018) . Berikut ini adalah entitas penyusun yang ada dalam aliran distribusi rantai pasok secara umum menurut (Fu et al, 2022):

1. Pemasok (*supplier*)

   Pemasok menjadi hulu dari segala rangkaian rantai pasok di mana bagian ini bertugas untuk menyediakan serta menyalurkan bahan baku, komponen, ataupun sumber daya mentah yang dibutuhkan dalam proses produksi
2. Pusat Manufaktur (*Manufacturing Plants*)

   Pusat manufaktur menjadi titik di mana terjadinya transformasi nilai pada bahan baku. Bahan baku akan diolah menjadi produk jadi mealui serangkaian proses produksi hingga akhirnya siap untuk didistribusikan.
3. Pusat Distribusi (*Distribution Center*)

   Pusat distribusi memiliki tanggung jawab atas penyimpanan inventori dalam volume besar, hingga pengaturan kuota pengiriman ke berbagai wilayah.
4. Pengecer (*Retailers*)

   Titik ini menjadi titik hilir yang nantinya akan berinteraksi langsung dengan pelanggan. Pengecer menyimpan stok dalam jumlah sedikit namun dengan frekuensi perputaran yang tinggi.
5. Konsumen Akhir

   Konsumen akhir adalah titik akhir dari alur distribusi, di mana mereka adalah pengguna dari produk yang telah didistribusikan lewat eselon -eselon sebelumnya. Perputaran produk yang terjadi diantara konsumen inilah yang nantinya akan menciptakan data permintaan yang sering kali bersifat fluktuatif.

2.2.3 Rantai Pasok Multi-Produk

Rantai pasok multi-produk didefinisikan sebagai sebuah sistem manajemen distribusi yang menangani berbagai jenis barang dengan karakteristik yang beragam, perbedaan volume, serta

pola permintaan yang berbeda dalam suatu jaringan operasional. Rantai pasok dengan pengelolaan *multi-produk* membutuhkan koordinasi yang lebih intensif dibandingkan dengan rantai pasok produk tunggal, hal ini disebabkan oleh adanya variasi dalam biaya penanganan, masa simpan/pemakaian produk, hingga kebutuhan ruang angkut dalam pemindahan produk (Handayani et al., 2023).

2.2.4 Model Stokastik

Model stokastik adalah sebuah pendekatan pemodelan matematika yang digunakan untuk menggambarkan sistem yang mengandung unsur ketidakpastian. Model stokastik tidak menggunakan angka tetap melainkan variabel acak yang memiliki peluang ataupun distribusi tertentu. Penggunaan model stokastik sangat penting digunakan dalam optimasi rantai pasok dikarenakan penggunaannya dapat membantu pengambilan keputusan dalam menghadapi fluktuasi pasar(Pandega et al., 2025). Model stokastik mensimulasikan berbagai kondisi, baik itu kondisi normal hingga kondisi yang ekstrem. Dengan memahami kondisi – kondisi tersebut, model dapat memberi keputusan yang lebih kuat dan tahan banting (*robust*) dengan adanya perubahan situasi yang terjadi di lapangan (Bilgen et al., 2026).

2.2.5 *Value at Risk* (VaR)

Value at Risk (VaR) merupakan salah satu metode kunatitatif yang digunakan dalam pengukuran manajemen risiko finansial untuk mengukur dan mengestimasi potensi kerugian maksimum suatu aset pada tingkat kepercayaan (α) (*confidence level*) tertentu dalam cakupan periode waktu spesifik (Wu et al., 2022). Dalam perkembangannya, VaR tidak hanya dipandang sebagai angka metrik statistic konvensional, namun juga dapat menjadi sebuah instrument yang berfokus pada pengambilan keputusan. Menurut Singagerda et al. (2025), VaR dapat menangkap dinamika risiko yang kompleks secara akurat, sehingga memfasilitasi proses evaluasi terhadap karakteristik *trade-off* antara ekspektasi pendapatan dan volatilitas sistem secara nyata. Selain itu dikatakan juga dalam penelitian oleh Melnikov (2026) bahwa dalam suatu pemodelan, VaR dapat menjadi batasan aman guna memperkirakan bahwa kerugian nyata tidak akan melebihi angka VaR tersebut pada kondisi normal. Berikut adalah rumus dar VaR berdasarkan jurnal penelitian oleh (Sakr et al., 2026):

$$VaR_{\propto}\big(L(x)\big) := \inf\{z \in \mathbb{R} : F(z, x) \geq \alpha\} \tag{2.1}$$

Rumus tersebut dapat dibah menjadi bentuk lebih sederhana yaitu:

$$VaR_{\propto}(X) = F^{-1}(\alpha) \tag{2.2}$$

Dikatakan oleh Tyrrell Rockafellar & Uryasev (2001), bahwa nilai infers dari suatu fungsi distribusi kumulatif bernilai lebih besar atau sama dengan tingkat kepercayaan (α). Namun VaR mempunyai kelemahan karena tidak bisa mendeteksi seberapa besar kerugian yang terjadi apabila kondisi buruk yang ekstrem benar – benar lewat dari batasan tersebut. Oleh karena itu, penelitian modern sering kali dilengkapi oleh *Conditional Value at Risk* (CVaR). CVaR nantinya akan menghitung rata – rata nilai kerugian ekstrem yang berada diluar batas VaR, sehingga model perhitungan matematika yang dibuat menjadi lebih akurat dan stabil dalam mengantisipasi risiko terburuk (Xiao et al., 2023).

2.2.6 *Condition Value at Risk* (CVaR)

Untuk mengatasi keterbatasan struktural yang dimiliki VaR, dikembangkan metode *Conditional Value at Risk* (CVaR). CVaR definisikan sebagai nilai ekspektasi matematis rata – rata kerugian yang berada di ambang batas VaR pada tingkat kepercayaan (α) yang sama. Penggunaan pendekatan CVaR mampu memberikan estimasi kuantitatif yang lebih komprehensif mengenai tingkat keparahan risiko ekstrem pada ekor distribusi yang sangat krusial dalam memitigasi skenario terburuk akibat fluktuasi permintaan dan gangguan pasokan (Hitaj et al., 2026). Dalam penelitian oleh Acerbi & Tasche (2002), bahwa CVaR merepresentasikan rata – rata dari seluruh potensi kerugian ekstrem pada ujung ekor distribusi. Hubungan matematis antara CVaR dan VaR secara formal dapat disajikan dalam Persamaan berikut (Tyrrell Rockafellar & Uryasev, 2001):

$$\mathrm{CVaR}_{\alpha}(X) = \mathbb{E}[X \mid X \geq \mathrm{VaR}_{\alpha}(X)] = \frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} \mathrm{VaR}_{\gamma}\,(X)\, d\gamma \tag{2.3}$$

Perhitungan secara langsung dalam model optimasi rantai pasok stokastik berbasis skenario akan menjadi rumit karena nilai VaR perlu diketahui. Untuk mengatasi kendala tersebut, Tyrrell Rockafellar & Uryasev (2001) juga memperkenalkan formulasi *shortcut* optimasi yang mengalihkan fungsi integral menjadi bentuk miniasi fungsi bantu $\phi(x, \eta)$. Lewat

pendekatan ini, CVaR dapat dihitung secara simultan tanpa harus mencari nilai VaR secara terpisah dari awal. Fungsi tersebut dapat disajikan melalui Persamaan berikut (Tyrrell Rockafellar & Uryasev, 2001):

$$\phi(x,\eta) \coloneqq \eta + \frac{1}{1-\alpha}\,\mathbb{E}[(L(x)-\eta)_+] \tag{2.4}$$

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah jaringan distribusi rantai pasok multi-eselon dan multi-produk yang dimodelkan dengan model matematis dengan mengintegrasikan pendekatan CVaR untuk meminimalkan biaya rata – rata namun tetap tangguh dari kerugian atau kelangkaan produk ketika skenario terburuk terjadi.

3.2 Subjek Penelitian

Subjek dari penelitian ini yaitu Perusahaan X yang mendistribusikan produk berupa pemancar atau alat telekomunikasi, produk spesifik yang dibahas dalam penelitian ini yaitu *transceiver*. Pada pembahasan aka nada dua jenis produk berbeda yaitu tipe TRX-10G SFP+ dan TRX-100G QSFP28. Untuk produk spesifik ini, perusahaan bekerja sama dengan 2 *vendor* dan 5 *retailer* yang tersebar di beberapa wilayah di Indonesia.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Berikut adalah dua metode utama yang digunakan dalam pengumpulan data:

1. Metode Pencatatan Data Historis
   Dilakukan dengan mengambil data kuantitatif dari catatan internal milik perusahaan yang menjadi subjek penelitian. Data yang digunakan merupakan kompilasi data riil dari sistem operasional rantai pasok perusahaan.
2. Studi Pustaka
   Dilakukan dengan mengumpulkan informasi hingga asumsi matematis dari literatur ilmiah terdahulu, buku, dan artikel yang relevan dengan isi pembahasan.

3.4 Jenis Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang mencakup data historis operasional riil dari Perusahaan X serta mengikutsertaakan penggunaan referensi dari jurnal penelitian terdahulu, serta buku dengan pembahasan yang relevan dengan penelitian yang dilakukan. Berikut merupakan data yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Data *vendor*

Perusahaan X yang menjadi subjek dari penelitian ini bekerja sama dengan 2 *vendor*. Informasi terkait *vendor* mencakup ID *vendor* serta kapasitas bulanan untuk masing – masing *vendor.*

2. Data *retailer*

   Perusahaan X memiliki 5 *retailer* berbeda yang tersebar di beberapa titik lokasi di Indonesia dengan *demand index* berbeda utuk masing masing *retailer*.

3. Data Produk

   Jaringan distribusi yang diteliti dibatasi pada produk *transceiver* yang didistribusikan oleh Perusahaan X. Produk ini memiliki dua macam produk dengan struktur biaya berbeda untuk masing – masing produknya. Berikut adalah produk yang didistribusikan pada alur distribusi yang diteliti:

   a. TRX-10G SFP+
   b. TRX-100G QSFP28

4. Data Skenario Permintaan (*Demand Scenarios*)

   Data stokastik yang mencerminkan berbagai kondisi ketidakpastian pasar di masa mendatang.

3.5 Komponen Model

3.5.1 Notasi Model

Berikut merupakan notasi model yang akan digunakan dalam penelitian:

1. Indeks

   v : Indeks untuk *vendor*/ pemasok, (v = 1, 2,..., v)

   r : Indeks untuk *retailer*/ pengecer, (r = 1, 2,..., r)

   p : Indeks untuk jenis produk (p = 1, 2,…, p)

   s : Indeks untuk skenario ketidakpastian permintaan (s = 1,2,…, s)

2. Parameter Operasional

   p_s : Probabilitas terjadinya skenario permintaan s

   D_{rps} : Jumlah unit permintaan produk p di *retailer* r pada skenario s

   Cap_{vp} : Kapasitas produksi maksimum *vendor* v untuk menghasilkan produk p

   Cap_{vr} : Kapasitas pengiriman total maksimum dari *vendor* v ke retailer r

   FC_{vr} : Biaya tetap untuk operasional jalur distribusi dari *vendor* v ke *retailer* r

PR_{vp} : Harga pembelian dasar per unit produk *p* dari *vendor v*

TR_{vrp} : Biaya transportasi variabel per unit produk *p* dari *vendor v* ke *retailer r*

SP_p : Harga jual per unit produk *p* kepada konsumen akhir di tingkat *retailer*

HC_{rp} : Biaya simpan per unit produk *p* yang tersisa di *retailer r*

SC_{rp} : Denda kekurangan stok per unit produk *p* di *retailer r*

EC_{rp} : Biaya pengadaan darurat per unit produk *p* di *retailer r*

α : Tingkat kepercayaan (α) kontrol risiko finansial

λ : Parameter bobot preferensi risiko pihak manajemen ($0 \leq \lambda \leq 1$)

3. Variabel Keputusan Tahap Pertama

Y_{vr} : Variabel keputusan biner; bernilai satu jika jalur distribusi dari *vendor v* ke *retailer r* digunakan, dan 0 jika tidak digunakan.

η : Variabel kontinu bebas; merepresentasikan estimasi nilai *Value at Risk* (VaR) pada tingkat kepercayaan (α)

4. Variabel Keputusan Tahap Kedua

X_{vrps} : Variabel kuantitas kontinu; jumlah produk *p* yang dikirim dari *vendor v* ke *retailer r* pada skenario *s*.

u_s : Variabel pembantu linierisasi risiko kontinu non-negatif; menangkap nilai penyimpangan positif kerugian di atas batas VaR (η) pada skenario *s*.

5. Variabel Perhitungan

S_{rps} : Jumlah unit produk *p* terjual di *retailer r* pada *skenario s*

E_{rps} : Jumlah unit produk *p* dengan stok berlebih di *retailer r* pada skenario *s*

K_{rps} : Jumlah unit produk *p* yang mengalami kekurangan stok di *retailer r* pada skenario *s*

Rev_s : Total pendapatan system rantai pasok pada skenario *s*

Opc_s : Total biaya operasional regular pada skenario *s*

Stc_s : Total biaya penalti stokastik pada skenario *s*

Loss_s : Fungsi Kerugian Bersih finansial rantai pasok pada skenario *s*

6. Variabel Keputusan

3.6 Formulasi Model Matematis

3.6.1 Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari Persamaan (3.1) meminimalkan total biaya investasi pada awal jalur distribusi beserta ekspektasi biaya total operasional harian, serta pembobotan risiko kerugian finansial menggunakan pendekatan CVaR linier.

$$\sum_{\mathrm{v}=1}^{V}\sum_{r=1}^{R} FC_{vr} \times Y_{vr} + \sum_{s=1}^{S} P_s \times (\mathrm{Opc}_s + Stc_s) + \lambda \left(\eta \frac{1}{1-\alpha} \sum_{s=1}^{S} P_s \times u_s\right) \qquad (3.1)$$

Keterangan:

$\sum_{\mathrm{v}=1}^{V}\sum_{r=1}^{R} FC_{vr} \times Y_{vr}$: Total biaya tetap untuk membuka jular distribusi *vendor* – retailer

$\sum_{s=1}^{S} P_s \times (\mathrm{Opc}_s + Stc_s)$: Ekspektasi nilai rata – rata dari biaya operasional dan denda stokastik di seluruh skenario

$\lambda \left(\eta \frac{1}{1-\alpha} \sum_{s=1}^{S} P_s \times u_s\right)$: Nilai CVaR (Risiko kerugian ekstrem). Parameter λ menjadi bobot; $\lambda = 0$, perusahaan tidak peduli risiko, jika λ = 1 perusahaan sangat menghindari risiko (risk averse).

3.6.2 Fungsi Kendala

Persamaan (3.2) merupakan kendala dari kapasitas pengiriman dan aktivasi jalur distribusi (*forcing constraint*). Kendala ini menjamin bahwa aliran produk hanya dapat dialokasikan dari *vendor* ke retailer apabila jalur distribusinya telah dipilih dan diaktifkan pada keputusan tahap pertama serta memastikan volume pengiriman produk – produk tersebut tidak melampaui kapasitas armada pengiriman yang telah disediakan.

$$\sum_{p=1}^{P} X_{vrps} \leq Cap_{vr} \times Y_{vr}, \qquad \forall v, \forall r, \forall s \qquad (3.2)$$

Keterangan:

$\forall$: Lambang logika matematika yang berarti ”untuk setiap” atau ”untuk semua”.

3.6.3 Kendala Batas Suplai *Vendor*

Persamaan (3.3) akan mendefinisikan kendala kapasitas produksi pada tingkat penyedia. Kendala ini memastikan bahwa akumulasi jumlah pengiriman suatu jenis produk *p* dari *vendor v* ke seluruh jaringan *retailer r* yang dilayani pada suatu skenario permintaan tidak boleh melebihi batas maksimum kapasitas produksi operasional yang dimiliki oleh *vendor* tersebut.

$$\sum_{r=1}^{R} X_{vrps} \leq Cap_{vp}, \quad \forall v, \forall p, \forall s \tag{3.3}$$

3.6.4 Kendala Batas Unit Terjual (*Sales Upper Bounds*)

Persamaan (3.4) dan (3.5) adalah kendala yang membatasi volume penjualan riil di tingkat retailer untuk masing masing skenario. Kendala (3.4) memastikan bahwa jumlah produk yang terjual tidak melebihi total dari persediaan fisik yang diterima dari seluruh vendor, sedangkan untuk kendala (3.5) memastikan bahwa jumlah penjualan nantinya tidak melebihi titik jenuh dari permintaan pasar aktual pada skenario tersebut.

$$S_{rps} \leq \sum_{v=1}^{V} X_{vrps}, \quad \forall r, \forall p, \forall s \tag{3.4}$$

$$S_{rps} \leq D_{rps}, \quad \forall r, \forall p, \forall s \tag{3.5}$$

3.6.5 Kendala Penentuan Kelebihan Stok (*Excess Inventory*)

Persamaan (3.6) berfungsi sebagai kendala kesetimbangan inventori untuk menghitung volume kelebihan produk di gudang retailer. Apabila akumulasi volume pengiriman produk yang masuk ke retailer lebih besar dari jumlah unit yang berhasil diserap pasar, maka selisih tersebut akan diidentifikasi sebagai stok tersisa yang memicu timbulnya biaya simpan.

$$E_{rps} = \sum_{v=1}^{V} X_{vrps} - S_{rps}, \quad \forall r, \forall p, \forall s \tag{3.6}$$

3.6.6 Kendala Penentuan Kekurangan Stok (Shortage)

Persamaan (3.7) digunakan untuk menghitung volume kekurangan stok pada setiap skenario. Kendala ini akan menangkap selisih unit pada realisasi permintaan pasar di tingkat retailer berada di atas volume penjualan aktual, di mana nilai penalti kekurangan selanjutnya akan dikonversikan menjadi biaya penalti kehilangan penjualan dan biaya pengadaan darurat.

$$K_{rps} = D_{rps} - S_{rps}, \quad \forall r, \forall p, \forall s \tag{3.7}$$

3.6.7 Formulasi Komponen Finansial Skenario

Persamaan (3.8), (3.9) , dan (3.10) adalah fungsi pemodelan akuntansi yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja keuangan jaringan pada setiap skenario permintaan. Persamaan (3.8) menghitung total pendapatan dari unit terjual, Persamaan (3.9) mengalkulasikan pengeluaran operasional regular berupa biaya pembelian dasar dan biaya transportasi variabel, dan untuk Persamaan (3.10) merangkum pengeluaran penalti stokastik akibat dampak ketidakpastian permintaan (biaya simpan, denda kekurangan stok, dan biaya darurat).

$$Rev_s = \sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P} SP_p \times S_{rps}, \quad \forall s \tag{3.8}$$

$$Opc_s = \sum_{v=1}^{V}\sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P}\left(PR_{vp} + TR_{vrp}\right) \times X_{vrps}, \quad \forall s \tag{3.9}$$

$$Stc_s = \sum_{r=1}^{R}\sum_{p=1}^{P}(HC_{rp} \times E_{rps} + (SC_{rp} + EC_{rp}) \times K_{rps}), \quad \forall s \tag{3.10}$$

3.6.8 Formulasi Fungsi Kerugian Finansial Bersih

Persamaan (3.11) berikut menetapkan fungsi kerugian bersih (net loss) operasi perusahaan untuk masing – masing skenario. Nilai kerugian didefinnisikan sebagai total seluruh biaya yang dikeluarkan oleh sistem yang mencakup biaya investasi tetap tahap pertama, biaya operasional regular, serta biaya penalti stokastik dan akan dikurangi dengan total pendapatan bersih yang diperoleh pada skenario terkait.

$$Loss_s = \left(\sum_{v=1}^{V} \sum_{r=1}^{R} FC_{vr} \times Y_{vr} + Opc_s + Stc_s \right) - Rev_s, \quad \forall s \tag{3.11}$$

3.6.9 Kendala Linearisasi Risiko CVaR

Persamaan (3.12) dan (3.13) menerapkan fungsi linier piecewise untuk mengukur nilai risiko ekor berdasarkan teorema linearisasi CVaR. Kendala ini berfungsi menyaring dan menangkap deviasi kerugian positif dari skenario – skenario ekstrem yang nilainya berada di atas ambang batas VaR (η). Apabila kerugian skenario berada di bawah nilai VaR, variabel pembantu otomatis bernilai 0, namun jika melampaui nilai tersebut, maka nilai selisih kerugian akan ditransfer ke fungsi tujuan untuk diminimalkan.

$$u_s \geq Loss_s - \eta, \quad \forall s \tag{3.12}$$

$$u_s \geq 0, \quad \forall s \tag{3.13}$$

3.6.10 Kendala Batas Sifat dan Karakteristik Variabel

Persamaan (3.14), (3.15), dan (3.16) mengatur batas sifat matematis dari masing – masing variabel keputusan di dalam model. Persamaan (3.14) mengunci variabel investasi jalur sebagai variabel biner (0 atau 1), Persamaan (3.15) memastikan variabel operasional fisik dan aliran barang bersifat non – negatif, dan untuk Persamaan (3.16) menetapkan variabel batas VaR sebagai variabel kontinu bebas.

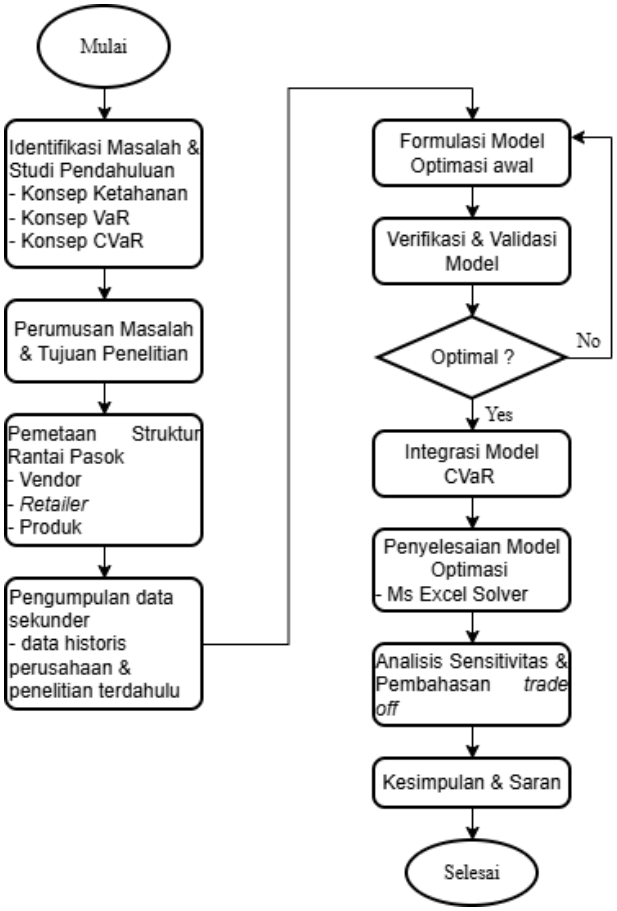
$$Y_{vr} \in \{0,1\}, \quad \forall v, \forall r \tag{3.14}$$

$$X_{vrps}, S_{rps}, E_{rps}, K_{rps} \geq 0, \quad \forall v, \forall r, \forall p, \forall s \tag{3.15}$$

$$\eta \in \mathbb{R} \tag{3.16}$$

3.7 Alur Penelitian

Berikut ini adalah *flowchart* yang menampilkan langkah - langkah penelitian :



Gambar 3. 1 Diagram alur Penelitian

Dari gambar alur metode penelitian tersebut, berikut merupakan penjelasan setiap tahapan yang ada pada alur metode penelitian :

1. Mulai

   Sebagai penanda dimulainya kegiatan penelitian.
2. Identifikasi Masalah dan Studi Pendahuluan

   Melakukan observasi pada sistem logistik Perusahaan X terhadap ketidakpastian pasar, serta mengumpulkan teori – teori konsep dasar dari ketahanan, VaR, hingga CVaR.
3. Perumusan Masalah dan Tujuan Penelitian

   Menyusun pertanyaan inti penelitian yang nantinya akan menjadi batas arahan pembahasan skripsi.
4. Penentuan Struktur Rantai Pasok

Menentukan batasan objek penelitian sistem multi eselon dan multi produk, seperti jumlah *vendor*, jumlah produk yang didistribusikan, dan jumlah *retailer*.

5. Pengumpulan Data

   Menggunakan data sekunder berupa data historis operasional perusahaan.

6. Formulasi Model Optimasi Awal

   Menyusun formula matematika untuk meminimalkan total biaya logistik serta merancang Persamaan fungsi kendala (*constraints*).

7. Verifikasi dan Validasi Model

   Menguji formula menggunakan alat bantu atau *software* komputasi untuk memastikan model bebas dari kesalahan dan sudah sesuai dengan kondisi nyata perusahaan.

8. Integrasi CVaR

   Mengintegrasikan pemodelan CVaR dengan parameter tingkat kepercayaan (α) yag telah ditentukan.

9. Penyelesaian Model Optimasi

   Mensimulasikan dan membandingkan hasil performa dari tiga preferensi risiko pihak manajemen menggunakan *Solver.*

10. Analisis Sensitivitas dan Pembahasan

    Menghitung besar *trade-off* biaya yang dihasilkan serta menganalisis perubahan strategi distribusi yang akan digunakan

11. Kesimpulan dan Saran

    Merangkum hasil dari preferensi risiko berdasarkan skenario yang telah dibuat dan memberikan rekomendasi perbaikan kedepan terutama pada bagian operasional jaringan distribusi rantai pasok milik Perusahaan X.

12. Selesai

    Sebagai penanda berakhirnya kegiatan penelitian.

BAB IV
PENGUMPULAN & PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data pada penelitian ini sepenuhnya menggunakan metode pengumpulan data sekunder yang bersumber dari dokumen laporan logistik, catatan keuangan, dan basis data historis internal perusahaan yang menjadi subjek penelitian. Data yang kumpulkan mencakup data terkait kapasitas produksi maksimum di tingkat *vendor*, batas kapasitas total pengiriman logistik, serta biaya tetap yang diperlukan untuk membuka atau mengaktifkan setiap jalur distribusi dari *vendor* ke *retailer*. Selain itu, didapatkan juga data operasional dan finansial yang mencakup harga jual produk di tingkat *retailer,* biaya penalti kelangkaan produk (*shortage cost*), biaya simpan (*holding cost*), hingga biaya transportasi (*transport cost*) untuk masing – masing jenis produk yang telah dicatat dan masuk sebagai data historis milik perusahaan.

Seluruh data sekunder tersebut kemudian dirangkum ke dalam format lembar kerja (*spreadsheet*) *Excel.* Data historis *demand* produk yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar untuk menciptakan skenario. Hasil akhir dari seluruh rangkaian pengumpulan data ini akan digunakan sebagai data *input* ke dalam model matematika pemodelan stokastik untuk mengoptimalkan biaya logistik menjadi tiga skenario preferensi risiko berbeda untuk tiga tingkat kepercayaan (α) beserta risiko finansial VaR dan CVaR.

4.1.1 Data Vendor

Berikut pada Tabel 4.1, disajikan data *vendor* yang bekerja sama dengan Perusahaan X dalam jaringan distribusi. Data *vendor* terdiri dari *vendor* ID, kapasitas bulanan distribusi, biaya transportasi *vendor* ke *retailer,* dan biaya kapasitas distribusi pada masing – masing *vendor* untuk setiap proses distribusi yang dijalankan.

Tabel 4. 1 Data *Vendor*

Vendor ID	Kapasitas Unit (Bulan)	*Transport Cost* (Rp)					*Lane Capacity*
		R1	R2	R3	R4	R5	
V1	1000	53,000	61,000	69,000	77,000	85,000	600
V2	900	95,000	88,000	81,000	74,000	67,000	600

4.1.2 Data *Retailer*

Pada Tabel 4.2 berikut, disajikan data *retailer* yang dimiliki oleh Perusahaan X sebagai penyuplai produk di hilir jaringan distribusi. Data ini mencakup *retailer* ID, nama *retailer*, dan indeks permintaan (*demand index*).

Tabel 4. 2 Data *Retailer*

Retailer ID	Nama *Retailer*	*Demand Index*
R1	JON	1.25
R2	BFC	1.1
R3	STS	0.95
R4	SDH	0.85
R5	YNM	0.75

4.1.3 Data Produk

Pada jaringan distribusi yang menjadi objek penelitian, terdapat dua produk yang didistribusikan dari hulu ke hilir. Pada Tabel 4.3 berikut, disajikan data produk yang menjadi objek produk yang diteliti pada Perusahaan X. Data ini terdiri dari ID produk, kode produk, harga jual produk (*Unit Purchase Cost*), jumlah permintaan dasar (*base demand),* biaya simpan (*holding cost*), dan biaya penalti (*shortage penalty*).

Tabel 4. 3 Data Produk

ID Produk	Kode Produk	*Base Demand*	*Unit Purchase Cost* (Rp)	*Holding Cost* per Unit (Rp)	*Shortage Penalty* per Unit (Rp)
P1	10G SFP+ *Transceiver*	220	850,000	35,000	420,000
P2	100g QSFP28 *Transceiver*	70	3,200,000	120,000	1,350,000

4.1.4 Data Skenario Permintaan

Pada Tabel 4.4, disajikan data skenario permintaan yang dimiliki oleh Perusahaan X. Data ini mencakup ID untuk masing – masing skenario, tipe skenario dan *common demand shock* dari masing – masing skenario. Untuk mengakomodasi ketidakpastian pasar secara stokastik, diambil 30 skenario permintaan dengan rentang indeks kondisi pasar yang variatif. Pemilihan jumlah 30 skenario perminataan dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan prinsip kecukupan statistik serta efisiensi komputasi dalam analisis sensitivitas. Dalam literatur oleh Montgomery Douglas & Runger George (2014), jumlah n = 30 umumnya diangga batas minimum sampel yang memadai untuk memenuhi *central limit theorem* di mana distribusi variabel acak atau hasil simulasi mulai mendekati distribusi normal dan menghasilkan estimasi parameter yang stabil. Variabilitas ini berfungsi untuk memicu munculnya risiko penalti kelangkaan dan biaya simpan di latar belakang model, yang menjadi basis data bagi kalkulasi instrumen risiko finansial.

Tabel 4. 4 Skenario Permintaan

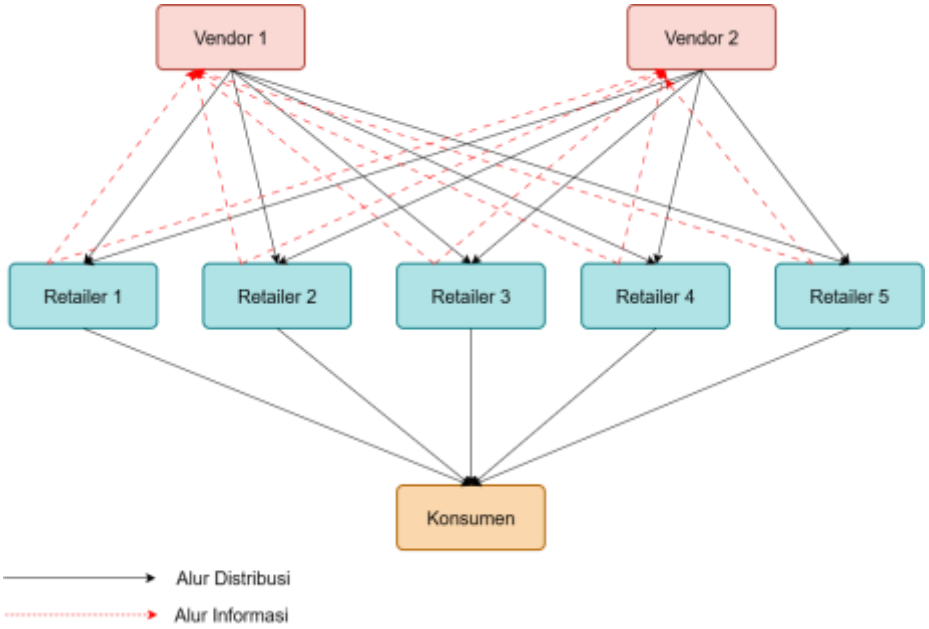
ID skenario	Tipe Skenario	*Common Demand Shock*
S01	Recession	0.78
S02	Normal	0.96
S03	Normal	0.99
S04	Normal	1.01
S05	Normal	1.04
S06	HighDemand	1.16
S07	Normal	0.93
S08	HighDemand	1.22
S09	Disruption	1.12
S10	Recession	0.82
S11	Normal	1.00
S12	High Demand	1.28
S13	Normal	0.97
S14	Normal	1.05
S15	Disruption	1.18

ID skenario	Tipe Skenario	*Common Demand Shock*
S16	Low Demand	0.88
S17	High Demand	1.24
S18	Normal	1.02
S19	Recession	0.76
S20	Normal	0.95
S21	Normal	1.08
S22	Disruption	1.30
S23	Normal	1.03
S24	Low Demand	0.86
S25	High Demand	1.20
S26	Normal	0.98
S27	Disruption	1.15
S28	Normal	1.06
S29	Recession	0.80
S30	High Demand	1.26

4.2 Visualisasi Alur dan Jaringan Distribusi

Visualisasi jaringan distribusi diperlukan untuk memberi gambaran arah alur aliran produk bergerak dari hulu hingga ke hilir. Jaringan distribusi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan struktur multi-eselon dan multi-produk, di mana aliran barang harus melalui tingkatan eselon yang terstruktur.

Jaringan distribusi pada penelitian ini digambarkan lewat Gambar 4.1, di mana jaringan ini melibatkan dua *vendor* utama sebagai eselon yang menyediakan pasokan pada hulu distribusi. Pada jaringan ini terdapat dua macam produk yang didistribusikan oleh Perusahaan X dan akan dialirkan ke *retailer* sebagai eselon pada hilir jaringan distribusi. Berikut merupakan visualisasi koneksi alur pengiriman dalam struktur jaringan distribusi tersebut:



Gambar 4. 1 Alur Jaringan Distribusi dan Informasi

Berdasarkan gambar 4.1 di atas, struktur jaringan direpresentasikan menggunakan kotak entitas yang melambangkan fasilitas pada setiap eselon, serta garis panah berarah yang menggambarkan aktivitas operasional terintegrasi. Alur distribusi pada gambar tersebut juga dibagi menjadi dua bentuk aliran utama yaitu:

1. Alur distribusi fisik

   Dilambangkan dengan anak panah berwarna hitam solid, alur ini menunjukkan pergerakan dari dua varian produk. Eselon pertama diisi oleh *vendor* 1 dan *vendor* 2 yang memiliki peran pada alur distribusi hulu. Produk tersebut kemudian didistribusikan secara paralel menuju eselon kedua yaitu *retailer* yang bertanggung jawab mengalirkan produk ke eselon akhir yaitu konsumen.

2. Alur Informasi dan Permintaan

   Berbeda dengan alur fisik, alur informasi bergerak dengan arah berlawanan, yaitu dari hilir ke hulu. Alur ini berperan untuk memetakan bagaimana data permintaan pasar dari tingkat konsumen diteruskan ke tingkat *retailer*. Informasi ini nantinya yang akan memberikan informasi dan memicu munculnya skenario fluktuasi permintaan di tingkat *retailer*. Data informasi permintaan tersebut kemudia akan diolah untuk kemudian menjadi acuan bagi perusahaan untuk rencana suplai dan alokasi kebutuhan distribusi dari *vendor* pada alur distribusi yang akan dijalankan kedepannya.

4.3 Pengolahan Data dan Formulasi Model Optimasi

Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan *Solver* pada *Microsoft Excel*. Tahapan ini dilakukan untuk mengonversikan model konsep rantai pasok ke dalam perhitungan matematis guna menemukan kombinasi kuantitas pengiriman paling efisien dengan mempertimbangkan *trade-off* antara minimasi biaya operasional dan mitigasi risiko finansial.

4.3.1. Parameter Model Finansial dan *Output* Finansial

Parameter model merupakan angka – angka yang akan menjadi input dalam model guna membatasi dan membentuk karakteristik finansial dari sistem yang diteliti. Pada penelitian ini digunakan beberapa parameter model sebagai berikut:

1. Tingkat Kepercayaan (α)

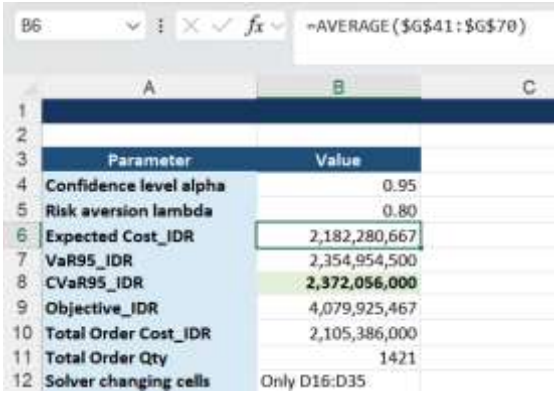
   Parameter model finansial ini menjadi penentu atau memberikan toleransi dalam pengukuran risiko finansial. Contohnya, nilai α 0.95 (95%) menunjukkan bahwa model optimasi ini berfokus pada area 5% skenario terburuk yang berada pada ekor distribusi (*tail risk*). Pada penelitian ini akan digunakan 3 parameter α berbeda yaitu 0.68 (*risk taker*), 0.95 (*risk neutral*), dan 0.99 (*risk averse*) sebagai preferensi skenario risiko (Kurniawan & Budiawan, 2026).

2. *Risk Aversion Lambda* (λ)

   Risk Aversion Lambda (λ) berperan sebagai bobot penyeimbang yang mencerminkan sikap atau preferensi manajemen dalam pengambilan keputusan risiko finansial. Dalam penelitian ini digunakan nilai *lambda* (λ) sebesar 0.5, 0.7, dan 0.8 yang akan diuji untuk setiap tingkat kepercayaan (α) yang digunakan (Gandelman & Hernández-Murillo, 2014).

3. *Expected Cost*

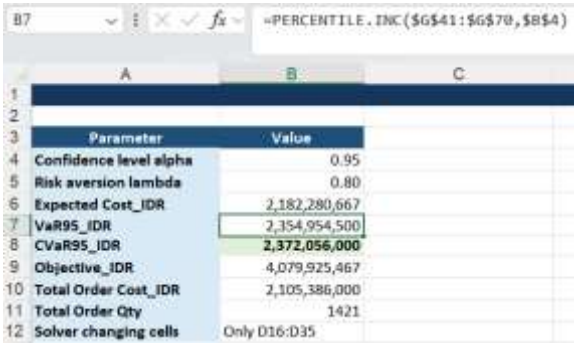
   Expected Cost bertindak sebagai indikator performa pada sistem logistik dalam kondisi normal atau kondisi rata – rata. Angka ini menjadi acuan bagi perusahaan untuk melihat estimasi pengeluaran biaya yang dibutuhkan jika fluktuasi permintaan bergerak sesuai dengan probabilitas historisnya. Pada Gambar 4.3, disajikan nilai *expected cost* yang diperoleh menggunakan formula *excel* yaitu =AVERAGE($G$41:$G$70), atau rata – rata nilai dari *total scenario cost*.



Gambar 4. 2 Formula Expected Cost

4. VaR

VaR berperan sebagai titik potong kerugian finansial. Angka dari VaR mengartikan bahwa ada probabilitas sebesar 95% bahwa total biaya operasional rantai pasok tidak akan melebihi nilai tersebut, atau dengan kata lain, hanya ada peluang sebesar 5% bahwa kerugian atau pembengkakan biaya akan melompati batas angka tersebut. Dari Gambar 4.4 berikut, menunjukkan formula yang digunakan pada *excel* yaitu =PERCENTILE.INC($G$41:$G$70, $B$4), formula ini berfungsi memindai 30 skenario total biaya pada kolom G, mengurutkannya, lalu memotong data di titik persentil 95% untuk menentukan batas atas kerugian maksimum pada kondisi normal.

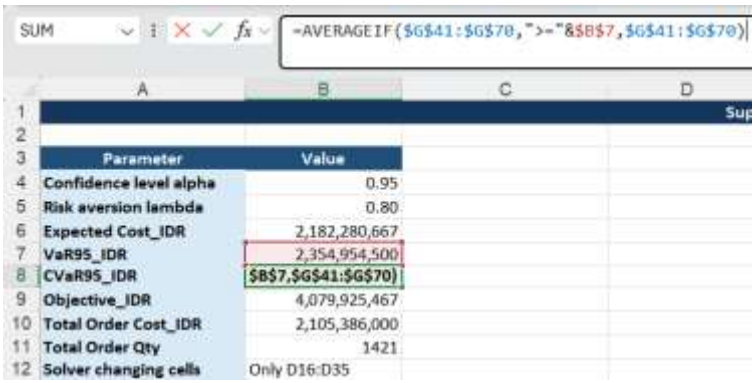


Gambar 4. 3 Formula VaR

5. CVaR

CVaR menjadi ukuran risiko yang lebih komprehensif dari hasil VaR. Apabila skenario terburuk terjadi di lapangan, maka CVaR akan memproyeksikan rata-rata pembengkakan biaya ekstrem yang harus ditanggung oleh perusahaan, sehingga CVaR mengantisipasi fenomena *fat-tail* atau kerugian besar yang tidak terdeteksi VaR. Pada Gambar 4.4,

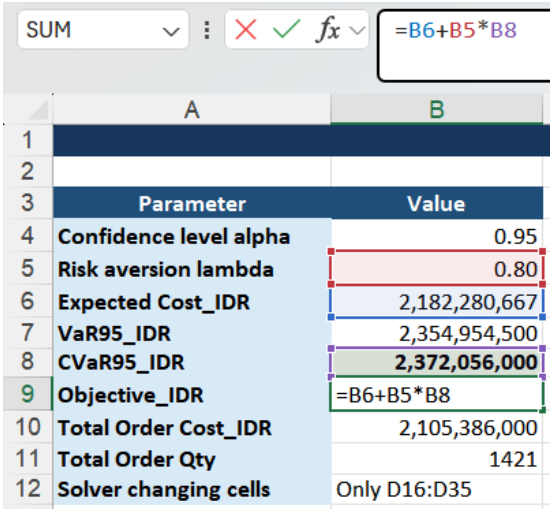
disajikan gambar dari penggunaan formula dalam perhitungan CVaR menggunakan *excel,* di mana formulasi ini akan memindai data total biaya dari seluruh skenario pasar pada rentang sel $G$41:$G$70, kemudian melalui kriteria ">="&$B$7 sistem akan menyaring data dengan hanya memilih angka biaya yang sama atau diatas nilai VaR, kelompok data biaya tersebut kemudian akan dihitung nilai rata – ratanya yang akan menghasilkan nilai akhir CVaR.



Gambar 4. 4 Formula CVaR

6. *Objective Value*

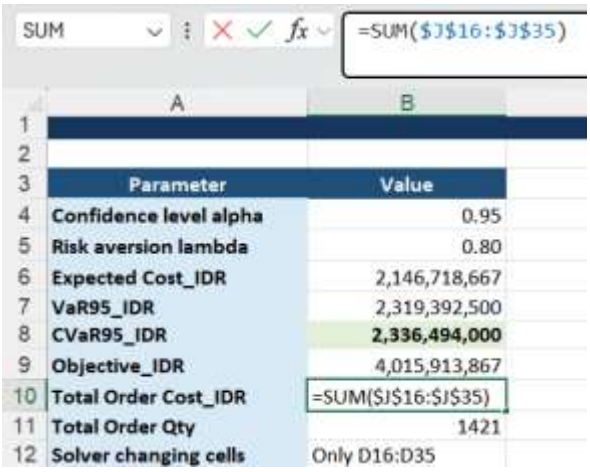
Objective value terbentuk dari kombinasi antara *expected cost* dan nilai CVaR yang dihubungkan oleh *risk aversion lambda* (λ). Nilai ini merepresentasikan target optimasi total biaya yang sudah disesuaikan dengan profil risiko pengambilan keputusan. Angka inilah yang diminimalkan hingga menyentuh titik terendah. Pada Gambar 4.5, disajikan gambar tabel pada *excel* yang menunjukkan formula yang digunakan untuk memperoleh *objective value* yaitu =B6+B5*B8. Nilai *objective* tersebut diformulasikan dengan mengalikan nilai atau sel CVaR dengan sel *risk aversion lambda (λ)* yang kemudian hasilnya ditanbahkan dengan nilai atau sel *expected cost*.



Gambar 4. 5 Formula *Objective*

7. *Total Order Cost*

Total order cost ini termasuk sebagai *output* dari finansial model yang berfungsi sebagai komponen biaya yang dikeluarkan untuk melakukan pembayaran barang. Pada gambar 4.6, disajikan gambar tabel pada *excel* yang menunjukkan penggunaan formula yang digunakan, yaitu formula = SUM ($J$16:$J$35) yang berguna untuk menghitung jumlah, pada *order cost* pada 30 skenario atau sel J6:J35.

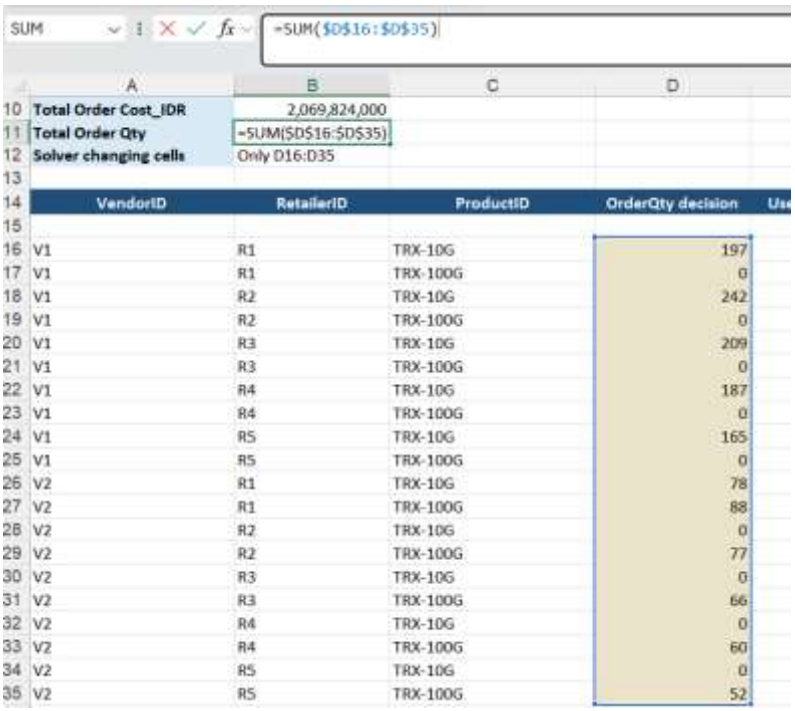


Gambar 4. 6 Formula Biaya Total Order

8. *Total Order Quantity*

Total Order Quantity menjadi indikator ukuran agregat output dari variabel keputusan. Angka ini memastikan seberapa besar kapasitas logistik terpakai dan menjadi dasar pembanding terhadap total kapasitas terpasang dari seluruh *vendor* yang ada dalam sistem.

Pada gambar 4.8 berikut, formula yang digunakan untuk kuantitas order terkunci pada kalkulasi untuk sel D16:D35 di mana sel ini memberikan keputusan jumlah produk yang diberikan untuk setiap *vendor*.



Gambar 4. 7 Formula *Order Quantity*

4.3.2. Variabel Keputusan Optimal

Variabel keputusan optimal yang diperoleh dari hasil *run solver* diwakili oleh rentang sel D16:D35 pada kolom *OrderQty decision*. Seperti pada Gambar 4.8, sel – sel ini menunjukkan keputusan jumlah produk yang harus dialokasikan dari *vendor v* ke *retailer r* untuk produk *p*. Hasil run yang diberikan pada kolom *OrderQty decision* menjadi strategi alokasi *vendor* optimal yang dapat digunakan dalam perhitungan berikutnya. Berikut ini adalah kolom *OrderQty decision* pada model *excel*:

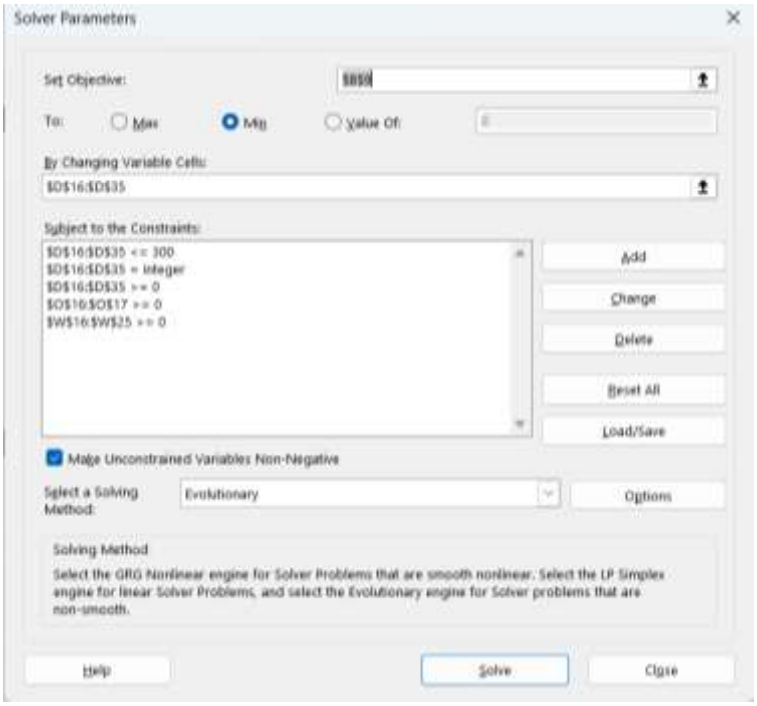
VendorID	RetailerID	ProductID	OrderQty decision
V1	R1	TRX-10G	0
V1	R1	TRX-100G	88
V1	R2	TRX-10G	0
V1	R2	TRX-100G	0
V1	R3	TRX-10G	0
V1	R3	TRX-100G	0
V1	R4	TRX-10G	187
V1	R4	TRX-100G	60
V1	R5	TRX-10G	165
V1	R5	TRX-100G	52
V2	R1	TRX-10G	275
V2	R1	TRX-100G	0
V2	R2	TRX-10G	242
V2	R2	TRX-100G	77
V2	R3	TRX-10G	209
V2	R3	TRX-100G	66
V2	R4	TRX-10G	0
V2	R4	TRX-100G	0
V2	R5	TRX-10G	0
V2	R5	TRX-100G	0

Gambar 4. 8 Kolom *Order Quantity*

4.3.3. Penggunaan *Evolutionary Solver*

Integrasi instrumen manajemen risiko ke dalam pemodelan stokastik rantai pasok memicu adanya dampak teknis dan karakteristik matematis fungsi tujuan. Fungsi VaR dan CVaR yang melibatkan logika non – linear tidak kontinu dalam formulanya menyebabkan ruang pencarian solusi menjadi non – konveks yang memiliki banyak lembah solusi semu (*local optima*). Apabila pencarian dilakukan menggunakan algoritma seperti *GRG Non Linear* atau Simplex LP, sistem akan mengalami kegagalan operasional karena terjebak pada titik *local optimum* pertama yang ditemukan dan mengasumsikan secara keliru, sehingga digunakan metode *evolutionary solver*.

Evolutionary solver mampu menyaring kombinasi keputusan alokasi kuantitas pengiriman yang paling efisien di titik optimum. Pada Gambar 4.9, menunjukkan jendela *solver* di mana pada jendela tersebut menunjukkan penggunaan *constraints* dan *sets up* lain yang digunakan untuk menjalankan *solver* pada model matematika ini. Berikut adalah jendela parameter *excel solver* tersebut:



Gambar 4. 9 Jendela *Solver*

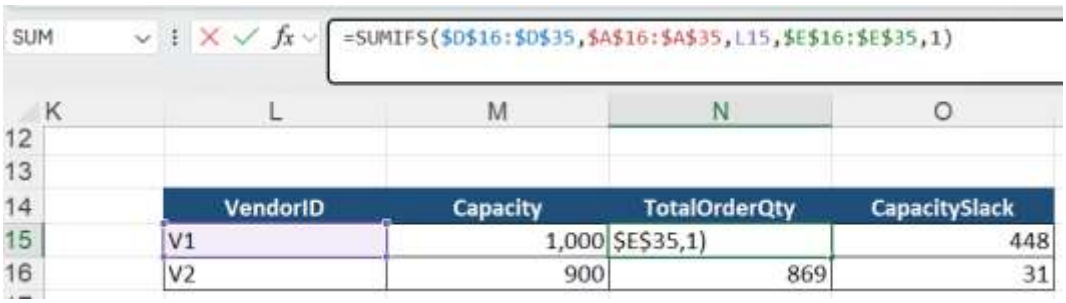
Berdasarkan Gambar 4.9, parameter yang digunakan pada jendela *excel solver* menjadi pusat kendali dari proses optimasi model rantai pasok. Pada bagian *set objective*, fungsi tujuan dikunci pada sel *objective* atau $B$9 dengan memilih opsi *Min*, hal ini menunjukkan arah optimasi ini berorientasi pada minimasi atau penekanan total biaya operasional dan risiko finansial perusahaan hingga titik terendah. Untuk mencapai target tersebut, sistem akan mengkalkulasikan nilai variabel keputusan pada bagian *by changging variabel cells* atau pada rentang sel $D$16:$D$35 yang merepresentasikan kuantitas pengiriman produk.

Guna memastikan model berjalan sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan, diterapkan beberapa batasan kendala (*constraints*). Batasan pertama yaitu volume pengiriman pada sel $D$16:$D$35 atau sel kuantitas pembelian dibatasi maksimal 300 unit dalam setiap perminntaan agar tidak ada penumpukan berlebih, diwajibkan berupa bilangan bulat (integer), serta tidak boleh bernilai negatif (>= 0). Pengondisian non-negatif ini diperkuat dengan mencentang opsi *Make Unconstrained Variables Non-Negative*. Selain itu, batasan kendala operasional lainnya juga dikunci pada rentang sel $O$16:$O$17 dan $W$16:$W$25 agar tetap bernilai non-negatif demi menjaga stabilitas kapasitas hulu dan pemenuhan hilir. Seluruh kombinasi batasan kompleks ini diselesaikan dengan memilih metode komputasi *Evolutionary* pada bagian *Select a Solving Method*, sebuah algoritma heuristik yang daapat digunakan untuk

memecahkan model non-linear tidak kontinu yang sensitif terhadap perhitungan persentil risiko VaR dan CVaR.

4.3.4. Pengolahan Alokasi Pasokan dan Pemenuhan Permintaan

Tahap pengolahan data ini menyajikan rekapitulasi dari nilai variabel keputusan serta nilai sisa kapasitas (*slack*) yang dihasilkan dari algoritma *evolutionary solver.* Pengelolaan data ini terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu dari sisi hulu dan hilir. Pada sisi hulu, disajikan Tabel 4.10 yang ditujukan untuk masing – masing *vendor* dengan mempertimbangkan batasan kapasitas maksimum yang dimiliki. Selisish antara kapasitas ketersediaan dengan jumlah pesanan unit yang dialokasikan dicatat sebagai sisa kapasitas (*capacity slack*). Berikut disajikan Tabel pada *excel* yang berguna untuk memvisualisasikan suplai dari *vendor*:

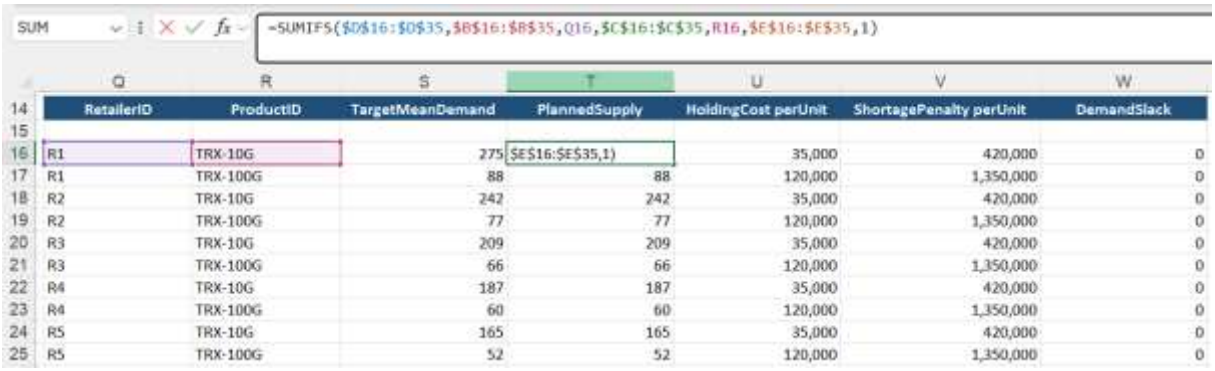


Gambar 4. 10 Suplai *Vendor* dan *Slack*

Perhitungan untuk total *volume* pesanan masing – masing *vendor* menggunakan fungsi akumulasi bersyarat, yaitu SUMIFS. Secara sederhana, formula ini berjalan dengan melihat kolom jumlah pesanan (D16:D35) dan hanya menjumlahkan angka di dalamnya apabila memenuhi dua kondisi, yaitu pesanan ditujukan untuk *vendor* 1 dan jalur pengiriman tersebut aktif atau bernilai 1 pada status penggunaan *vendor*. Formula ini juga berlaku pada *vendor* 2, yang mana hasilnya akan dikurangi dengan kapasitas *vendor* keseluruhan untuk mendapatkan nilai sisa (*capacity slack*).

Tidak hanya pada sisi hulu, pada sisi hilir juga dilakukan rekapitulasi hasil nilai sisa untuk melihat apakah *retailer* di masing – masing wilayah mengalami kekurangan stok, kelebihan stok, atau stok di *retailer* tersebut telah terpenuhi sepenuhnya sesuai dengan kebutuhan masing – masing *retailer*. Pengolahan nilai sisa tersebut disajikan pada gambar 4.11 berikut, dimana gambar menunjukkan tabel pada lembar *excel* yang memuat rencana distribusi

produk ke masing – masing *retailer* hingga nilai *demand slack* dari *retailer* di sisi hilir. Berikut gambar lembar Tabel dalam *excel* tersebut:



SUM

=SUMIFS($D$16:$D$35,$B$16:$B$35,Q16,$C$16:$C$35,R16,$E$16:$E$35,1)

	Q	R	S	T	U	V	W
14	RetailerID	ProductID	TargetMeanDemand	PlannedSupply	HoldingCost perUnit	ShortagePenalty perUnit	DemandSlack
15							
16	R1	TRX-10G	275	$E$16:$E$35,1)	35,000	420,000	0
17	R1	TRX-100G	88	88	120,000	1,350,000	0
18	R2	TRX-10G	242	242	35,000	420,000	0
19	R2	TRX-100G	77	77	120,000	1,350,000	0
20	R3	TRX-10G	209	209	35,000	420,000	0
21	R3	TRX-100G	66	66	120,000	1,350,000	0
22	R4	TRX-10G	187	187	35,000	420,000	0
23	R4	TRX-100G	60	60	120,000	1,350,000	0
24	R5	TRX-10G	165	165	35,000	420,000	0
25	R5	TRX-100G	52	52	120,000	1,350,000	0

Gambar 4. 11 Suplai *Retailer* dan *Slack*

Pengolahan data pada Gambar 4.11 berfokus pada sinkronisasi pemenuhan kebutuhan di sisi hilir dengan mempertemukan *volume* permintaan rata – rata (*target mean demand*) dan suplai yang direncanakan (*planned supply*). Jumlah pasokan dihitung secara otomatis menggunakan rumus SUMIFS untuk menggabungkan pesanan hasil *solver* menjadi tiga kriteria, yaitu kecocokan identitas toko (*retailer* ID), kesesuaian produk (*product* ID), dan status alokasi pengiriman yang aktif ditandai nilai 1. Tingkat efisiensi pelayanan akan diukur lewat kolom *demand slack* lewat pengurangan antara angka *target mean demand* dan *planned supply.* Hasil komputasi yang menunjukkan nilai 0 pada *demand slack* mengindikasikaan jumlah pasokan yang dialokasikan berhasil memenuhi total permintaan di setiap toko secara presisi tanpa menimbulkan risiko denda kelangkaan (*shortage penalty*).

BAB V
HASIL & PEMBAHASAN

5.1 Analisis Hasil Optimasi

5.1.1 Hasil Optimasi Alokasi *Vendor* Alternatif

Berdasarkan hasil optimasi yang telah dilakukan menggunakan *solver*, diperoleh strategi alokasi *vendor* lebih dari satu, sistem *solver* menghasilkan beberapa variasi alternatif terhadap alokasi *vendor* yang dapat digunakan dan tetap menawarkan total biaya akhir (*expected cost*) yang sama. Pada Tabel 5.1 dan 5.2, disajikan hasil *solver* untuk strategi alokasi *vendor* yang berbeda. Algoritma optimasi perhitungan mengarah pada pembentukan kombinasi alokasi distribusi yang berlainan, namun performa akhir yang dicapai tetap menghasilkan titik efisiensi yang setara. Berikut merupakan strategi alokasi *vendor* yang dihasilkan dari komputasi *solver*:

Tabel 5. 1 Alokasi *Vendor* A

Vendor ID	*Retailer* ID	*Product* ID	OrderQty *Decision*
V1	R1	TRX - 10G	241
V1	R1	TRX - 100G	0
V1	R2	TRX - 10G	242
V1	R2	TRX - 100G	77
V1	R3	TRX - 10G	209
V1	R3	TRX - 100G	66
V1	R4	TRX - 10G	0
V1	R4	TRX - 100G	0
V1	R5	TRX - 10G	165
V1	R5	TRX - 100G	0
V2	R1	TRX - 10G	34
V2	R1	TRX - 100G	88
V2	R2	TRX - 10G	0
V2	R2	TRX - 100G	0
V2	R3	TRX - 10G	0
V2	R3	TRX - 100G	0

Vendor ID	*Retailer* ID	*Product* ID	OrderQty *Decision*
V2	R4	TRX - 10G	187
V2	R4	TRX - 100G	60
V2	R5	TRX - 10G	0
V2	R5	TRX - 100G	52

Tabel 5. 2 Alokasi *vendor* B

Vendor ID	*Retailer* ID	*Product* ID	OrderQty *Decision*
V1	R1	TRX - 10G	1
V1	R1	TRX - 100G	88
V1	R2	TRX - 10G	0
V1	R2	TRX - 100G	0
V1	R3	TRX - 10G	0
V1	R3	TRX - 100G	0
V1	R4	TRX - 10G	187
V1	R4	TRX - 100G	60
V1	R5	TRX - 10G	165
V1	R5	TRX - 100G	51
V2	R1	TRX - 10G	274
V2	R1	TRX - 100G	0
V2	R2	TRX - 10G	242
V2	R2	TRX - 100G	77
V2	R3	TRX - 10G	209
V2	R3	TRX - 100G	66
V2	R4	TRX - 10G	0
V2	R4	TRX - 100G	0
V2	R5	TRX - 10G	0
V2	R5	TRX - 100G	1

Dari kedua Tabel di atas, diperoleh perbedaaan hasil pada *OrderQty decision* atau keputusan pemesanan untuk masing – masing *vendor* dan *retailer*. Strategi pada alokasi *vendor*

A condong untuk mendistribusikan produk secara maksimal lewat *vendor* 1, sedangkan alokasi *vendor* B cenderung membagi distribusi produk tersebut dari 2 *vendor* berbeda. Walaupun dihasilkan nominal yang berbeda – beda untuk jumlah produk distribusi dari *vendor* ke *retailer* pada kedua alokasi *vendor* tersebut, solusi optimasi yang ditawarkan tetap memberikan nilai optimal yang sama. Sehingga, kedua strategi alokasi *vendor* tersebut akan digunakan dalam pembahasan guna menghitung dan membandingkan *trade-off* yang dihasilkan dari kedua strategi alokasi *vendor* tersebut.

5.1.2 Kapasitas *Vendor*

Perbedaan hasil keputusan *order* yang dihasilkan dari komputasi *solver* untuk distribusi *vendor* ke *retailer* meyebabkan adanya perbedaan jumlah total pembagian suplai pada *vendor* 1 dan *vendor* 2. Pada Tabel 5.3, disajikan tabel yang memuat jumlah pembelian secara keseluruhan dari strategi alokasi *vendor* A. Dari strategi tersebut, dapat dilihat bahwa kapasitas pada *vendor* 1 digunakan secara maksimal yaitu sebesar 1.000 unit dari kapasitas *vendor* 1 sebesar 1,000 unit. Sedangkan pada *vendor* 2 kapasitas yang digunakan sebesar 421 unit dari total kapasitas keseluruhan, yaitu 900 unit.

Tabel 5. 3 Kapasitas Strategi Alokasi A

Vendor ID	*Capacity*	Total Order	*Capacity Slack*
V1	1,000	1,000	0
V2	900	421	479

Pada Tabel 5.4, ditampilkan total pembagian suplai *vendor* dari strategi alokasi *vendor* B yang mana pada strategi alokasi ini kapasitas yang dimiliki *vendor* tidak digunakan secara maksimal pada 1000 unit melainkan hanya digunakan sebesar 448 unit dari kapasitas *vendor* 1, sedangkan pada *vendor* 2 digunakan kapasitas unit sebesar 869 unit dari keseluruhan kapasitas sebesar 900 unit.

Tabel 5. 4 Kapasitas Strategi Alokasi B

Vendor ID	*Capacity*	Total Order	*Capacity Slack*
V1	1,000	554	448
V2	900	869	31

Dari kedua strategi alokasi *vendor* tersebut, diperoleh jumlah *capacity slack* yang sama persis. Pada strategi alokasi A, jumlah *capacity slack* yang diperoleh yaitu sebesar 479 unit dari masing – masing *vendor* . Sedangkan pada strategi alokasi B, diperoleh *capacity slack* 448 unit untuk *vendor* 1 dan 31 unit untuk *vendor* 2, yang mana apabila dijumlahkan total dari *capacity slack* pada strategi alokasi B juga diperoleh sebesar 479 unit. Hal ini menunjukkan adanya *multiple solutions* di mana strategi alokasi *vendor* yang dihasilkan dari *solver* ini memberikan total biaya operasional, *holding cost,* dan *shortage penalty cost* yang sama, namun dengan kombinasi alokasi suplai yang berbeda.

5.2 Uji Sensitivitas Multi Skenario Finansial Berbasis Risiko

Untuk memahami bagaimana kebijakan manajemen dalam memengaruhi total biaya dan risiko finansial perusahaan, dilakukan analisis sensitivitas terhadap parameter. Analisis sensitivitas ini dilakukan dengan mengombinasikan 3 tingkat kepercayaan (α) yang berbeda yaitu 68% (*risk seeker*), 95% (*risk neutral*), dan 99% (*risk averse*). Diantara ketiga parameter tersebut, tingkat kepercayaan (α) 95% merupakan standar yang paling umum dan sering digunakan dalam kajian sistem industri (Kurniawan & Budiawan, 2026). Selain tingkat kepercayaan, digunakan tiga *risk aversion lambda* (λ) atau preferensi risiko berbeda yaitu 0.5, 0.7, dan 0.8, gunanya untuk melihat bagaimana angka sikap manajemen dapat memengaruhi satu sama lain di dalam formula fungsi tujuan. Analisis sensitivitas juga dilakukan untuk kedua strategi alokasi yang sudah dibahas sebelumnya, yaitu strategi alokasi *vendor* A dan strategi alokasi *vendor* B.

5.2.1 Tingkat Kepercayaan 68%

Untuk mengukur preferensi risiko digunakan batasan – batasan yang mengukur cakupan skenario ekstrem yang akan diantisipasi. Pada tingkat kepercayaan ini digunakan batasan 68% yang berarti sistem menyisakan area atau potensi risiko sebesar 32%.

5.2.1.1 Strategi Alokasi *vendor* A

Pada Tabel 5.5 berikut, disajikan hasil uji sensitiviats berupa *expected cost,* nilai VaR, nilai CVaR, serta *objective value* dari strategi alokasi *vendor* A pada tingkat kepercayaan (α) 68% terhadap *risk aversion lambda* (λ) 0.5, 0.7, 0..8:

Tabel 5. 5 *Output* Strategi Alokasi A (68%)

Risk Aversion Lambda (λ)	*Expected Cost* (Rp)	68%		*Objective* (Rp)
		VaR (Rp)	CVaR (Rp)	
0.5	2,169,323,667	2,191,610,200	2,285,803,000	3,312,225,167
0.7	2,169,323,667	2,191,610,200	2,285,803,000	3,769,385,767
0.8	2,169,323,667	2,191,610,200	2,285,803,000	3,997,966,067

Dari Tabel 5.5 di atas, diperoleh hasil *solver* untuk finansial model optimasi pada tingkat kepercayaan (α) 68% dan *risk aversion* pada tingkatan 0.5, 0.7, dan 0.8. Di mana pada strategi alokasi ini dihasilkan nilai *expected cost* sebesar Rp 2,169,323,667, kemudian nilai VaR sebesar Rp 2,191,610,200, dan nilai CVaR sebesar 2,285,803,000 yang mana nilai ini konstan untuk ketiga *risk aversion lambda* (λ). Hal ini mengindikasikan bahwa ketika keputusan strategi alokasi *vendor* yang digunakan tidak mengalami perubahan, maka biaya pengeluaran harian serta potensi risiko kerugian ekstrem untuk strategi tersebut akan selalu bernilai tetap. Di sisi lain, nilai pada *objective value* (fungsi tujuan) pada kolom paling kanan mengalami kenaikan pada masing – masing preferensi risiko nya yaitu sebesar Rp 3,312,225,167 pada penggunaan *lambda* (λ) 0.5 yang kemudian naik menjadi Rp 3,769,385,767 pada *lambda* (λ) 0.7, dan kembali naik menjadi Rp 3,997,966,067 pada *lambda* (λ) 0.8. Kenaikan signifikan pada *objective value* ini terjadi di ketiga preferensi risiko yang digunakan.

5.2.1.2 Strategi Alokasi *vendor* B

Pada Tabel 5.6 berikut, disajikan hasil uji sensitivitas untuk nilai *expected cost,* nilai VaR, nilai CVaR, serta *objective value* dari strategi alokasi *vendor* B pada tingkat kepercayaan (α) 68% terhadap *risk aversion lambda* (λ) 0.5, 0.7, 0..8:

Tabel 5. 6 *Output* Strategi Alokasi B (68%)

Risk Aversion Lambda (λ)	*Expected Cost* (Rp)	68%		*Objective* (Rp)
		VaR (Rp)	CVaR (Rp)	
0.5	2,220,359,667	2,242,646,200	2,336,839,000	3,388,779,167
0.7	2,220,359,667	2,242,646,200	2,336,839,000	3,856,146,967
0.8	2,220,359,667	2,242,646,200	2,336,839,000	4,089,830,867

Pada tabel 5.6, diperoleh hasil untuk finansial model optimasi pada tingkat kepercayaan (α) 68% dan *risk aversion* pada tingkatan 0.5, 0.7, 0.8. Penggunaan strategi alokasi *vendor* B ini menghasilkan nilai – nilai yang jauh lebih besar dibandingkan strategi alokasi A, di mana diperoleh *expected cost* sebesar Rp 2,220,359,667, nilai VaR sebesar Rp 2,242,646,200, dan nilai CVaR sebesar Rp 2,336,839,000 yang mana nilai - nilai ini juga dihasilkan konstan untuk ketiga *risk aversion lambda* (λ). Selain itu, *objective value* yang ada pada kolom paling kanan mengalami kenaikan untuk setiap preferensi risiko yaitu sebesar Rp 3,388,779,167 pada penggunaan *lambda* (λ) 0.5 yang kemudian naik menjadi Rp 3,856,146,967 pada *lambda* (λ) 0.7, dan kembali naik menjadi Rp 4,089,830,867 pada *lambda* (λ) 0.8.

5.2.2 Tingkat Kepercayaan 95%

Untuk memperluas cakupan perlindungan terhadap risiko krisis yang signifikan, batasan dinaikan menjadi 95%. Penetapan tingkat kepercayaan (α) ini memangkas area risiko ekstrem hingga menyisakan area risiko sebesar 5%. Berikut adalah hasil uji batasan terhadap penggunaan *risk aversion lambda* (λ) 0.5, 0.7, dan 0.8.

5.2.1.3 Strategi Alokasi *vendor* A

Pada Tabel 5.7 disajikan hasil uji sensitivitas menggunakan *solver* dari *expected cost* , nilai VaR, dan nilai CVaR untuk strategi alokasi *vendor* A pada tingkat kepercayaan (α) sebesar 95%. terhadap *risk aversion lambda* (λ) 0.5, 0.7, 0..8:

Tabel 5. 7 *Output* Strategi Alokasi A (95%)

Risk Aversion Lambda (λ)	*Expected Cost* (Rp)	95%		*Objective* (Rp)
		VaR (Rp)	CVaR (Rp)	
0.5	2,169,323,667	2,341,997,500	2,359,099,000	3,348,873,167
0.7	2,169,323,667	2,341,997,500	2,359,099,000	3,820,692,967
0.8	2,169,323,667	2,341,997,500	2,359,099,000	4,056,602,867

Pada Tabel 5.7 di atas, diperoleh hasil *solver* di mana nilai *expected cost* yang diperoleh konstan untuk ketiga *risk aversion lambda* (λ) yaitu Rp 2,169,323,667, kemudian untuk nilai nilai VaR diperoleh sebesar Rp 2,341,997,500, dan nilai CVaR diperoleh sebesar Rp

2,359,099,000. Selain itu, *objective value* yang diperoleh pada tingkat kepercayaan ini mengalami peningkatan di mana pada *lambda* (λ) 0.5 didapatkan nilai sebesar Rp 3,348,873,167, kemudian naik menjadi Rp 3,820,692,967 pada *lambda* (λ) 0.7, dan kembali naik menjadi Rp 4,056,602,867 pada *lambda* (λ) 0.8.

5.2.1.4 Strategi Alokasi *vendor* B

Pada Tabel 5.6 berikut, disajikan hasil *solver* untuk *expected cost*, nilai VaR, dan nilai CVaR pada tingkat kepercayaan (α) 95% dari strategi alokasi *vendor* B terhadap *lambda* (λ) 0.5, 0.7, dan 0.8:

Tabel 5. 8 *Output* Strategi Alokasi B (95%)

Risk Aversion Lambda (λ)	*Expected Cost* (Rp)	95%		*Objective* (Rp)
		VaR (Rp)	CVaR (Rp)	
0.5	2,220,359,667	2,393,033,500	2,410,135,000	3,425,427,167
0.7	2,220,359,667	2,393,033,500	2,410,135,000	3,907,454,167
0.8	2,220,359,667	2,393,033,500	2,410,135,000	4,148,467,667

Pada tabel 5.8 diatas, diperoleh hasil dari komputasi *solver* untuk finansial model pada tingkat kepercayaan (α) 95%. Dari hasil komputasi tersebut diperoleh hasil *expected cost* sebesar Rp 2,220,359,667, kemudian untuk nilai VaR diperoleh sebesar Rp 2,393,033,500, dan nilai CVaR sebesar Rp 2,410,135,000. Ketiga nilai ini konstan untuk masing – masing *risk aversion lambda* (λ). Selain itu pada *objective value* atau fungsi tujuan, nilai yang diperoleh mengalami kenaikan secara linier seiring dengan bertambahnya nilai pada parameter *lambda* (λ) yang digunakan, di mana untuk *lambda* (λ) 0.5 didapatkan nilai sebesar Rp 3,425,427,167, yang kemudian pada *lambda (λ)* 0.7 mengalami kenaikan menjadi Rp 3,907,454,167, dan untuk *lambda* (λ) 0.8 diperoleh sebesar Rp 4,148,467,667.

5.2.3 Tingkat Kepercayaan 99%

Untuk mengukur skenario risiko paling buruk, analisis dilanjutkan ke tingkat tingkat kepercayaan (α) 99%, di mana area risiko dipangkas hingga pada 1% terburuk saja. Berikut adalah hasil uji dari batasan 99% terhadap preferensi risiko.

5.2.1.5 Strategi Alokasi *vendor* A

Pada Tabel 5.9, ditampilkan hasil komputasi *solver* untuk *expected cost,* nilai VaR, nilai CVaR, dan *objective value* menggunakan tingkat kepercayaan (α) sebesar 99% terhadap *lambda* (λ) 0.5, 0.7, dan 0.8:

Tabel 5. 9 *Output* Strategi Alokasi A (99%)

Risk Aversion	*Expected Cost*	99%		*Objective* (Rp)
Lambda (λ)	(Rp)	VaR (Rp)	CVaR (Rp)	
0.5	2,169,323,667	2,362,828,600	2,367,979,000	3,353,313,167
0.7	2,169,323,667	2,362,828,600	2,367,979,000	3,826,908,967
0.8	2,169,323,667	2,362,828,600	2,367,979,000	4,063,706,867

Pada Tabel 5.9, diperoleh hasil komputasi *solver* pada tingkat kepercayaan (α) 99%. Pada strategi alokasi *vendor* ini diperoleh nilai *Expected Cost* sebesar Rp 2,169,323,667 dengan nilai VaR sebesar Rp 2,362,828,600, dan untuk nilai CVaR sebesar Rp 2,367,979,000. Selain itu pada kolom paling kanan, *objective value* yang diperoleh nilainya terus naik pada preferensi risiko yang semakin menghindari risiko, dimulai dari Rp 3,353,313,167 yang diperoleh pada *lambda* (λ) 0.5, kemudian biaya naik pada *lambda* (λ) 0.7 sebesar Rp 3,826,908,967, dan pada titik tertingginya diperoleh biaya sebesar Rp 4,063,706,867 untuk *lambda* (λ) 0.8.

5.2.1.6 Strategi Alokasi *vendor* B

Pada Tabel 5.10 berikut, disajikan data hasil *uji sensitivitas* dari strategi alokasi A untuk tingkat kepercayaan (α) 99% terhadap *lambda* (λ) 0.5, 0.7, dan 0.8:

Tabel 5. 10 *Output Strategi Alokasi* B (99%)

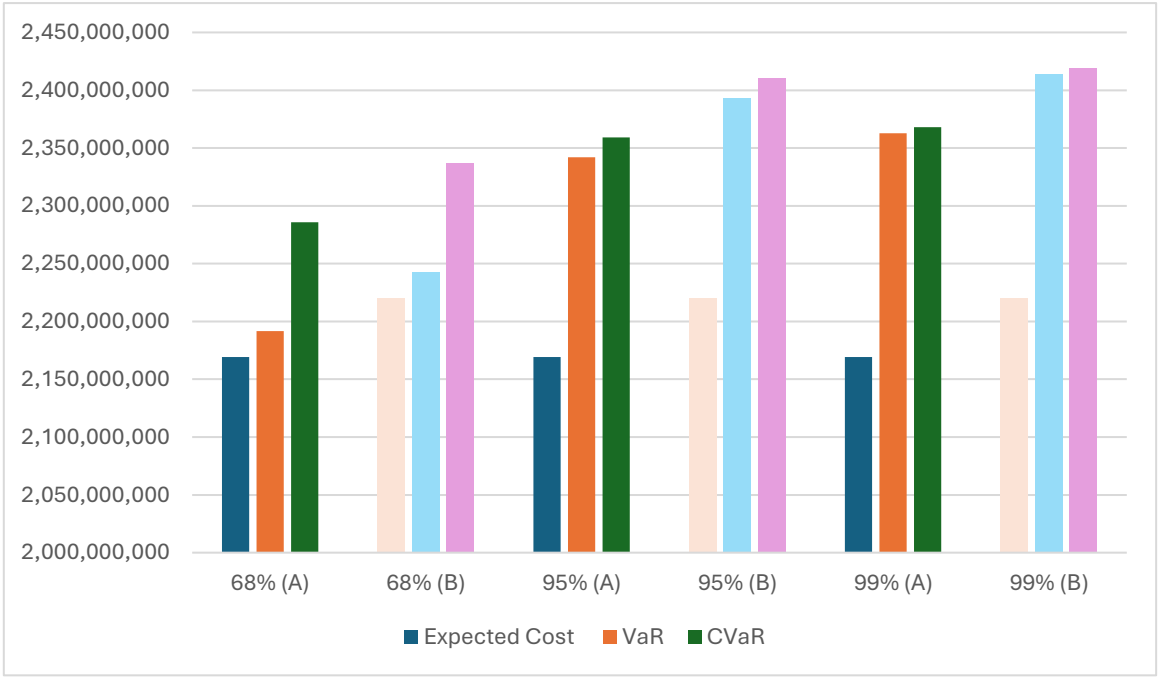
Risk Aversion	*Expected Cost*	99%		*Objective* (Rp)
Lambda (λ)	(Rp)	VaR (Rp)	CVaR (Rp)	
0.5	2,220,359,667	2,413,864,600	2,419,015,000	3,429,867,167
0.7	2,220,359,667	2,413,864,600	2,419,015,000	3,913,670,167
0.8	2,220,359,667	2,413,864,600	2,419,015,000	4,155,571,667

Pada Tabel 5.10, diperoleh hasil komputasi menggunakan *solver* pada tingkat kepercayaan (α) 99% di mana pada hasil komputasi kali ini, nilai *expected cost* yang diperoleh masih tetap konstan di angka Rp 2,220,359,667. Untuk tingkat kepercayaan (α) 99% ini, diperoleh nilai VaR sebesar Rp 2,413,864,600 dan nilai CVaR sebesar Rp 2,419,015,000 yang juga berlaku konstan pada seluruh skenario *lambda* (λ) yaitu 0.5, 0.7, dan 0,8. Pada kolom paling kanan memuat nilai fungsi tujuan, di mana nilai – nilai yang diperoleh untuk masing – masing skenario memiliki kenaikan angka secara linier. Dari hasil komputasi oleh *solver* diperoleh *objective value* sebesar Rp 3,429,867,167 untuk *lambda* (λ) 0.5, kemudian naik menjadi sebesar Rp 3,913,670,167 untuk *lambda* (λ) sebesar 0.7 dan kembali naik Rp 4,155,571,667 untuk nilai *lambda* (λ) sebesar 0.8.

5.3 Analisis Pengaruh Parameter Risiko

5.3.1 Analisis Perubahan VaR dan CVaR

Pergeseran horizontal pada *objective value* dikendalikan secara langsung oleh fluktuasi nilai VaR dan CVaR pada setiap tingkat kepercayaan. Pada Gambar 5.1, ditampilkan perbandingan pertumbuhan nilai parameter risiko VaR dan CVaR yang disajikan dalam bentuk grafik:



Gambar 5. 1 Perbandingan VaR dan CVaR

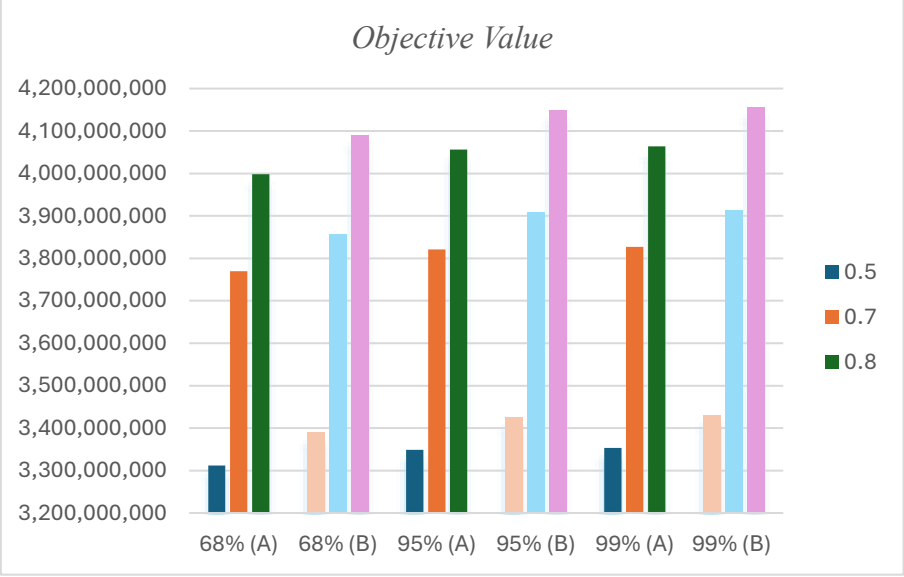
Berdasarkan Gambar 5.1, ditampilkan dalam grafik batang perbandingan antara *expected Cost*, VaR, dan CVaR berdasarkan tingkat kepercayaan (α) 68%, 95%, dan 99% strtegi alokasi *vendor* A dengan grafik batang berwarna gelap dan strategi alokasi *vendor* B dengan grafik batang berwarna cerah. Berdasarkan visualisasi data tersebut, pada setiap tingkat kepercayaan (α) dan *risk aversion* (λ) yang digunakan, komponen *expected cost* akan bernilai konstan, hal ini menunjukkan bahwa rata – rata biaya operasional dasar tidak dipengaruhi oleh perubahan parameter tingkat kepercayaan (α) dan *risk aversion* (λ), melainkan pengaruh dari kondisi riil operasional di mana memang digunakan kondisi alokasi *vendor* yang selalu sama dalam pengujian. Sebaliknya, nilai VaR dan CVaR mengalami kenaikan yang berbanding lurus dengan peningkatan tingkat kepercayaan (α) dari 68% hingga 99%. Secara matematis, pertumbuhan nilai tersebut terjadi karena peningkatan tingkat kepercayaan (α) secara langsung menggeser batas hitungan ke area risiko paling kanan pada ekor distribusi probabilitas (*tail risk*). Pergeseran batas ini menyebabkan nilai VaR mengasumsikan ambang batas kerugian maksimum yang lebih besar. Selaras dengan hal tersebut, dikarenakan nilai CVaR dihitung sebagai rata-rata dari angka-angka yang melampaui batas VaR, maka nilai CVaR otomatis akan mengikuti pergerakan kenaikan dari nilai VaR tersebut.

Dari hubungan yang terbentuk antar variabel risiko, grafik pada Gambar 5.1 menunjukkan bahwa nilai CVaR secara konsisten lebih tinggi dibandingkan nilai VaR pada setiap skenario. Hal ini dapat terjadi karena secara teori statistik, CVaR bertugas merata – ratakan seluruh nilai kerugian paling arah yang berada di atas batas nilai VaR, sehingga secara nominal nilainya akan selalu lebih besar atau sama denga VaR (Hidayat & Hulu, 2026). Sementara itu dari perbandingan antara kedua strategi alokasi tersebut, strategi alokasi *vendor* A memiliki nilai *expected cost,* nilai VaR dan nilai CVaR yang konsisten lebih rendah dibandingkan dengan strategi alokasi *vendor* B. Kenaikan nilai VaR dan CVaR pada kedua strategi alokasi *vendor* tersebut terlihat signifikan ketika tingkat kepercayaan (α) naik dari 68% menuju 95%, model pada batasan ini menangkap mayoritas skenario kerugian ekstrem dengan baik tanpa membebankan estimasi biaya risiko, namun biaya cenderung melandai ketika ditingkatkan dari 95% ke 99%. Kondisi ini menunjukkan adanya fenomena *diminishing return* pada alokasi perlindungan risiko di mana peningkatan batasan dari 95% menjadi 99% hanya memberikan penambahan nilai perlindungan terhadap risiko yang relatif kecil sehingga penambahan biaya untuk perlindungan risiko walaupun nominalnya terlalu besar.

Dari ketiga tingkat kepercayaan (α) yang digunakan, dihasilkan dampak finansial yang berbeda terhadap estimasi risiko yang diberikan. Tingkat kepercayaan (α) 68% cenderung terlalu optimis karena mengabaikan sebagian besar risiko kerugian ekstrem (*tail risk*), sehingga menghasilkan nilai VaR dan CVaR yang kurang representatif untuk mitigasi risiko jangka panjang. Di sisi lain, peningkatan ke tingkat kepercayaan (α) 99% memang memberikan perlindungan yang sangat ketat terhadap skenario terburuk, namun penambahan biaya risiko yang harus ditanggung tidak lagi sepadan karena memasuki fase *diminishing return* di mana tambahan nilai perlindungannya relatif kecil dibanding lonjakan estimasi kerugiannya. Oleh karena itu, tingkat kepercayaan (α) 95% merupakan opsi yang paling ideal dan optimal untuk digunakan. Pada tingkat kepercayaan (α) 95%, model mampu menangkap mayoritas skenario kerugian ekstrem secara akurat dan presisi tanpa membebankan estimasi biaya risiko secara berlebihan, sehingga menciptakan titik keseimbangan yang rasional antara kepastian perlindungan risiko dan efisiensi biaya operasional.

5.3.2 Analisis Pengaruh Parameter *Input*

Berdasarkan hasil komputasi yang telah dilakukan menggunakan *solver,* diperoleh 18 variasi *objective value* dari 2 strategi alokasi *vendor* optimal yang berbeda. Nilai hasil komputasi tersebut merepresentasikan interaksi antara parameter tingkat kepercayaan (α) dan parameter *risk aversion lambda* (λ). Pada Gambar 5.2 disajikan grafik batang guna membandingkan nilai *objective value* masing – masing strategi alokasi *vendor*:



Gambar 5. 2 *Objective Value*

Pada Gambar 5.2, terdapat tingkat kepercayaan (α) pada sumbu x, yaitu 68%, 95%, dan 99%, yang mana masing-masing tingkat kepercayaan membandingkan dua opsi straategi alokasi *vendor* optimal baik itu strategi alokasi *vendor* A dan strategi alokasi *vendor* B yang ditandai dengan nomor di dalam kurung. Sementara itu, pada sumbu y ditampilkan tiga grafik batang dengan warna berbeda yang mewakili nilai *risk aversion* (λ), grafik dengan warna – warna gelap utuk strategi alokasi *vendor* A dan grafik dengan warna – warna cerah untuk strategi alokasi *vendor* B. Dari penyajian data tersebut, hasil *objective value* dipengaruhi oleh parameter tingkat kepercayaan (α) dan *risk aversion* (λ) yang berbanding lurus dengan kenaikan *objective value* secara drastis pada seluruh skenario preferensi risiko. Kenaikan ini terjadi karena adanya peningkatan nilai *lambda (*λ) yang memberikan porsi pembobotan keputusan atau preferensi risiko lebih besar terhadap perlindungan sistem dari risiko dibandingkan fokus terhadap minimasi biaya, sehingga sistem membebankan biaya kompensasi yang lebih tinggi untuk menjamin keamanan rantai pasok dari potensi kerugian.

Berdasarkan data perolehan tersebut, terjadi kenaikan biaya fungsi tujuan yang mengindikasikan adanya pembebanan biaya untuk menjamin keamanan rantai pasok. Pada strategi alokasi *vendor* A dengan tingkat kepercayaan (α) 68 %, biaya awal pada *risk aversion* (λ) 0.5 yang semula sebesar Rp 3,312,225,167 mengalami kenaikan pada *risk aversion* (λ) menuju 0.7, dan 0.8 menghasilkan selisih kenaikan biaya dari Rp 3,312,225,167 menjadi berturut – turut sebesar Rp 457.160.600 dan Rp228,580,300, dengan total akumulasi biaya sebesar Rp 685,574,900. Kemudian pada tingkat kepercayaan (α) 95 %, biaya awal pada *risk aversion* (λ) 0.5 sebesar Rp 3,348,873,176 mengalami kenaikan *risk aversion* (λ) menuju 0.7, dan 0.8 memicu selisih kenaikan biaya berturut – turut sebesar Rp 471,819,800 dan Rp 235,909,900, dengan total akumulasi biaya sebesar Rp707,729,700. Sementara itu, pada tingkat kepercayaan (α) 99% kenaikan nilai *risk aversion* (λ) dari 0.5 sebesar Rp 3,353,313,167 yang kemudian naik menuju nilai sebesar 0.7, dan 0.8 menghasilkan selisih biaya berturut – turut sebesar Rp473,595,800 dan Rp236,797,900, yang diakumulasikan menjadi sebesar Rp710.393.700.

Pola peningkatan biaya kompensasi risiko yang serupa juga terjadi pada strategi alokasi *vendor* B di seluruh skenario, di mana pada tingkat kepercayaan (α) 68 %, kenaikan *risk aversion* (λ) dari 0.5, 0.7, dan 0.8 menghasilkan selisih kenaikan biaya dari biaya awal Rp 3,388,779,167 naik dengan selisih berturut – turut sebesar Rp 467,367,800 dan Rp 233,683,900, dan total akumulasi biaya sebesar Rp 701,051,700. Kemudian pada tingkat kepercayaan (α) 95

%, kenaikan *risk aversion* (λ) dari 0.5, 0.7, dan 0.8 memicu adanya kenaikan dari biaya awal sebesar Rp 3,425,427,167 yang kemudian naik dengan selisih berturut – turut sebesar Rp 482,027,000 dan Rp241,031,500, dengan total akumulasi biaya sebesar Rp723,040,500. Sementara itu, pada tingkat kepercayaan (α) 99% kenaikan nilai *risk aversion* (λ) dari 0.5, sebesar Rp 3,429,867,167 yang kemudian naik menuju *risk aversion* (λ) sebesar 0.7 dan 0.8 menghasilkan selisih biaya berturut – turut sebesar Rp 483,803,000 dan Rp 241,901,500, yang diakumulasikan menjadi sebesar Rp725.704.500. Kenaikan biaya pada seluruh skenario baik pada strategi alokasi *vendor* A dan strategi alokasi *vendor* B menunjukkan biaya yang harus dibayarkan oleh perusahaan apabila pihak manajemen ingin mempertahankan dan melindungi jaringan distribusi dari risiko ekstrem di mana semakin tinggi perlindungan yang diberikan maka semakin besar pula biaya yang dibayarkan. Sebaliknya, semakin agresif preferensi risiko yang digunakan, maka manajemen akan lebih fokus pada efisiensi biaya dasar operasional

Ditinjau dari dinamika sensitivitasnya, nilai *lambda* (λ) yang tinggi,contohnya 0.8, menyebabkan sistem sangat sensitif terhadap risiko ekstrem karena 80% porsi perhatian dialokasikan untuk kompensasi risiko sehingga dihasilkan total biaya yang tinggi. Kemudian pada *lambda* (λ) 0.7, porsi perhatian yang diberikan terhadap risiko masih besar yaitu 70% sehingga fokus manajemen juga akan condong pada penanggulangan risiko ekstrem tanpa terlalu mempedulikan minimasi biaya untuk efisiensi. Sedangkan pada *lambda* (λ) 0.5, perolehan biaya jauh lebih moderat karena alokasi anggaran dibagi secara seimbang antara biaya operasional harian dan biaya ketahanan (50:50). Oleh karena itu, ditinjau dari pembobotan risiko, nilai *lambda* (λ) 0.5 dapat menjadi titik kompromi yang paling ideal karena memberikan porsi pembobotan yang seimbang antara pencapaian efisiensi biaya dasar dan perlindungan risiko. Berdasarkan analisis komparatif seluruh skenario, kombinasi $\alpha = 95\%$ dan $\lambda = 0{,}5$ konfigurasi paling baik karena kombinasi ini dapat mengamankan operasional rantai pasok pada tingkat proteksi 95% dengan skema pembobotan yang moderat, tanpa memicu pembengkakan *objective value* yang tidak efisien bagi perusahaan.

5.4 Perbandingan Strategi Alokasi

Dari pembahasan hasil perolehan model optimasi, terdapat perbedaan karakteristik finansial pada tingkat fleksibilitas antara kedua strategi alokasi. Secara kuantitatif, strategi alokasi *vendor* A menghasilkan *expected cost* yang lebih rendah. Namun, pemilihan keputusan tidak hanya berfokus pada efisiensi biaya, namun juga dari ketahanan sistem. Untuk mengevaluasi

keseimbangan antara efisiensi biaya dan ketahanan sistem, pada Tabel 5.11, ditampilkan perbandingan hasil antara strategi alokasi A dan B. Perbandingan ini dilakukan menggunakan kombinasi tingkat kepercayaan $\alpha = 95\%$ dan $\lambda = 0.5$:

Tabel 5. 11 *Trade – Off* Strategi Alokasi *Vendor*

Indikator Penilaian	Strategi Alokasi *Vendor A*	Strategi Alokasi *vendor* B	Selisih/ Total Nominal
Expected cost	Rp 2,169,323,667	Rp 2,220,359,667	Rp 51,036,000
VaR 95%	Rp 2,341,997,500	Rp 2,393,033,500	Rp 51,036,000
CVaR 95%	Rp 2,359,099,000	Rp 2,410,135,000	Rp 51,036,000
Objective Value $\lambda = 0.5$	Rp 3,348,873,167	Rp 3,425,458,667	Rp 76,585,500
Capacity Slack Vendor 1	0 Unit	448 Unit	-
Capacity Slack Vendor 2	479 Unit	31Unit	-

Berdasarkan Tabel 5.11, strategi alokasi *vendor* A dan B menunjukkan beberapa poin krusial terkait aspek biaya, profil risiko, dan ketahanan kapasitas rantai pasok. Pada strategi alokasi *vendor* A dihasilkan *expected cost* sebesar Rp 2,169,323,667 sedangkan pada strategi alokasi B dihasilkan Rp 2,220,359,667, dari kedua hasil tersebut dapat dilihat bahwa biaya yang dihasilkan oleh strategi A lebih murah dibandingkan dengan strategi B . Kemudian pada nilai VaR dan CVaR 95%, dihasilkan selisih antara strategi alokasi A dan strategi alokasi B sebesar Rp 51,036,000, di mana strategi alokasi *vendor* A menghasilkan nilai lebih besar dibandingkan strategi alokasi *vendor* B. Kondisi nilai selisih yang konstan pada *expected cost,* VaR, dan CvaR menunjukkan bahwa kedua strategi alokasi tersebut memiliki profil risiko finansial yang sama. Hal ini dibuktikan oleh besar premi risiko atau biaya cadangan yang merupakan selisih dari nilai VaR dan *expected cost* bernilai sama pada kedua strategi alokasi yaitu Rp 172,673,833. Kesamaan nilai ini menunjukkan bahwa distribusi ketidakpastian biaya pada strategi alokasi *vendor* A merupakan bentuk pergeseran sejajar dari strategi alokasi B, sehingga perbedaan biaya antara kedua strategi tidak dipengaruhi oleh variabilitas risiko melainkan murni dari harga dasar yang berbeda.

Kemudian, adanya perbedaan biaya operasional pada strategi alokasi B yang lebih tinggi berasal dari perbedaan biaya operasional dasar yang bersifat tetap, seperti tarif dasar

pengiriman (*transport cost*) ataupun alokasi pemesanan *vendor* dengan struktur harga yang lebih tinggi. Perbedaan biaya dasar ini terekskalasi pada *objective value* dengan bobot 0.5 menjadi sebesar Rp 76,585,500 sebagai hasil dari pembobotan nilai preferensi risiko sebesar 0.5 atau 50% ke dalam fungsi objektif.

Selain itu, dari aspek ketahanan kapasitas, strategi alokasi *vendor* A memaksimalkan penggunaan *vendor* 1 tanpa sisa atau 0 unit dan penggunaan pada *vendor* 2 sebesar 479 unit. Sebaliknya, strategi alokasi *vendor* B mendistribusikan alokasi kapasitas secara lebih seimbang dengan menyisakan *slack* pada *vendor* 1 sebesar 448 unit dan *vendor* 2 sebesar 31 unit, meskipun total *slack* pada kedua strategi alokasi *vendor* tersebut bernilai sama yaitu 479 unit. Dalam upaya menyeimbangkan *trade – off* antara efisiensi biaya dan keandalan sistem (*robustness*), strategi alokasi *vendor* A memberikan keunggulan efisiensi biaya yang optimal namun memiliki kerentanan operasional pada *vendor* 1 apabila terjadi gangguan pasokan mendadak (*disruption*). Di sisi lain, strategi alokasi B menawarkan tingkat ketahanan operasional yang lebih tinggi karena pada strategi ini alokasi suplai dibagi ke dua *vendor* yang menyebabkan timbulnya kelonggaran kapasitas di kedua *vendor*, meskipun ketahanan tersebut harus dibayar dengan biaya operasional yang lebih mahal dibanding strategi alokasi *vendor* A. Oleh karena itu, Strategi alokasi *vendor* A secara ekonomis lebih unggul dan direkomendasikan untuk digunakan apabila *vendor* 1 dapat menjamin keandalan dan performa *vendor* untuk terus mensuplai barang sesuai dengan permintaan, namun apabila mengikutsertakan pertimbangan terkait ketahanan sistem yang optimal, strategi alokasi B menjadi opsi terbaik bagi perusahaan karena strategi ini memprioritaskan fleksibilitas dan mitigasi risiko kegagalan *vendor* tunggal.

5.5 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini telah memodelkan *trade – off* antara efisiensi biaya dan mitigasi risiko menggunakan pendekatan CVaR, namun masih terdapat beberapa keterbatasan yang melingkupi hasil penelitian ini sekaligus dapat memenjadi ruang pengembangan untuk penelitian berikutnya. Pada penelitian ini, fokus pemodelan menitikberatkan pada ketidakpastian biaya demi menjaga kompleksitas komputasi tingkat kepercayaan α dan *risk aversion* λ yang menyebabkan dinamika pada variabel lain seperti ketidakpastian waktu tunggu, fluktuasi biaya transportasi, hingga gangguan pasokan dari *vendor* yang belum ikut disertakan. Kemudian pengujian sensitivitas dari model ini masih menggunakan sampel data historis sehinggga himpunan skenario terbatas pada kondisi operasional yang ada. Model

optimasi dalam penelitian ini utamanya dirancang untuk mengevaluasi *trade-off* antara efisiensi biaya dan perlindungan risiko finansial. Pembatasan pada dimensi ekonomi ini menyebabkan indikator keberlanjutan lingkungan belum terintegrasi ke dalam kendala (*constraints*) maupun fungsi tujuan model. Parameter krusial seperti emisi karbon aktivitas transportasi, konsumsi energi fasilitas penyimpanan, serta skenario *reverse logistics* belum diperhitungkan dalam skema optimasi. Mengingat standar *Green/Sustainable Supply Chain Management* yang semakin ketat, belum terakomodasinya faktor lingkungan tersebut menjadi keterbatasan dalam menyajikan rekomendasi keputusan yang komprehensif.

BAB VI
KESIMPULAN & SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis sensitivitas, didapatkan hasil bahwa kombinasi α = 95% menjadi batasan tingkat kepercayaan (α) yang paling optimal karena mampu memberikan jaminan keamanan operasional yang andal. Dari batasan tersebut, strategi alokasi *vendor* A membutuhkan biaya sebesar Rp 3,348,873,167 untuk *risk seeker* (0.5), kemudian skenario *risk neutral* (0.7) membutuhkan biaya ketahanan sistem sebesar Rp 471,819,800 dan menaikan *objective value* menjadi Rp 3,820,692,967 dan untuk *risk averse* (0.8), dibebankan kompensasi biaya ketahanan sebesar Rp 235,909,900 sehingga naik menjadi Rp 4,056,602,867. Sedangkan, strategi alokasi *vendor* B membutuhkan biaya sebesar Rp 3,425,427,167 untuk *risk seeker* (0.5) di mana preferensi risiko ini tetap menuntut efisiensi biaya operasional. Preferensi risiko *risk neutral* (0.7) memicu kompensasi biaya ketahanan sebesar Rp 482,027,000 yang menaikkan *objective value* menjadi Rp 3,907,485,667 dan pada *risk averse* (0.8) pembebanan biaya bertambah menjadi Rp 241,031,500 dengan total akumulasi biaya sebesar Rp 723,040,500. Adanya nilai selisih dari peningkatan *objective value* ini membuktikan secara kuantitatif bahwa semakin konservatif preferensi risiko yang dipilih, maka semakin besar pula biaya finansial yang harus dikorbankan untuk mengamankan sistem. Sebaliknya semakin agresif preferensi risiko yang dipilih maka perusahaan mampu mencapai efisiensi biaya, di mana λ = 0.5 dapat menjadi pilihan yang baik karena mampu merepresentasikaan titik keseimbangan paling ideal antara efisiensi biaya operasional harian dan perlindungan risiko.

Perbedaan keputusan operasional pada ketiga skenario terletak pada porsi alokasi anggaran kompensasi risiko untuk menjalankan strategi yang digunakan di lapangan. Pada preferensi risiko *risk seeker* (0,5), keputusan operasional berfokus pada keseimbangaan antara biaya dan risiko, di mana strategi alokasi *vendor* A dipilih untuk efisiensi biaya apabila kinerja *vendo*r 1 stabil, sedangkan strategi alokasi *vendor* B dipilih jika indikator fluktuasi mulai meningkat. Peningkatan preferensi ke *risk averse* (0,7) mengarahkan keputusan operasional untuk memperbesar alokasi dana kompensasi risiko yang mulai menggeser prioritas ke strategi alokasi *vendor* B guna mengamankan pasokan. Sementara itu, pada skenario *risk averse* tinggi (0,8), keputusan operasional secara konservatif mewajibkan penggunaan strategi alokasi *vendor* B guna membentuk *capacity slack* sebagai penyangga di kedua *vendor* sebagai jaminan

utama ketahanan rantai pasok dari gangguan ekstrem, meskipun perusahaan harus menanggung *objective value* pada tingkat tertinggi.

6.2 Saran

Dari kesimpulan di atas, dapat diberikan saran kepada Perusahaan X yang dapat diterapkan dalam sistem jaringan distribusinya serta saran kedepannya agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih baik lagi.

6.2.1 Saran Manajerial

Berikut adalah saran yang diberikan untuk Perusahaan X terkait keputusan manajerial:

1. Manajemen Perusahaan X disarankan untuk mengadopsi preferensi risiko (λ) sebesar 0,5 dengan tingkat kepercayaan (α) 95%. Kombinasi ini memberikan keseimbangan optimal antara penekanan ekspektasi total biaya operasional dan perlindungan terhadap potensi lonjakan biaya pada skenario terburuk (*tail risk*).
2. Manajemen Perusahaan X disarankan untuk menerapkan diversifikasi alokasi *vendor* untuk distribusi seperti pada strategi alokasi *vendor* B, di mana kuota barang dibagi merata pada kedua *vendor* guna mengantisipasi fluktuasi permintaan dan ketidakpastian rantai pasok pada kondisi ekstrem di masa mendatang.

6.2.2 Saran Penelitian Berikutnya

Berikut adalah saran yang diberikan untuk peneliti pada penelitian selanjutnya:

1. Peneliti selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan ketidakpastian dinamis pada elemen rantai pasok lainnya secara simultan, seperti ketidakpastian waktu tunggu, fluktuasi biaya transportasi, serta gangguan pasokan pada *vendor*.
2. Peneliti selanjutnya diharapkan dapat memperbanyak penggunaan variasi skenario atau menggunakan sampel data yang lebih luas agar hasil pengujian model menjadi lebih sensitif dan mendekati kenyataan.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat dikembangkan menjadi *Green/Sustainable Supply Chain Management* dengan mengintegrasikan fungsi tujuan atau kendala tambahan terkait emisi karbon dari aktivitas transportasi, konsumsi energi pada fasilitas penyimpanan, serta pengelolaan barang retur (*reverse logistics*).

DAFTAR PUSTAKA

Acerbi, C., & Tasche, Ã.-D. (n.d.). *Expected Shortfall: A Natural Coherent Alternative to Value at Risk*.

Arifin, D., Muttaqien, Z., & Puspawardhani, G. (2024). Model Optimasi untuk Menentukan Tingkat Produksi Produk Multi Item Berkatagori Cepat Rusak. *Infomatek*, *26*(1), 143–152. https://doi.org/10.23969/infomatek.v26i1.13659

Bilgen, B., Akbaş, H., & Karaşahin, M. (2026). A risk-averse two-stage stochastic programming for biomass supply chain planning problem. *Computers and Chemical Engineering*, *204*. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2025.109401

Fu, Q., Rahman, A. A. A., Jiang, H., Abbas, J., & Comite, U. (2022). Sustainable Supply Chain and Business Performance: The Impact of Strategy, Network Design, Information Systems, and Organizational Structure. *Sustainability (Switzerland)*, *14*(3). https://doi.org/10.3390/su14031080

Gandelman, N., & Hernández-Murillo, R. (2014). *Working Paper Series Risk Aversion at the Country Level*. http://research.stlouisfed.org/wp/2014/2014-005.pdf

Handayani, D. I., Kurnia Iswardani, Haryono, H., & Prihatinigsih, T. P. (2023). Enhancing Food Supply Chain Efficiency: A Consolidation Shipping Approach For Multi-Product and Multiechelon. *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, *7*(2), 154–167. https://doi.org/10.21070/prozima.v7i2.1673

Hidayat, D. F., & Hulu, D. (2026). Analisis Risiko Pasar Value at Risk (VaR) dan Kinerja Keuangan PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk (TLKM) Periode 2022–2024: Perbandingan Metode Historical Simulation dan Variance-Covariance. *Business and Investment Review*, *4*(1). https://doi.org/10.61292/birev.243

Hitaj, A., Mastrogiacomo, E., & Molho, E. (2026). Robust bi-objective mean-CVaR portfolio selection: Applications to energy sector. *Omega (United Kingdom)*, *138*. https://doi.org/10.1016/j.omega.2025.103404

Indriani, A. (2026). ISSN : XXXX-XXXX Penerapan Model Matematika dalam Optimasi Sistem Logistik untuk Efisiensi Distribusi Barang. In *Jurnal Matematikan dan Sains Alam* (Vol. 1, Number 1). https://ojs.feliciajurnal.com/index.php/jmsa/index

Jeremi, N. A., & Vanany, I. (2023). Supply Chain Optimization Model for Fresh Cow's Milk to Reduce Carbon Emissions and Food Waste. *PROZIMA (Productivity, Optimization and Manufacturing System Engineering)*, *7*(1), 46–58. https://doi.org/10.21070/prozima.v7i1.1617

Kayvanfar, V., Moattar Husseini, S. M., Sajadieh, M. S., & Karimi, B. (2018). A multi-echelon multi-product stochastic model to supply chain of small-and-medium enterprises in industrial clusters. *Computers and Industrial Engineering*, *115*, 69–79. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.003

Khoidir, A., Firyal, B., Safitri, S., Rahmasari, D., Prodi,), & Industri, T. (n.d.). *OPTIMASI JARINGAN DISTRIBUSI MULTI ESELON DALAM RANTAI PASOK MULTI PRODUK MENGGUNAKAN MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING*.

Kurniawan, H., & Budiawan, W. (n.d.-a). *ANALISA PRODUKTIVITAS PEKERJA DENGAN METODE SAMPLING KERJA PADA BAGGING SECTION PT. CHANDRA ASRI PETROCHEMICAL TBK*.

Kurniawan, H., & Budiawan, W. (n.d.-b). *ANALISA PRODUKTIVITAS PEKERJA DENGAN METODE SAMPLING KERJA PADA BAGGING SECTION PT. CHANDRA ASRI PETROCHEMICAL TBK*.

Lang, S. M., Knak, L., Zanker, C., & Glöser-Chahoud, S. (2026). Simulation-driven optimization for resilient and sustainable supply chain operations. *Computers and Industrial Engineering*, *217*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2026.112063

Lo, S. L. Y., How, B. S., Teng, S. Y., Lim, J. Y., Loy, A. C. M., Lam, H. L., & Sunarso, J. (2023). A novel hybrid method for constructing resilient microalgae supply chain: Integration of n-1 contingency analysis with stochastic modelling. *Journal of Cleaner Production*, *417*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137939

Melnikov, A. (n.d.). *Risk Analysis in Finance and Insurance: Third Edition*. Retrieved https://www.routledge.com/Chapman-and-

Montgomery Douglas, & Runger George. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (Vol. 6). Library of Congress Cataloging in pUblication Data.

Pandega, C. S., Permana, E., & Okitasari, H. (2025). *Back Order dan Lost Sales sebagai Tantangan Ekonomi: Tinjauan Literatur terhadap Dampak dan Kebijakan Mitigasi* (Vol. 8, Number 3).

Philipus, M., Raja, P., & Siswanto, N. (2026a). Optimasi Rantai Pasok Tandan Buah Segar Dan Pelepah (Limbah) Kelapa Sawit Pada Hulu Rantai Pasok Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, *5*(1), 129–140.

Philipus, M., Raja, P., & Siswanto, N. (2026b). Optimasi Rantai Pasok Tandan Buah Segar Dan Pelepah (Limbah) Kelapa Sawit Pada Hulu Rantai Pasok Industri Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, *5*(1), 129–140.

Porporatto, L. G., Achkar, V. G., Fumero, Y., Brunaud, B. B., Torres, N., & Corsano, G. (2025). MILP reformulation and extension of multi-echelon inventory optimization model based on the guaranteed service approach. *Computers and Chemical Engineering*, *202*. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2025.109305

Risqi, S., Farhan, M., Saputra, R., Defriansyah, D., Wahyudi, B., Program,), Industri, S. T., & Artikel, I. (2025). *Kajian Literatur Masa Depan Manajemen Rantai Pasok dalam Perspektif Teknik Industri: Tantangan dan Strategi A Literature Review on the Future of Supply Chain Management from an Industrial Engineering Perspective: Challenges and Strategies*.

Sakr, A., Araldo, A., Başar, T., & Chahed, T. (2026). *Continuity of VaR and Continuous Differentiability of CVaR under Decision-Dependent Losses*. http://arxiv.org/abs/2606.10226

Setyorini, R. (2025). *Optimalisasi Manajemen Persediaan: Strategi Meningkatkan Efisiensi dan Mengurangi Biaya dalam Operasi Rantai Pasokan*. *01*, 210–215.

Singagerda, F. S., Pratama, M. R., Alfairus, M. Q., Iskandar, A., & Mamadiyarov, Z. (2025). A Decision-Centric Approach to Risk Management in Aviation Stock Investments Using Value at Risk and Portfolio Optimization. *Journal of Applied Science, Engineering, Technology, and Education*, *7*(1), 114–125. https://doi.org/10.35877/454RI.asci3870

Tyrrell Rockafellar, R., & Uryasev, S. (2001). *Conditional Value-at-Risk for General Loss Distributions*. http://www.ise.ufl.edu/uryasev

Van Wallendael, L., Vanneste, L., Zhang, Y., Stevens, A., & De Smedt, J. (2026). Mitigating downside risk: ESG integration in portfolio construction with stock preselection using machine learning and mean-CVaR optimization. *Quarterly Review of Economics and Finance*, *106*. https://doi.org/10.1016/j.qref.2026.102118

(Wang, Liu, Geng, & Hill, 2026). (n.d.).

Wu, J. F., Zhang, C., & Chen, Y. (2022). Analysis of risk correlations among stock markets during the COVID-19 pandemic. *International Review of Financial Analysis*, *83*. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2022.102220

Xiao, D., Chen, H., Cai, W., Wei, C., & Zhao, Z. (2023). Integrated risk measurement and control for stochastic energy trading of a wind storage system in electricity markets. *Protection and Control of Modern Power Systems*, *8*(1). https://doi.org/10.1186/s41601-023-00329-3

Yu Suen, T., Song, X., & Jones, D. (2023). A two-stage stochastic model for a multi-objective blood platelet supply chain network design problem incorporating frozen platelets. *Computers and Industrial Engineering*, *185*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109651

LAMPIRAN

Parameter	Value
alpha	0.95
lambda	0.50
Expected Cost_IDR	2,220,359,667
VaR95_IDR	2,393,033,500
CVaR95_IDR	**2,410,135,000**
Objective_IDR	3,425,427,167
Cost_IDR	2,143,465,000
Total Order Qty	1421
Solver changing	Cells D16:D35

VendorID	RetailerID	ProductID	OrderQty	UseVendor	UnitPurchaseCo	TransportCost	TotalUnitCos	LaneCapacity	OrderCost_ID
V1	R1	TRX-10G	241	1	850,000	53,000	903,000	600	217,623,000
V1	R1	TRX-100G	0	1	3,200,000	53,000	3,253,000	600	0
V1	R2	TRX-10G	242	1	850,000	61,000	911,000	600	220,462,000
V1	R2	TRX-100G	77	1	3,200,000	61,000	3,261,000	600	251,097,000
V1	R3	TRX-10G	209	1	850,000	69,000	919,000	600	192,071,000
V1	R3	TRX-100G	66	1	3,200,000	69,000	3,269,000	600	215,754,000
V1	R4	TRX-10G	0	1	850,000	77,000	927,000	600	0
V1	R4	TRX-100G	0	1	3,200,000	77,000	3,277,000	600	0
V1	R5	TRX-10G	165	1	850,000	85,000	935,000	600	154,275,000
V1	R5	TRX-100G	0	1	3,200,000	85,000	3,285,000	600	0
V2	R1	TRX-10G	34	1	895,000	95,000	990,000	600	33,660,000
V2	R1	TRX-100G	88	1	3,050,000	95,000	3,145,000	600	276,760,000
V2	R2	TRX-10G	0	1	895,000	88,000	983,000	600	0
V2	R2	TRX-100G	0	1	3,050,000	88,000	3,138,000	600	0
V2	R3	TRX-10G	0	1	895,000	81,000	976,000	600	0
V2	R3	TRX-100G	0	1	3,050,000	81,000	3,131,000	600	0
V2	R4	TRX-10G	187	1	895,000	74,000	969,000	600	181,203,000
V2	R4	TRX-100G	60	1	3,050,000	74,000	3,124,000	600	187,440,000
V2	R5	TRX-10G	0	1	895,000	67,000	962,000	600	0
V2	R5	TRX-100G	52	1	3,050,000	67,000	3,117,000	600	162,084,000

VendorID	RetailerID	ProductID	decision	fixed	ost IDR	IDR	t IDR	LaneCapacity	DR
V1	R1	TRX-10G	1	1	850,000	53,000	903,000	600	903,000
V1	R1	TRX-100G	88	1	3,200,000	53,000	3,253,000	600	286,264,000
V1	R2	TRX-10G	0	1	850,000	61,000	911,000	600	0
V1	R2	TRX-100G	0	1	3,200,000	61,000	3,261,000	600	0
V1	R3	TRX-10G	0	1	850,000	69,000	919,000	600	0
V1	R3	TRX-100G	0	1	3,200,000	69,000	3,269,000	600	0
V1	R4	TRX-10G	187	1	850,000	77,000	927,000	600	173,349,000
V1	R4	TRX-100G	60	1	3,200,000	77,000	3,277,000	600	196,620,000
V1	R5	TRX-10G	165	1	850,000	85,000	935,000	600	154,275,000
V1	R5	TRX-100G	51	1	3,200,000	85,000	3,285,000	600	167,535,000
V2	R1	TRX-10G	274	1	895,000	95,000	990,000	600	271,260,000
V2	R1	TRX-100G	0	1	3,050,000	95,000	3,145,000	600	0
V2	R2	TRX-10G	242	1	895,000	88,000	983,000	600	237,886,000
V2	R2	TRX-100G	77	1	3,050,000	88,000	3,138,000	600	241,626,000
V2	R3	TRX-10G	209	1	895,000	81,000	976,000	600	203,984,000
V2	R3	TRX-100G	66	1	3,050,000	81,000	3,131,000	600	206,646,000
V2	R4	TRX-10G	0	1	895,000	74,000	969,000	600	0
V2	R4	TRX-100G	0	1	3,050,000	74,000	3,124,000	600	0
V2	R5	TRX-10G	0	1	895,000	67,000	962,000	600	0
V2	R5	TRX-100G	1	1	3,050,000	67,000	3,117,000	600	3,117,000

ScenarioID	ScenarioType	ock	OrderCost IDR	IDR	HoldingCost IDR	ost IDR
S01	LowDemand	0.78	2,143,465,000	0	17,260,000	2,160,725,000
S02	Normal	0.96	2,143,465,000	0	3,185,000	2,146,650,000
S03	Normal	0.99	2,143,465,000	0	985,000	2,144,450,000
S04	Normal	1.01	2,143,465,000	11,370,000	0	2,154,835,000
S05	Normal	1.04	2,143,465,000	36,960,000	0	2,180,425,000
S06	HighDemand	1.16	2,143,465,000	146,490,000	0	2,289,955,000
S07	Normal	0.93	2,143,465,000	0	5,540,000	2,149,005,000
S08	HighDemand	1.22	2,143,465,000	200,790,000	0	2,344,255,000
S09	Disruption	1.12	2,143,465,000	109,530,000	0	2,252,995,000
S10	Recession	0.82	2,143,465,000	0	14,265,000	2,157,730,000
S11	Normal	1.00	2,143,465,000	0	0	2,143,465,000
S12	HighDemand	1.28	2,143,465,000	257,790,000	0	2,401,255,000
S13	Normal	0.97	2,143,465,000	0	2,440,000	2,145,905,000
S14	Normal	1.05	2,143,465,000	45,210,000	0	2,188,675,000
S15	Disruption	1.18	2,143,465,000	166,020,000	0	2,309,485,000
S16	LowDemand	0.88	2,143,465,000	0	9,435,000	2,152,900,000
S17	HighDemand	1.24	2,143,465,000	218,130,000	0	2,361,595,000
S18	Normal	1.02	2,143,465,000	18,690,000	0	2,162,155,000
S19	Recession	0.76	2,143,465,000	0	18,785,000	2,162,250,000
S20	Normal	0.95	2,143,465,000	0	3,895,000	2,147,360,000
S21	Normal	1.08	2,143,465,000	72,570,000	0	2,216,035,000
S22	Disruption	1.30	2,143,465,000	275,550,000	0	2,419,015,000
S23	Normal	1.03	2,143,465,000	28,290,000	0	2,171,755,000
S24	LowDemand	0.86	2,143,465,000	0	10,890,000	2,154,355,000
S25	HighDemand	1.20	2,143,465,000	182,100,000	0	2,325,565,000
S26	Normal	0.98	2,143,465,000	0	1,575,000	2,145,040,000
S27	Disruption	1.15	2,143,465,000	137,820,000	0	2,281,285,000
S28	Normal	1.06	2,143,465,000	56,070,000	0	2,199,535,000
S29	Recession	0.80	2,143,465,000	0	15,685,000	2,159,150,000
S30	HighDemand	1.26	2,143,465,000	239,520,000	0	2,382,985,000

R1-TRX-10G	R1-TRX-100G	R2-TRX-10G	R2-TRX-100G	R3-TRX-10G	R3-TRX-100G	R4-TRX-10G	R4-TRX-100G	R5-TRX-10G	R5-TRX-100G
215	69	189	60	163	51	146	47	129	41
264	84	232	74	201	63	180	58	158	50
272	87	240	76	207	65	185	59	163	51
278	89	244	78	211	67	189	61	167	53
286	92	252	80	217	69	194	62	172	54
319	102	281	89	242	77	217	70	191	60
256	82	225	72	194	61	174	56	153	48
336	107	295	94	255	81	228	73	201	63
308	99	271	86	234	74	209	67	185	58
226	72	198	63	171	54	153	49	135	43
275	88	242	77	209	66	187	60	165	52
352	113	310	99	268	84	239	77	211	67
267	85	235	75	203	64	181	58	160	50
289	92	254	81	219	69	196	63	173	55
325	104	286	91	247	78	221	71	195	61
242	77	213	68	184	58	165	53	145	46
341	109	300	95	259	82	232	74	205	64
281	90	247	79	213	67	191	61	168	53
209	67	184	59	159	50	142	46	125	40
261	84	230	73	199	63	178	57	157	49
297	95	261	83	226	71	202	65	178	56
358	114	315	100	272	86	243	78	215	68
283	91	249	79	215	68	193	62	170	54
237	76	208	66	180	57	161	52	142	45
330	106	290	92	251	79	224	72	198	62
270	86	237	75	205	65	183	59	162	51
316	101	278	89	240	76	215	69	190	60
292	93	257	82	222	70	198	64	175	55
220	70	194	62	167	53	150	48	132	42
347	111	305	97	263	83	236	76	208	66

VendorID	Capacity	TotalOrderQty	CapacitySlack
V1	1,000	1,000	0
V2	900	421	479
			479

VendorID	Capacity	g	k
V1	1,000	552	448
V2	900	869	31
			479

RetailerID	ProductID	and	PlannedSupply	perUnit	perUnit	DemandSlack
R1	TRX-10G	275	275	35,000	420,000	0
R1	TRX-100G	88	88	120,000	1,350,000	0
R2	TRX-10G	242	242	35,000	420,000	0
R2	TRX-100G	77	77	120,000	1,350,000	0
R3	TRX-10G	209	209	35,000	420,000	0
R3	TRX-100G	66	66	120,000	1,350,000	0
R4	TRX-10G	187	187	35,000	420,000	0
R4	TRX-100G	60	60	120,000	1,350,000	0
R5	TRX-10G	165	165	35,000	420,000	0
R5	TRX-100G	52	52	120,000	1,350,000	0

VendorID	Capacity_units
V1	1000
V2	900

RetailerID	RetailerName	DemandIndex
R1	JON	1.25
R2	BFC	1.1
R3	STS	0.95
R4	SDH	0.85
R5	YNM	0.75

ProductID	ProductName	BaseDemand	HoldingCost perUnit (IDR)	ShortagePenalty perUnit (IDR)
TRX-10G	10G SFP+ Transceiver	220	35000	420000
TRX-100G	100G QSFP28 Transceiver	70	120000	1350000

ScenarioID	ScenarioType	CommonDemandShock
S01	LowDemand	0.78
S02	Normal	0.96
S03	Normal	0.99
S04	Normal	1.01
S05	Normal	1.04
S06	HighDemand	1.16
S07	Normal	0.93
S08	HighDemand	1.22
S09	Disruption	1.12
S10	Recession	0.82
S11	Normal	1
S12	HighDemand	1.28
S13	Normal	0.97
S14	Normal	1.05
S15	Disruption	1.18
S16	LowDemand	0.88
S17	HighDemand	1.24
S18	Normal	1.02
S19	Recession	0.76
S20	Normal	0.95
S21	Normal	1.08
S22	Disruption	1.3
S23	Normal	1.03
S24	LowDemand	0.86
S25	HighDemand	1.2
S26	Normal	0.98
S27	Disruption	1.15
S28	Normal	1.06
S29	Recession	0.8
S30	HighDemand	1.26