

DISERTASI

**PENGEMBANGAN MODEL INVENTORI
PROBABILISTIK UNTUK ANALISIS PERSEDIAAN
BAHAN-BAHAN KIMIA DI PERUSAHAAN
DAERAH AIR MINUM**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Doktor Ilmu MIPA**



OKI DWIPURWANI

08013682227006

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU MIPA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGEMBANGAN MODEL INVENTORI PROBABILISTIK
UNTUK ANALISIS PERSEDIAAN BAHAN-BAHAN KIMIA
DI PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM**

DISERTASI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Doktor Ilmu MIPA

Oleh

OKI DWIPURWANI
08013682227006

Indralaya, Januari 2025
Promotor



Prof. Dr. Fitri Maya Puspita, S.Si., M.Sc
NIP. 197510061998032002

Co-Promotor I



Dr. Siti Suzlin Supadi
Staff ID : 00006273

Co-Promotor II



Dr. Evi Yuliza, S.Si., M.Si
NIP. 197807272008012012

Mengetahui

Dekan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

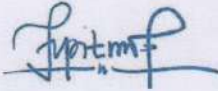
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Disertasi ini dengan judul "Pengembangan Model Inventori Probabilistik untuk Analisis Persediaan Bahan-bahan Kimia di Perusahaan Daerah Air Minum" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Program Studi Doktor (S3) Ilmu MIPA Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 06 Januari 2025.





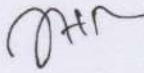
Indralaya, 07 Januari 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Disertasi

Ketua :

1. Prof. Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc () 7 Januari 2025
NIP. 197510061998032002

Anggota :

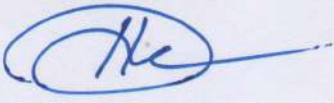
2. Dr. Siti Suzlin Supadi () 7 Januari 2025
Staff ID. 00006273
3. Dr. Evi Yuliza, M.Si () 7 Januari 2025
NIP. 197807272008012012
4. Prof. Dr. Luk Luk Fuadah, S.E., MBA., Ak () 7 Januari 2025
NIP. 197405111999032001
5. Dr. Sisca Octarina, M.Sc () 7 Januari 2025
NIP. 198409032006042001
6. Prof. Junaidi, S.Si., M.Si., Ph.D () 7 Januari 2025
NIP. 197402262000121001

Mengetahui,

Dekan Fakultas MIPA


Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197111191997021001

Koordinator Program Studi
Doktor Ilmu MIPA


Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D
NIP. 196704191993031001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Oki Dwipurwani

NIM : 08013682227006

Judul : Pengembangan Model Inventori Probabilistik untuk Analisis
Persediaan Bahan-bahan Kimia di Perusahaan Daerah Air Minum

Menyatakan bahwa Disertasi saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim Promotor dan Ko-Promotor dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Disertasi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



RINGKASAN

Pengembangan Model Inventori Probabilistik untuk Analisis Persediaan Bahan-bahan Kimia di Perusahaan Daerah Air Minum

Manajemen inventori sangat penting dalam perencanaan kegiatan persediaan dan pengambilan keputusan dalam proses pemesanan, serta penyimpanan barang yang optimal di suatu perusahaan. Demikian juga pentingnya manajemen inventori bahan-bahan kimia di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Metode inventori yang dapat digunakan dalam masalah manajemen inventori secara statistika adalah metode pengendalian persediaan statistik atau *Statistical Inventory Control* (SIC). Dalam metode SIC terdapat beberapa model inventori yang diklasifikasikan berdasarkan jenis data permintaan, yaitu SIC deterministik, SIC probabilistik, dan SIC tak tentu. Data permintaan itu sendiri umumnya bersifat tidak pasti, namun kebanyakan memiliki distribusi peluang tertentu, dan metode yang sering digunakan adalah model SIC probabilistik dengan mengasumsikan permintaan berdistribusi peluang normal. Asumsi distribusi peluang normal pada data riil kadang tidak terpenuhi. Jumlah inventori bahan kimia yang dibutuhkan di PDAM lebih dari satu, dengan vendor yang bisa sama, sehingga perusahaan harus memutuskan apakah sebaiknya melakukan kebijakan pembelian barang secara individu atau melakukan kebijakan pembelian bersama (*joint replenishment*). Data permintaan yang sering digunakan penelitian dalam model inventori umumnya adalah data historis atau contoh. Sebenarnya sangat baik jika menggunakan data ramalan, agar solusi kebijakan manajemen inventori dapat berlaku untuk saat itu atau yang akan datang. Data permintaan biasanya mengandung volatilitas, maka peramalan data permintaan diharapkan dapat mengakomodasi volatilitas. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah *Autoregresif Integrated Moving Average* (ARIMA).

Sehingga tujuan dalam penelitian ini adalah mengembangkan formulasi model SIC probabilistik (Q,r) dan (R,T) untuk data permintaan berdistribusi peluang selain normal secara matematis, baik untuk pengisian individual maupun pengisian bersama. Selain itu, melakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui

kesensitifan model inventori yang diperoleh terhadap perubahan parameter-parameter model.

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahap pertama adalah menentukan model peramalan ARIMA atau SARIMA pada data permintaan empat bahan kimia yang diperoleh dari PDAM Tirta Musi Palembang. Tahap kedua adalah menguji distribusi peluang data permintaan tahunan menggunakan metode *Kolmogorov Smirnov* (KS), dan mengembangkan formulasi secara matematis model inventori probabilistik SIC (R,T) dan (Q,r) probabilistik *Back Order* baik dengan pengisian individual ataupun pengisian bersama, dengan permintaan berdistribusi peluang hasil uji KS, dan nilai estimasi parameter *lead time* berdistribusi peluang Diskrit. Tahap ketiga adalah menentukan solusi optimum model inventori probabilistik menggunakan algoritma *Hadley-Within*. Kemudian membandingkan hasilnya berdasarkan solusi optimal kebijakan model-model inventori yang diperoleh. Tahap terakhir adalah melakukan analisis sensitivitas.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah: Model peramalan SARIMA untuk empat bahan kimia memberikan nilai *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dalam kriteria Baik. Pengembangan formulasi secara matematis model inventori probabilistik (R,T) dan (Q,r) individual dan (R,T) *joint* untuk distribusi peluang tingkat permintaan eksponensial, gamma, dan weibull telah dilakukan dengan benar. Solusi optimum diperoleh dengan metode eksak, melalui algoritma *Hadley-Within* dapat dibantu dengan penyusunan *script syntax* program pada *software Python* dengan akurat. Model (Q,r) individual memberikan hasil kebijakan inventori paling optimum dengan biaya total paling minimum. Metode perusahaan memberikan kebijakan dengan total biaya lebih besar dari ketiga model. Pada analisis sensitivitas, perubahan *lead-time* (L) paling berpengaruh positif terhadap perubahan nilai-nilai variabel *reorder point* (r), ukuran lot pemesanan (Q), *safety stock* (ss), jumlah kekurangan inventori (N) dan total biaya $Tc(Q,r)$.

Kata Kunci : Inventori Probabilistik, Distribusi Peluang Selain Normal, Peramalan SARIMA, Analisis Sensitivitas.

SUMMARY

Development of Probabilistic Inventory Model for Chemical Inventory Analysis in Regional Drinking Water Company

Inventory management is very important in planning inventory activities, making decisions in the ordering process, and ensuring the optimal storage of goods in a company. Likewise, managing chemicals in the Regional Drinking Water Company (PDAM) is essential. The inventory method that can be used in statistical inventory management problems is the Statistical Inventory Control (SIC) method. In the SIC method, several inventory models are classified based on the type of demand data, namely deterministic SIC, probabilistic SIC, and indeterminate SIC. Demand data itself is generally uncertain, but most of them have a specific probability distribution, and the method that is often used is the probabilistic SIC model by assuming that demand is normally distributed. The assumption of normal probability distribution in real data is sometimes not met. The number of chemical inventories required at the PDAM is more than one, with vendors that can be the same, so the company must decide whether to carry out an individual purchase policy or a joint replenishment policy.

The demand data that researchers often use in inventory models is generally historical or sample data. It is very good to use forecast data to apply the inventory management policy solution to the current or future. Demand data usually contains volatility, so demand data forecasting is expected to accommodate volatility. One method that can be applied is Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA).

So the objective in this research is to develop a probabilistic SIC model formulation (Q, r) and (R, T) for mathematically non-normal chance distributed demand data, both for individual filling and joint filling. In addition, sensitivity analysis was conducted to determine the sensitivity of the inventory model obtained to changes in model parameters.

The research was conducted in several stages. The first stage is to determine the ARIMA or SARIMA forecasting model on the demand data for

four chemicals obtained from PDAM Tirta Musi Palembang. The second stage is to test the probability distribution of annual demand data using the Kolmogorov Smirnov (KS) method, and develop a mathematical formulation of the SIC (R, T) and (Q, r) probabilistic Back Order inventory models either by individual replenishment or joint replenishment, with the probability distribution of the KS test results, and the estimated value of the lead time parameter with a Discrete probability distribution. The third stage is to determine the optimum solution of the probabilistic inventory model using the Hadley-Within algorithm. Then, the results will be compared based on the optimal solution policy of the inventory models obtained. The last stage is to conduct a sensitivity analysis.

The results obtained from this research are as follows: The SARIMA forecasting model for four chemicals provides mean absolute percent error (MAPE) value in good criteria. The development of mathematical formulations of (R, T) and (Q, r) individual and (R, T) joint probabilistic inventory models for exponential, gamma, and weibull demand probability distributions has been done correctly. The optimum solution is obtained by the exact method, through the Hadley-Within algorithm, which can be assisted by accurately preparing the program syntax script in Python software. The individual (Q, r) model gives the most optimum inventory policy with the minimum total cost. The firm method gives a policy with a total cost greater than the three models. In the sensitivity analysis, changes in lead-time (L) had the most positive effect on changes in the values of reorder point (r), order lot size (Q), safety stock (ss), inventory shortage (N) and total cost $Tc(Q, r)$.

Keywords: Probabilistic Inventory, Probability Distribution Other Than Normal, SARIMA Forecasting, Sensitivity Analysis.

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Disertasi dengan judul “Pengembangan Model Inventori Probabilistik untuk Analisis Persediaan Bahan-bahan Kimia di Perusahaan Daerah Air Minum”. Dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang tak terhingga khusus kepada kedua orang tua, Bapak **R Tarmihim** dan Ibu **Siti Ikah Atikah** yang telah banyak membimbing, menasihati, memotivasi, memberi perhatian, dan mendidik dengan penuh kasih sayang dan kesabaran serta selalu memberikan do’a yang berlimpah kepada penulis. Pada penyusunan Disertasi ini penulis telah banyak mendapatkan arahan, saran, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Prof. Dr. Taufiq Marwa, S.E., M.Si.**, selaku Rektor Universitas Sriwijaya.
2. Bapak **Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.**, selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya.
3. Bapak **Prof. Drs. Dedi Rohendi, M.T., Ph.D.**, selaku Koordinator Program Studi Doktor Ilmu MIPA Universitas Sriwijaya.
4. Ibu **Prof. Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc.**, sebagai Promotor Disertasi yang telah memberikan saran topik Disertasi, motivasi, bantuan, arahan, bimbingan dan nasehat untuk penulis dalam menyelesaikan Disertasi ini.
5. Ibu **Dr. Siti Suzlin Supadi** sebagai Ko-Promotor 1 dan Ibu **Dr. Evi Yuliza, S.Si., M.Si** sebagai Ko-Promotor 2, yang telah memberikan bimbingan, arahan dan saran untuk penulis dalam menyelesaikan Disertasi ini.
6. Ibu **Dr. Dian Cahyawati Sukanda, S.Si., M.Si** dan Ibu **Des Alwine Zayanti, S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris, serta seluruh Bapak/Ibu dosen dan tenaga kependidikan di Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya, serta seluruh staf Fakultas MIPA dan program Pasca Sarjana Universitas Sriwijaya.

7. Bapak **Prof. Junaidi, S.Si., M.Si., Ph.D.**, dari Prodi Statistika Fakultas MIPA Universitas Tadulako, Ibu **Prof. Dr. Luk Luk Fuadah, S.E., MBA., Ak** dan Ibu **Dr. Sisca Octarina, M.Sc.**, sebagai Tim Penguji Disertasi yang telah banyak memberikan tanggapan, masukan dan saran yang berharga untuk kesempurnaan Disertasi ini.
8. Ibu **Dr. Eka Susanti, M.Si** dan Ibu **Dr. Indrawati, M.Si** yang telah banyak kebersamai dalam menyelesaikan Disertasi ini.
9. Bapak **Dr. Ir. Andi Wijaya Adani, M.Sc.**, Direktur Utama Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Musi Palembang Sumatera Selatan dan seluruh manajer serta staf yang telah memberikan izin dan bantuan untuk melakukan penelitian.
10. Kakakku **Eko Edi Wibowo** beserta keluarga, dan adikku **Muhammad Adi Wibowo** beserta keluarga yang telah memberikan kasih sayang, dukungan dan doa selama ini.
11. Suami tercinta **Dedi Supriadi**, dan Ananda **Fatimah Zahra Aqila** tersayang, yang telah dengan sabar selalu mendampingi, mendukung, dan memberikan banyak bantuan yang berharga serta mendoakan penulis selama ini. Demikian juga ayah mertua dan seluruh keluarga atas doa dan dukungan selama menjalani Pendidikan Doktor.

Semoga Disertasi ini dapat menambah pengetahuan dan memberikan manfaat bagi pembaca, masyarakat dan penulis.

Indralaya, Januari 2025

Oki Dwipurwani
NIM 08013682227006

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
RINGKASAN	v
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	8
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Manfaat Penelitian	9
1.5. Kebaruan	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1. Peramalan Model <i>Time Series</i>	12
2.1.1. Stasioneritas Data <i>Time Series</i>	12
2.1.2. <i>Autocorrelation Function</i> (ACF) dan <i>Partial Autocorrelation Function</i> (PACF).....	13
2.1.3. Model ARIMA.....	14
2.1.4. Model SARIMA.....	15
2.1.5. Estimasi dan Uji Signifikansi Parameter Model.....	16
2.1.6. Uji Asumsi Residual Model.....	17
2.1.7. Pemilihan Model Terbaik	17
2.2. Pengujian Distribusi Peluang Statistika Data	19

2.3. Distribusi-distribusi Peluang Tingkat Permintaan	20
2.3.1. Distribusi Peluang Normal.....	20
2.3.2. Distribusi Peluang Gamma	21
2.3.3. Distribusi Peluang Eksponensial.....	22
2.3.4. Distribusi Peluang Weibull	22
2.4. Manajemen Inventori	23
2.4.1. Pengertian Manajemen Inventori	23
2.4.2. Notasi Parameter dan Variabel Model Inventori	24
2.5. Model Inventori <i>SIC</i> Probabilistik	25
2.5.1. Model Inventori Probabilistik (Q, r) Individual <i>Back Order</i>	25
2.5.2. Model Inventori Probabilistik (R, T) Individual <i>Back Order</i>	27
2.5.3. Model Inventori Probabilistik (R, T) <i>Joint Replenishment</i>	29
2.6. Solusi Optimum Metode Eksak.....	30
2.6.1. Solusi Model Inventori (Q, r) Individual dengan Algoritma <i>Hadley-Within</i>	30
2.6.2. Solusi Model Inventori (R, T) Individual dengan Algoritma <i>Hadley-Within</i>	32
2.6.3. Solusi Model (R, T) <i>Joint Replenishment</i> dengan Algoritma <i>Hadley-Within</i>	34
2.7. PDAM Tirta Musi Palembang	37
2.7.1. Sejarah PDAM Tirta Musi	37
2.7.2. Pendapatan PDAM Tirta Musi	38
2.7.3. Proses Penjernihan Air di PDAM Tirta Musi.....	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
3.1. Tempat Penelitian	41
3.2. Waktu Penelitian.....	41
3.3. Prosedur Penelitian	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1. Deskripsi Data	46
4.2. Peramalan Data Permintaan Bahan-bahan Kimia dengan SARIMA.....	48
4.2.1 Peramalan Data Permintaan Aluminium Sulfat Cair	49

4.2.1.1 Uji Stasioneritas Data Permintaan Aluminium Sulfat Cair.....	49
4.2.1.2 Identifikasi Model SARIMA Aluminium Sulfat Cair	52
4.2.1.3 Estimasi dan Uji Signifikansi Parameter Model Aluminium Sulfat Cair.....	57
4.2.1.4 Uji Asumsi Residual Model Aluminium	60
4.2.1.5 Keakuratan Prediksi Permintaan Aluminium Sulfat Cair	62
4.2.2 Peramalan Data Permintaan Gas Chlor.....	65
4.2.3 Peramalan Data Permintaan Kapur.....	66
4.2.4 Peramalan Data Permintaan Kaporit.....	67
4.3. Kesesuaian Distribusi Peluang Data Permintaan Bahan Kimia	68
4.4. Simulasi <i>Lead-Time</i> Bahan Kimia Berdistribusi Peluang Diskrit	71
4.5. Pengembangan Model inventori Probabilistik dengan Permintaan Berdistribusi Peluang Selain Normal.....	72
4.5.1 Model (Q, r) Individual dengan Permintaan Berdistribusi Peluang Selain Normal.....	72
4.5.2 Model (R, T) Individual dengan Permintaan Berdistribusi Peluang Selain Normal.....	76
4.5.3 Model (R, T) <i>Joint</i> dengan Permintaan Berdistribusi Peluang Selain Normal	76
4.6. Kebijakan yang Optimum Model Inventori Probabilistik Keempat Bahan Kimia di PDAM.....	77
4.6.1. Kebijakan yang Optimum Model Inventori Probabilistik (Q, r) Individual.....	80
4.6.2. Kebijakan yang Optimum Model Inventori Probabilistik (R, T) Individual.....	82
4.6.3. Kebijakan yang Optimum Model Inventori Probabilistik (R, T) <i>Joint</i> Pada Keempat Bahan Kimia	86
4.6.4. Kebijakan Inventori Perusahaan	90
4.6.5. Perbandingan Model Inventori Probabilistik untuk Menentukan Model yang Paling Sesuai	91
4.7. Analisis Sensitivitas	92

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	110
DAFTAR PUSTAKA.....	113
LAMPIRAN.....	123

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu Tentang Metode ARIMA.....	19
Tabel 2.2. Definisi Variabel dan Parameter	24
Tabel 2.3. Penelitian Terdahulu Tentang Model Inventori Probabilistik	35
Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu Tentang Model Inventori di PDAM	39
Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian Tahun ke-1	41
Tabel 3.2. Jadwal Kegiatan Penelitian Tahun ke-2	41
Tabel 4.1. Nilai-nilai ACF dan PACF	55
Tabel 4.2 Nilai Estimasi dan Uji Signifikansi Parameter model SARIMA.....	58
Tabel 4.3 Data Tahunan Empat Bahan Kimia.....	68
Tabel 4.4 Kesesuaian Distribusi Peluang Aluminium Sulfat Cair	69
Tabel 4.5 kesesuaian Distribusi Peluang Gas Klorin.....	69
Tabel 4.6 Kesesuaian Distribusi Peluang Kapur	69
Tabel 4.7 Kesesuaian Distribusi Peluang Kaporit	70
Tabel 4.8 Hasil Simulasi Data <i>Lead-Time</i>	71
Tabel 4.9 Parameter-Parameter Model	80
Tabel 4.10 Hasil Kebijakan Optimum model (Q, r) Individual	82
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan T dan R	85
Tabel 4.12 Hasil Kebijakan Optimum Model (R, T) Individual	86
Tabel 4.13 Hasil Kebijakan Optimum Model (R, T) <i>Joint</i>	89
Tabel 4.14 Hasil Kebijakan Model Perusahaan	90
Tabel 4.15 Analisis Sensitivitas Model (Q, r) Individual Aluminium Sulfat Cair	93
Tabel 4.16 Analisis Sensitivitas Model (Q, r) Individual Gas Klor	99
Tabel 4.17 Analisis Sensitivitas Model (Q, r) Individual Kapur	102
Tabel 4.18 Analisis Sensitivitas Model (Q, r) Individual Kaporit	105

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Alur proses pemodelan SARIMA.....	18
Gambar 2.2 Model (Q, r) dengan <i>Lead Time</i> Konstan	25
Gambar 2.3 Model (R, T) dengan <i>Lead Time</i> Konstan	28
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	45
Gambar 4.1 Tempat Penyimpanan Bahan Kimia	47
Gambar 4.2 Plot Deret Waktu Pemakaian Bahan Kimia	48
Gambar 4.3 Plot <i>Box-Cox</i> Aluminium Sulfat Cair	50
Gambar 4.4 Plot Deret Waktu Aluminium Sulfat Cair	52
Gambar 4.5 ACF dan PACF Aluminium Sulfat Cair Transformasi dan Diferensi Pertama	56
Gambar 4.6 Perbandingan besarnya koefisien masing-masing model	59
Gambar 4.7 Hasil Uji <i>Ljung-Box</i> Aluminium Sulfat Cair.....	60
Gambar 4.8 Plot Kenormalan Residual Aluminium Sulfat Cair	62
Gambar 4.9 Grafik Prediksi Permintaan Aluminium Sulfat Cair.....	64
Gambar 4.10 Grafik Ramalan Aluminium Sulfat Cair	65
Gambar 4.11 Grafik Ramalan Gas Chlor	66
Gambar 4.12 Grafik Ramalan Kapur	66
Gambar 4.13 Grafik Ramalan Kaporit	67
Gambar 2.14 Plot Analisis Trend Harga Gas Klor	79
Gambar 4.15 Perbandingan Biaya Total	91
Gambar 4.16 Perbandingan Biaya Simpan, Pesan, Beli, dan Kekurangan	88
Gambar 4.17 Perubahan Parameter-parameter (a) L , (b) P , (c) β_1 , dan (d) γ_1 pada Nilai Kebijakan Optimum Manajemen Inventori Aluminium Sulfat Cair	98
Gambar 4.18 Perubahan Parameter-parameter (a) L , (b) P , (c) λ_2 , dan (d) θ_2 pada Nilai Kebijakan Optimum Manajemen Inventori Gas Klor	101
Gambar 4.19 Perubahan Parameter-parameter (a) L , (b) P , (c) λ_3 , dan (d) θ_3 pada Nilai Kebijakan Optimum Manajemen Inventori Kapur.....	104

Gambar 4.20 Perubahan Parameter-parameter (a) L , (b) P , (c) β_4 , dan (d) η_4 pada Nilai Kebijakan Optimum Manajemen Inventori Kaporit	108
Gambar 4.21 Perubahan Lead-time (L) pada Nilai Tingkat Pelayanan (η) untuk Masing-masing Bahan Kimia.	108

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Publikasi Ilmiah	124
Lampiran 2. Tabel-tabel Probabilistik Normal	125
Lampiran 3. Surat-surat Izin Penelitian	131
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian.....	132
Lampiran 5. Data-data Penelitian	133
Lampiran 6. Pemrograman <i>Python</i>	136

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Manajemen inventori menjadi salah satu hal penting dalam pengambilan keputusan mengenai proses pemesanan dan penyimpanan barang di perusahaan mana pun. Proses tersebut termasuk pengelolaan bahan mentah, komponen, ataupun produk jadi, serta masalah pergudangan dan pemrosesan barang-barang. Perusahaan dapat menggunakan metode manajemen inventori yang berbeda sesuai dengan jenis bisnis atau produk yang dianalisis. Salah satu tujuan metode manajemen inventori adalah untuk memajemen persediaan dengan menghitung jumlah unit optimal yang harus dipesan atau diproduksi perusahaan untuk mengisi kembali persediaan, dengan meminimalkan biaya total persediaan (Sicilia *et al.*, 2022). Persediaan itu sendiri dapat menjadi aset, tetapi juga dapat menjadi beban jika persediaan yang dimiliki terlampau banyak dibanding dengan permintaan, akibatnya akan meningkat biaya penyimpanan dan perawatan persediaan. Oleh karena itu perlu adanya manajemen inventori yang dapat memprediksi jumlah persediaan, *safety stock*, *reorder point* dan *order quantity* yang optimum, dengan biaya total inventori yang minimum.

Metode yang dapat digunakan dalam masalah manajemen inventori secara statistika adalah metode pengendalian persediaan *Statistical Inventory Control* (SIC). Metode SIC terbagi dalam tiga jenis. Pertama adalah SIC yang bersifat deterministik. Pada SIC deterministik, parameter persediaan diketahui dan dapat diprediksi dengan pasti, serta tidak adanya variansi pada data permintaan. Misalnya model *Economic Order Quantity* (EOQ) deterministik, model *Material Requirement Planning* (MRP), dan model *Fixed Order Quantity* (FOQ) (Limansyah *et al.*, 2020; Puspita *et al.*, 2020; Rizqi & Khairunisa, 2020). Jenis SIC yang kedua adalah SIC bersifat probabilistik, atau sering juga disebut model sistem persediaan stokastik. SIC probabilistik berguna apabila parameter persediaan ditentukan dari data historis yang bervariasi dan sulit diprediksi secara

pasti, namun nilai-nilai ekspektasi, varian dan distribusi peluang statistik dari parameter tersebut dapat diketahui. Model inventori yang dapat digunakan yaitu model EOQ probabilistik atau model (r,Q) probabilistik (Braglia *et al.*, 2019; Limansyah *et al.*, 2020; X. Zhu *et al.*, 2022), pengembangan model EOQ (Barrón *et al.*, 2020; Hegedűs & Longauer, 2023), model *Periodic Order Quantity (POQ)* probabilistik atau model (R,S) , model (R,s,S) probabilistik, model (S,T) diskrit stokastik (Lei, 2021; Lesmono & Limansyah, 2019; Limanjaya & Silitonga, 2018; Limansyah *et al.*, 2020; Nagasree *et al.*, 2019; Sutoni & Taufik, 2019; Tai *et al.*, 2021). Selanjutnya yang ketiga adalah model SIC yang bersifat tak tentu. Metode SIC tak tentu digunakan jika nilai ekspektasi, varian dan distribusi peluang statistik parameter permintaannya tidak diketahui. Misalnya model optimasi *robust*, dan *Fuzzy* (Barron, 2023; Dhaiban & Aziz, 2019; Feng, Liu, *et al.*, 2022; Qiu *et al.*, 2022; Susanti *et al.*, 2023).

Model inventory *Fuzzy* memanfaatkan logika *Fuzzy* untuk mengelola ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan persediaan. Model persediaan ini dapat menangani situasi di mana informasi data permintaan yang tersedia sangat tidak jelas atau tidak presisi. Dengan menggunakan variabel linguistik dan aturan-aturan *Fuzzy*, model persediaan *Fuzzy* dapat memberikan keputusan yang fleksibel dan adaptif (Chaudhary *et al.*, 2023; De, 2021; Fathalizadeh *et al.*, 2019; S. Kumar *et al.*, 2023; F. Zhang *et al.*, 2021). Selain itu juga terdapat model *hybrid* yaitu dengan merubah masalah yang berbasis probabilitas menjadi bentuk deterministik (Hajiagha *et al.*, 2021; B. Zhu *et al.*, 2022).

Jika membandingkan antara SIC deterministik, SIC Probabilistik, SIC tak tentu, Inventori *Fuzzy*, dan model *Hybrid*, tidak ada jenis model persediaan yang secara mutlak lebih baik dari yang lain. Pilihan yang tepat tergantung pada ciri khas dan kebutuhan spesifik dari sistem persediaan, serta sifat data tingkat permintaan yang sedang dihadapi. Sementara itu, data permintaan umumnya selalu bersifat tidak pasti, namun kebanyakan memiliki distribusi peluang tertentu. Permintaan pada model inventori didefinisikan sebagai permintaan barang ataupun pemakaian barang.

Menurut Barros *et al.* (2021), dalam suatu kajian *systematic literature review*, beberapa studi literatur seperti (Dewi *et al.*, 2021; Kumar & Uthayakumar, 2019; Pulido & Pizarro, 2020; Silitonga & Kawet, 2018; Vo *et al.*, 2021), dan buku-buku inventori terkemuka, serta perangkat lunak manajemen inventaris, sering mengasumsikan bahwa permintaan mengikuti distribusi peluang normal. Sehingga umumnya para peneliti lebih menyukai menggunakan Model SIC probabilistik dengan distribusi peluang normal, khususnya normal standar. Namun asumsi tersebut adalah tidak tepat karena permintaan pada kenyataannya sering berdistribusi peluang tidak normal, yaitu memiliki distribusi yang miring, atau memiliki *skewness* yang tidak bernilai nol. Kesalahan asumsi ini dapat menyebabkan kesalahan dalam perkiraan kebijakan optimal pada *safety stock*, *reorder point* dan *order quantity*, sehingga biaya total inventori yang diperoleh menjadi tidak tepat. Oleh karena itu, pengembangan model SIC probabilistik untuk data permintaan selain berdistribusi peluang normal perlu diformulasikan.

Penelitian-penelitian model inventori probabilistik sebelumnya pernah dilakukan oleh Miquel & Rivera (2021) menggunakan model inventori (R, s, S) dengan mempertimbangkan variabel *undershoot* yang merupakan titik pemesanan ulang, dimana tingkat permintaan dipertimbangkan berdistribusi peluang gamma dan normal. Alshanbari (2021) membuat model persediaan probabilistik menggunakan pendekatan pemrograman geometris. Dolgan *et al.*, (2020) melakukan penetapan harga dinamis, dengan tingkat permintaan berdistribusi peluang diskrit. Penelitian lain mengenai kebijakan optimal persediaan dengan permintaan berdistribusi peluang normal dilakukan di perusahaan yang memasarkan produk sekali pakai (Rojano *et al.*, 2020). Model persediaan EOQ probabilistik pada permintaan berdistribusi peluang uniform telah diteliti oleh Nagasree *et al.* (2019). Navarro (2020) menggunakan model POQ probabilistik dengan permintaan berdistribusi peluang Eksponensial. Zhang *et al.* (2022) membandingkan inventori substitusi dan inventori probabilistik pada tiga ukuran permintaan pasar yaitu deterministik, acak diskrit, acak umum, dan memberikan hasil bahwa model probabilistik lebih baik dari model substitusi. Soroush *et al.* (2020) membandingkan model persediaan transportasi dengan permintaan

berdistribusi gamma, eksponensial, seragam. Winkelmann *et al.* (2022) memberikan temuan yang mengilustrasikan pentingnya memodelkan variabel stokastik dengan benar menggunakan distribusi probabilitas yang sesuai untuk proses manajemen persediaan yang hemat biaya.

Pada penelitian disertasi ini, data permintaan berupa data runtun waktu bulanan dengan ekspektasi dan varian dapat diketahui, sehingga akan digunakan model *SIC* yaitu model inventori (R, T) probabilistik atau disebut model *Fixed-Order Interval*, dan (Q, r) probabilistik atau disebut model *Fixed-Order Quantity*. Distribusi peluang tingkat permintaan akan disesuaikan dengan data riil. Tingkat permintaan dapat memiliki distribusi peluang selain normal. Pada penelitian disertasi ini juga *lead-time* diasumsikan memiliki distribusi peluang Diskrit.

Data permintaan yang digunakan sebaiknya berupa data ramalan yang akan datang, sehingga dapat memperoleh kebijakan manajemen inventori optimum untuk waktu sekarang dan waktu depan. Beberapa metode peramalan data yang telah digunakan dalam penelitian di berbagai bidang diantaranya adalah metode Model Regresi, *Moving Average (MA)*, *Holt-Winter*, ataupun Dekomposisi. Penelitian-penelitian sebelumnya mengenai peramalan data permintaan diantaranya tentang peramalan permintaan turis (Feng *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2022), permintaan listrik dengan metode Dekomposisi (Gao *et al.*, 2022; Taheri *et al.*, 2021), permintaan obat-obatan (Ning *et al.*, 2021), permintaan ekspor kopi menggunakan metode *Holt-Winter* (Akmal *et al.*, 2022). Ternero *et al.* (2023) menggunakan metode peramalan tersebut untuk meramalkan data permintaan pada pemodelan inventori probabilistik normal. Namun metode-metode peramalan tersebut kebanyakan belum tepat dalam meramalkan data yang mengandung volatilitas.

Menurut Barros *et al.* (2021) terdapat kekurangan artikel yang berfokus pada penyediaan model yang mempertimbangkan pengetahuan tentang volatilitas dalam mengestimasi parameter tingkat permintaan pada model inventori. Volatilitas dalam data menunjukkan adanya ketidakstasioneran pada data, dan data permintaan banyak yang mengandung volatilitas. Salah satu metode peramalan

yang dapat digunakan untuk mengatasi data yang mengandung volatilitas adalah metode peramalan *Autoregresif Integrated Moving Average* (ARIMA).

ARIMA sering diaplikasikan pada masalah peramalan nilai saham dalam bidang bisnis. ARIMA juga telah digunakan dalam peramalan pembangkit listrik, beban listrik dan elektronik (Goswami & Kandali, 2020; Jamil, 2020; Kuvat & Adali, 2020). Peramalan permintaan di bidang medis dan kesehatan (Huang *et al.*, 2020; Yilmaz, 2022), peramalan permintaan pada masalah rantai pasokan (Bousqaoui *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021), peramalan di bidang transportasi (Jeong *et al.*, 2020; Su & Su, 2022), dan peramalan di bidang rumah tangga (Nurochman & Moeis, 2021).

Data ramalan permintaan pernah digunakan untuk mengestimasi tingkat permintaan pada masalah *lot-size inventory* optimal, yang meminimalkan biaya total, yaitu dilakukan oleh Vo *et al.* (2021). Puspita *et al.* (2020) menggunakan ARIMA untuk model inventori deterministik. Penelitian tersebut meramalkan data permintaan dengan metode ARIMA pada model inventori *Fuzzy EPQ*. Pada penelitian disertasi ini metode ARIMA atau *Seasonal ARIMA* (SARIMA) akan diterapkan untuk meramalkan data permintaan dalam mengestimasi parameter tingkat permintaan bahan-bahan kimia pada model inventori probabilistik selain berdistribusi peluang normal di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). SARIMA digunakan karena pada bulan-bulan tertentu di musim kemarau, dimana air sungai menjadi lebih keruh, maka diasumsikan permintaan bahan kimia oleh bagian produksi akan meningkat.

Manajemen inventori di PDAM sebagai perusahaan penyedia air bersih sangatlah penting, karena berhubungan dengan kebutuhan primer masyarakat luas dan hajat hidup orang banyak (Sisnayati *et al.*, 2021). Sesuai dengan Visi dan Misinya PDAM akan selalu tangguh menyediakan air minum dan memberikan pelayanan yang dapat memuaskan pelanggan, sehingga dapat dibanggakan oleh masyarakat sekitarnya. Demikian juga dengan PDAM Tirta Musi Palembang selalu berusaha untuk dapat memenuhi kebutuhan air minum bagi masyarakat disekitar kota Palembang.

PDAM Tirta Musi dalam melakukan penyediaan air minum tersebut, tentulah melalui proses yang cukup panjang. Pertama-tama mengambil air baku yang berasal dari sungai Musi yang kemudian disalurkan ke instalasi Pengolahan Air Karang Anyar, proses selanjutnya adalah pemberian bahan kimia Alumunium Sulfat Liquid (tawas: Al_2SO_4) yang berfungsi sebagai pengikat kotoran. Untuk lebih menjernihkan air maka diberi serbuk kapur untuk netralisasi agar $pH > 7$ dan pemberian gas klor atau kaporit (Cl_2) untuk desinfektan bertujuan membunuh bakteri yang ada di dalam air. Baru kemudian dapat disalurkan ke seluruh pelanggan di sekitar Palembang melalui pipa (Fitria & Pamuji, 2015).

Ketersediaan inventori bahan-bahan kimia Alumunium sulfat cair, serbuk kapur, gas klor dan kaporit menjadi sesuatu yang sangat penting di perusahaan PDAM, karena jika bahan-bahan kimia tersebut tidak tersedia ketika dibutuhkan, maka perusahaan PDAM akan mengalami kerugian, baik dari segi keuntungan yang hilang karena tertundanya penyaluran air minum, maupun berkurangnya kepercayaan masyarakat terhadap PDAM. Sehingga menjadi sangat penting untuk melakukan manajemen persediaan yang tepat dalam menentukan kebijakan jumlah persediaan bahan-bahan kimia yang optimal, sehingga akan selalu tersedia ketika dibutuhkan namun tidak berlebihan, karena jika berlebihan akan meningkatkan biaya penyimpanan, dan kapasitas gudang pun ada batasnya.

Jumlah inventori bahan kimia yang dibutuhkan di PDAM lebih dari satu, dengan vendor yang bisa sama, sehingga perusahaan perlu memutuskan apakah perlu melakukan kebijakan pembelian barang secara individu (*individual replenishment*) atau melakukan kebijakan pembelian bersama (*joint replenishment*), atau gabungan keduanya. Model inventori *joint replenishment* dikembangkan untuk model (R, T) (Lesmono & Limansyah, 2017; Wang & Chen, 2022). Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Silitonga *et al.* (2021) membandingkan model (r, Q) dan model (R, T) untuk tingkat permintaan berdistribusi peluang normal dengan *joint replenishment*. Pada penelitian disertasi ini akan membandingkan model inventori probabilistik dengan kebijakan pembelian individual atau bersama (*joint*) untuk distribusi peluang tingkat permintaan selain normal.

Masalah pemodelan inventori pada perusahaan air minum PDAM pernah diteliti oleh Purwandini *et al.* (2019). Penelitian tersebut dilakukan di PDAM Tirta kencana Kota Samarinda pada inventori bahan kimia menggunakan metode EOQ deterministik. Selain itu telah dilakukan di PDAM Tirta Mayang Kota Jambi dan PDAM Nganjuk menggunakan model (r, Q) probabilistik dengan tingkat permintaan berdistribusi peluang normal, tanpa terlebih dahulu melakukan uji asumsi kenormalan (Ayu *et al.*, 2022; Dewi *et al.*, 2019). Belum pernah ditelusuri manajemen inventori dengan permintaan memiliki distribusi selain normal di PDAM. Jika permintaan memiliki distribusi peluang tidak normal di PT PDAM, maka kajian teori *SIC* atau model inventori probabilistik perlu dikembangkan dan disesuaikan dengan pola distribusi peluang tingkat permintaan, dan kondisi biaya-biaya dalam sistem inventori yang timbul di PDAM.

PDAM adalah perusahaan yang dapat memonopoli penyaluran air ke rumah-rumah atau unit-unit yang membutuhkan, dan pelanggan hanya dapat menunggu jika terjadi hambatan dalam penyaluran air. Masalah kekurangan persediaan bahan kimia (*Shortage*) pada inventori di PDAM akan lebih sesuai jika menggunakan cara *Back Order* dibandingkan *Lost Sales*. Dalam *Back Order* konsumen mau menunggu sampai air tersalurkan kembali, dan perusahaan akan melakukan pemesanan bahan-bahan kimia secara darurat untuk memenuhi permintaan air. Sehingga model inventori probabilistik yang sesuai adalah model inventori (R, T) dan (r, Q) probabilistik *Back Order*.

Berdasarkan uraian diatas maka penelitian disertasi ini berfokus pada pengembangan model inventori secara matematis dengan pendekatan distribusi statistik yang lebih sesuai dalam menentukan jumlah persediaan yang optimal dengan tepat di perusahaan PDAM. Dengan adanya model inventori yang dikembangkan dan lebih sesuai dengan data permintaan bahan-bahan kimia di PDAM yang tidak pasti ini, perusahaan khususnya PDAM dapat menghindari kekurangan atau kelebihan persediaan, yang dapat menyebabkan biaya yang tidak perlu. Model inventori yang akan dikembangkan adalah model inventori probabilistik *SIC* (R, T) dan (r, Q) *Back Order* dengan permintaan berdistribusi peluang selain normal, yaitu disribusi peluang eksponensial, gamma, dan weibull.

Kemudian membandingkan hasilnya berdasarkan kebijakan optimal yang diperoleh. Data permintaan dalam model berupa data ramalan kedepan dengan metode ARIMA atau SARIMA, serta dilakukan perbandingan kebijakan pembelian secara *individual* dan *Joint Replenishment*. Selain itu, didalam model variabel *lead time* diasumsikan memiliki distribusi peluang Diskrit.

Ditambahkan juga analisis sensitivitas untuk mengetahui kesensitivan kebijakan optimal yang diperoleh terhadap perubahan parameter-parameter model. Pada analisis sensitivitas, solusi optimum yang diperoleh akan dianalisis perubahannya, dengan melakukan penambahan dan pengurangan atau perbedaan-perbedaan skenario nilai parameter permintaan, *lead time*, dan parameter-parameter distribusi peluang, terhadap perubahan biaya total optimum.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model peramalan ARIMA dan SARIMA untuk data permintaan bahan kimia aluminium sulfat cair, gas klor, kapur dan kaporit di PDAM Tirta Musi Palembang?
2. Bagaimana pengembangan formulasi model inventori probabilistik SIC (R, T) dan (Q, r) *Back Order*, baik dengan pengisian individual ataupun pengisian bersama secara matematis, dengan parameter tingkat permintaan berdistribusi peluang selain Normal, dan *lead time* berdistribusi peluang Diskrit.
3. Bagaimana menentukan kebijakan optimum model-model inventori probabilistik SIC (R, T) dan (Q, r) pada nomor 2.
4. Bagaimana melakukan analisis sensitivitas model inventori yang memberikan kebijakan paling optimum terhadap perubahan parameter-parameter pada model inventori probabilistik tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan model peramalan ARIMA dan SARIMA pada data permintaan bahan kimia aluminium sulfat cair, gas klor, kapur dan kaporit di PDAM Tirta Musi Palembang.
2. Memformulasikan secara matematis pengembangan model inventori probabilistik SIC (R, T) dan (Q, r) *Back Order* baik dengan pengisian individual ataupun pengisian bersama, dengan permintaan berdistribusi peluang selain Normal, dan nilai estimasi parameter *lead time* berdistribusi peluang Diskrit.
3. Menentukan kebijakan optimum model inventori probabilistik menggunakan algoritma *Hadley Within*. Kemudian membandingkan hasilnya berdasarkan kebijakan optimal model-model inventori yang diperoleh.
4. Melakukan uji sensitivitas model dengan kebijakan paling optimum terhadap perubahan parameter-parameter model inventori probabilistik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian disertasi ini adalah:

1. Dapat menambah wawasan tentang peramalan data deret waktu permintaan yang mengandung volatilitas menggunakan metode peramalan ARIMA atau SARIMA.
2. Dapat menambah wawasan dan keilmuan tentang optimalisasi model inventori probabilistik dengan tingkat permintaan berdistribusi peluang selain normal yang diuraikan secara matematis, menggunakan metode eksak, melalui algoritma *Hadley-Within*.
3. Dapat menjadi bahan masukan untuk pihak PDAM dalam menentukan kebijakan manajemen inventori bahan-bahan kimia.

1.5 Kebaruan

Kebaruan pada penelitian ini adalah

1. Penelitian-penelitian sebelumnya kebanyakan mengasumsikan bahwa estimasi tingkat permintaan item pada model inventori probabilistik mengikuti distribusi peluang normal dan umumnya menggunakan normal standar, dimana optimalisasi model inventori normal tersebut dengan mudah dapat menggunakan Tabel distribusi normal standar pada Lampiran 2a dan Lampiran 2b. Penelitian-penelitian tersebut diantaranya dilakukan oleh Christou *et al.* (2020); Rojano *et al.* (2020); Silitonga *et al.* (2021); Sutoni & Taufik (2019); Vo *et al.* (2021). Disamping itu, umumnya penelitian-penelitian terdahulu menggunakan distribusi peluang yang sama untuk semua item pada pemodelan inventori probabilistik multi item, dengan nilai-nilai parameter distribusi peluang nya ditentukan kecil dan berupa bilangan bulat, agar dapat mempermudah perhitungan, seperti pada penelitian-penelitian Alshanbari *et al.* (2021); Gutierrez & Rivera (2021); Lesmono & Limansyah (2019). Namun, tingkat persediaan yang berdistribusi normal standar, dan parameter bernilai bilangan bulat tidak selalu dapat dipenuhi pada data riil. Maka pada penelitian ini akan mengembangkan formulasi model inventori probabilistik dengan estimasi parameter tingkat permintaan memiliki beberapa distribusi peluang yang tidak sama untuk setiap item dan berdistribusi peluang selain normal, serta nilai parameter-parameter distribusi peluangnya disesuaikan dengan data riil, berupa bilangan desimal yang besar. Dalam mencari solusi model umumnya penelitian-penelitian sebelumnya juga menggunakan *software* MAPLE (*Mathematics and Programming Language Environment*), pada penelitian ini dibantu *software* Python dengan menyusun *script syntax* programnya.
2. Sebagian besar penelitian-penelitian sebelumnya dalam menentukan estimasi parameter tingkat permintaan pada pemodelan inventori menggunakan data historis, seperti pada penelitian (Alshanbari, 2021; Dolgan *et al.*, 2020; El-Wakeel & Al Salman, 2019; Limansyah *et al.*, 2020;

Nugroho *et al.*, 2021; Salas-Navarro *et al.*, 2020; Setiawan *et al.*, 2021; Sutoni & Taufik, 2019). Penelitian-penelitian lainnya yang menggunakan data ramalan dalam menentukan estimasi tingkat permintaan pada pemodelan inventori probabilistik normal adalah Rojano *et al.* (2020) menggunakan metode *Moving Average* (MA), N. K. Dewi *et al.* (2021) menggunakan metode *Naïve* dan Vo *et al.* (2021) dengan metode *Holt-Winter*. Dalam penelitian ini menggunakan data historis dan data ramalan beberapa bulan kedepan dengan metode peramalan ARIMA atau SARIMA dalam menentukan tingkat permintaan dalam pemodelan inventori probabilistik selain normal.

3. Umumnya penelitian-penelitian model persediaan bahan-bahan kimia di PDAM pada lima tahun terakhir ini menggunakan metode pengisian individual (*individual replenishment*) dengan tingkat permintaan memiliki distribusi peluang normal baku, seperti pada penelitian Ayu *et al.* (2022); Purwandini *et al.* (2019) dan D. C. Dewi *et al.*, (2019). Pada penelitian ini akan di formulasikan model persediaan probabilistik dengan tingkat permintaan selain normal dan melakukan pengisian bersama (*Joint Replenishment*), dimana keempat bahan kimia akan memiliki interval pengisian optimum yang sama, dengan jumlah lot pengisian berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, S., Sayuti, M., & Hasibuan, M. (2022). Forecasting Model Of Arabica Coffee Export Demand With Decomposition Method On CV. Gayo Coffee Oro. *International Journal of Engineering*.
- Alnursa, D. S., Lukman, S., & Abdullah, I. (2022). The Effect of Online Learning System on Student Learning Interest in the Geography Education Study Program of STKIP Kie Raha during the Covid 19 Pandemic. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(1), 1–7.
- Alshanbari, H. M. (2021). Constrained periodic-review probabilistic inventory model with increasing holding cost for two different cases of the relational function. *Journal of Statistics Applications and Probability*, 10(3), 913–922.
- Annie Rose Nirmala, D., Kannan, V., Thanalakshmi, M., Joe Patrick Gnanaraj, S., & Appadurai, M. (2022). Inventory management and control system using ABC and VED analysis. *Materials Today: Proceedings*, 60, 922–925.
- Aprianti, R. (2018). Efektivitas Pendapatan Usaha Pada Perusahaan Daerah Air Minum (Pdam) Tirta Musi Kota Palembang. *Jurnal Studi Sosial Dan Politik*, 2(2), 85–95.
- Aswi, & Sukarna. (2006). *Analisis Deret Waktu*. Makassar : Penerbit Andira.
- Ayu, D., Fauji, S., & Purnomo, H. (2022). Controlling Poly Aluminum Cloraide Inventory with the Economic Order Quantity Method at PDAM Nganjuk Regency. *Management and Business Symposium*, July, 152–159.
- Bahagia, S. N. (2006). *Inventory System* (First Ed). ITB Press.
- Barrón, L. E. C., Shaikh, A. A., Tiwari, S., & Treviño-Garza, G. (2020). An EOQ inventory model with nonlinear stock dependent holding cost, nonlinear stock dependent demand and trade credit. *Computers and Industrial Engineering*, 139(December 2018), 105557.
- Barron, Y. (2023). Integrating Replenishment Policy and Maintenance Services in a Stochastic Inventory System with Bilateral Movements. *Mathematics*, 11(4).
- Barros, J., Cortez, P., & Carvalho, M. S. (2021). A systematic literature review about dimensioning safety stock under uncertainties and risks in the procurement process. *Operations Research Perspectives*, 8(January), 100192.
- Bartels, R. (2014). Rank Version of von Neumann ' s Ratio Test for Randomness. *Journal of the American Statistical Association*, 77(377), 40–46.

- Bousqaoui, H., Slimani, I., & Achchab, S. (2021). Comparative analysis of short-term demand predicting models using ARIMA and deep learning. In *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. pdfs.semanticscholar.org.
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2013). Time series analysis: Forecasting and control: Fourth edition. In *Time Series Analysis: Forecasting and Control: Fourth Edition*.
- Braglia, M., Castellano, D., Marrazzini, L., & Song, D. (2019). A continuous review,(Q, r) inventory model for a deteriorating item with random demand and positive lead time. *Computers & Operations Research*.
- Chaturvedi, S., Rajasekar, E., Natarajan, S., & McCullen, N. (2022). A comparative assessment of SARIMA, LSTM RNN and Fb Prophet models to forecast total and peak monthly energy demand for India. *Energy Policy*, 168(February 2021), 113097.
- Chaudhary, R., Mittal, M., & Jayaswal, M. K. (2023). A sustainable inventory model for defective items under fuzzy environment. *Decision Analytics Journal*, 7(February), 100207.
- Christou, I. T., Skouri, K., & Lagodimos, A. G. (2020). Fast evaluation of a periodic review inventory policy. *Computers and Industrial Engineering*, 144(March), 106389.
- Cokelaer, T. (2023). *Fitter Package*. zenodo.org.
- Dania, W. A. P., Mustaniroh, S. A., & Primasari, A. (2019). Probabilistic economic order quantity (EOQ) for the flour inventory control (Case study in company Z). *ACM International Conference Proceeding Series*, 172–175.
- de Figueiredo, M. P. S., Moreira, G. R., de Brito, C. C. R., Gomes-Silva, F., Pinto dos Santos, A. L., da Costa, M. L. L., Filho, M. C., & Silva do Amaral, L. (2023). Method to generate growth and degrowth models obtained from existing models compositions applied to animal sciences – The Athens-Canadian chicken growth case. *Livestock Science*, 269.
- De, S. K. (2021). Solving an EOQ model under fuzzy reasoning. *Applied Soft Computing*, 99, 106892.
- Dewi, D. C., EW, E. R., & Suganda, S. (2019). Planning and Controlling Liquid Aluminum Sulfate Inventory with the EOQ Method Case Study at PDAM Tirta Mayang Jambi City. *Journal of Science and Technology*.
- Dewi, N. K., Andriant, I., & Loren, J. (2021). Analysis of Raw Material Inventory Planning Considering Uncertainty Demands (Case Study: Model Q with Back Order at PT. X). *Journal of Physics: Conference Series*, 1764(1).

- Dhaiban, A. K., & Aziz, N. (2019). Stochastic demand of production-inventory system with shortage. *AIP Conference Proceedings*.
- Dolgan, N. Ç., Haidar, L. M., Esmer, B., & Jaber, M. Y. (2020). Temporary price increase during replenishment lead time. *Applied Mathematical Modelling*, 78, 217–231.
- Dutta, P., Chakraborty, D., & Roy, A. R. (2007). Continuous review inventory model in mixed fuzzy and stochastic environment. *Applied Mathematics and Computation*, 188(1), 970–980.
- El-Wakeel, M. F., & Al Salman, R. S. (2019). Multi-product, multi-vendors inventory models with different cases of the rational function under linear and non-linear constraints via geometric programming approach. *Journal of King Saud University - Science*, 31(4), 902–912.
- Fadli, F., Sudradjat, S., & E., L. (2020). An Inventory Model for Deteriorating Items with Eksponential Declining Demand and Return. *Jurnal Ilmiah Sains*, 20(1), 89–94.
- Fathalizadeh, S., Mirzazadeh, A., & Ghodrathnama, I. (2019). Fuzzy inventory models with partial backordering for deteriorating items under stochastic inflationary conditions: Comparative comparison of the modeling methods. *Cogent Engineering*.
- Federgruen, A., Guetta, D., Iyengar, G., & Liu, X. (2021). Stochastic Replenishment Systems with Multi-Item Inventory Constraints. *Available at SSRN 4015304*.
- Feng, Y., Hao, J., Sun, X., & Li, J. (2022). Forecasting short-term tourism demand with a decomposition-ensemble strategy. *Procedia Computer Science*.
- Feng, Y., Liu, Y., & Chen, Y. (2022). A robust multi-supplier multi-period inventory model with uncertain market demand and carbon emission constraint. *Computers and Industrial Engineering*, 165(January), 107937.
- Ferrari, C., Bottasso, A., Conti, M., & Tei, A. (2019). *Chapter 5 - Investment Appraisal* (C. Ferrari, A. Bottasso, M. Conti, & A. B. T.-E. R. of T. I. Tei (eds.); pp. 85–114). Elsevier.
- Fitria, D., & Pamuji, M. (2015). Inventer Motor Pompa pada PDAM Tirta Musi Palembang. *Jurnal Desiminasi Teknologi, Volume 3, No. 1*.
- Gao, T., Niu, D., Ji, Z., & Sun, L. (2022). Mid-term electricity demand forecasting using improved variational mode decomposition and extreme learning machine optimized by sparrow search algorithm. *Energy*.
- George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel, G. m. L. (2016). *Time*

Series Analysis, Forecasting and Control (Fifth). John Wiley & Sons, Inc.

- Goswami, K., & Kandali, A. B. (2020). Electricity demand prediction using data driven forecasting scheme: ARIMA and SARIMA for real-time load data of Assam. *2020 International Conference on Computational Performance Evaluation*.
- Gutierrez, M., & Rivera, F. A. (2021). Undershoot and order quantity probability distributions in periodic review, reorder point, order-up-to-level inventory systems with continuous demand. *Applied Mathematical Modelling*, *91*, 791–814.
- Hajiagha, S. H. R., Daneshvar, M., & Antucheviciene, J. (2021). A hybrid fuzzy-stochastic multi-criteria ABC inventory classification using possibilistic chance-constrained programming. In *Soft Computing*. Springer.
- Hansen, O., Transchel, S., & Friedrich, H. (2022). Replenishment strategies for lost sales inventory systems of perishables under demand and lead time uncertainty. *European Journal of Operational Research*.
- Hegedűs, D., & Longauer, D. (2023). Implementation of a circular supply chain model using reusable components in multiple product generations. *Heliyon*, *9*(5).
- Herawati, A. S. (2016). *Evaluasi Sistem Inventaris Manajemen Aset (Sima) Dengan Menggunakan Metode Technology Acceptance Model (Tam) Di Kantor Pos Sukoharjo 57500*.
- Hogg, Robert V., McKean, J. W., & Craig, A. T. (2013). An Introduction to Mathematical Statistics. In *Pearson Educations, Inc*.
- Huang, Y., Xu, C., Ji, M., Xiang, W., & He, D. (2020). Medical service demand forecasting using a hybrid model based on ARIMA and self-adaptive filtering method. In *BMC Medical Informatic and Decision Making*.
- Jamil, R. (2020). Hydroelectricity consumption forecast for Pakistan using ARIMA modeling and supply-demand analysis for the year 2030. *Renewable Energy*.
- Jeong, S., Park, S., & Kim, S. (2020). Analysis of the Recall Demand Pattern of Imported Cars and Application of ARIMA Demand Forecasting Model. *Journal of the Society of Korea Industrial*.
- Krajewski, L. J., Malhotra, M. K., & Ritzman, L. P. (2016). *Operations Management, Processes and Supply Chains* (Eleventh). Pearson.
- Kumar, M. G., & Uthayakumar, R. (2019). Multi-item inventory model with variable backorder and price discount under trade credit policy in stochastic demand. *International Journal of Production Research*.

- Kumar, P., & Keerthika, P. S. (2019). Inventory Control Model with Time-Linked Holding Cost, Salvage Value and Probabilistic Deterioration following Various Distributions. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(2), 4399–4404.
- Kumar, S., Sami, S., Agarwal, S., & Yadav, D. (2023). Sustainable fuzzy inventory model for deteriorating item with partial backordering along with social and environmental responsibility under the effect of learning. *Alexandria Engineering Journal*, 69, 221–241.
- Kuvat, Ö., & Adali, E. (2020). Power transformer demand forecast with Box Jenkins ARIMA model. *International Journal of Energy Applications and Technologies*.
- Lei, T. (2021). Energy management system and strategy for a fuel cell/battery hybrid power. In *Unmanned Aerial Systems: Theoretical Foundation and Applications: A Volume in Advances in Nonlinear Dynamics and Chaos (ANDC)* (pp. 289–313). Elsevier.
- Lesmono, D., & Limansyah, T. (2017). A multi item probabilistic inventory model. *Journal of Physics: Conference Series*, 893(1).
- Lesmono, D., & Limansyah, T. (2019). A probabilistic inventory model with deterioration factor and continuous discount function. *AIP Conference Proceedings*, 2192(December).
- Limanjaya, B., & Silitonga, R. Y. H. (2018). Development of Multi Item Probabilistic Inventory Model by Considering Perishable and Purchase Bonus Factors. *Jurnal Telematika*, 2(2), 54–59.
- Limansyah, T., & Lesmono, D. (2019). Probabilistic Inventory Model with Expiration Date and All-Units Discount. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 546(5), 1–9.
- Limansyah, T., Lesmono, D., & Sandy, I. (2020). Economic order quantity model with deterioration factor and all-units discount. *Journal of Physics: Conference Series*, 1490(1).
- Mahyus, E. (2014). *Ekonomi Internasional*. Jakarta : Erlangga.
- Markidakis, S., Wheelwright, S. C., & Mcgee, V. E. (1999). *Methods And Applications*. Erlangga.
- Miquel, G., & Rivera, F. A. (2021). Undershoot and order quantity probability distributions in periodic review, reorder point, order-up-to-level inventory systems with continuous demand. *Applied Mathematical Modelling*, 91, 791–814.
- Mungoli, A. (2020). *Identify your Data's Distribution | by Abhishek Mungoli |*

Towards Data Science.

- Nagasree, M., Madhaviyata, M., & Sailakumari, A. (2019). A two level probabilistic inventory model with a constraint on holding cost. *Malaya Journal of Matematik*, *S(1)*, 224–227.
- Navarro, K. S. (2020). An EPQ inventory model considering an imperfect production system with probabilistic demand and collaborative approach. *Journal of Advances in Management Research*, *17(2)*, 282–304.
- Ning, L. J., Liang, S. X., Qiang, H. A., Fang, H. Z., Xuan, K. Y., & Dong, L. (2021). Forecasting emergency medicine reserve demand with a novel decomposition-ensemble methodology. In *Complex & Intelligent Systems*. Springer.
- Nugraha, S. W., Wijaya, A. R., Teknik, J., Teknik, F., & Mada, U. G. (2015). Penentuan Safety Stock , Reorder Point dan Order Quantity Suku Cadang Mesin Produksi Berdasarkan Ketidakpastian Demand dan Lead Time pada Perusahaan Manufaktur (Studi Kasus di PT Wijaya Karya Beton PPB Boyolali). *Seminar Nasional Teknik Industri UGM 2015*, 91–99.
- Nugroho, W. A., Mi, M., & Halim, A. H. (2021). *Inventory Modeling for Automotive Spare Parts with Probabilistic Demand by Considering an Integrated Cost and Filling Rate. 2014*, 2853–2861.
- Nurochman, A., & Moeis, A. O. (2021). *Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA) Forecasting for Monthly Household LPG Demand in Indonesia*. easychair.org.
- Ophokenshi, N. P., Emmanuel, C. W. I., & Sadik, M. O. (2019). Analysis of an Inventory System for Items with Stochastic Demand and Time Dependent Three-Parameter Weibull Deterioration Function. In *Applied Mathematics*. scirp.org.
- Otsu, T., & Taniguchi, G. (2020). Kolmogorov–Smirnov type test for generated variables. *Economics Letters*, *195*, 109401.
- Palma, M. A., & Andjarwati, A. L. (2016). Pengaruh Kualitas Produk, Kemudahan, dan Harga Terhadap Kepuasan (Studi Pada Pelanggan Produk Fashion Melalui Toko Online di Surabaya). *Jurnal Riset Ekonomi Dan Manajemen*, *16(1)*, 84–104.
- Pasmawati, Y., & Anwar, A. (2010). Proses Filtrasi dalam Sistem Instalasi Penjernihan Air Pada PDAM Tirta Musi Palembang. *Jurnal Ilmiah TEKNO*, *7(2)*, 93–104.
- Pulido-rojano, A., & Pizarro-rada, A. (2020). *optimization approach for inventory in probabilistic inventory models : study para costos de inventario*.

- Purwandini, H. Y., Soegiarto, E., & Maulana, M. (2019). Analysis of Management Control over Chemical Inventory with the EOQ (Economic Order Quantity) and ROP (Reorder Point) Methods at PDAM Tirta Kencana Samarinda City. *EKONOMIA*, 8(2), 1–15.
- Puspita, F. M., Primadani, N. A., & Susanti, E. (2020). *Application of Material Requirement Planning with ARIMA Forecasting and Fixed Order Quantity Method in Optimizing the Inventory Policy of Raw Materials of Sederhana Restaurant in Palembang*. 142(2019), 71–76.
- Qiu, R., Sun, Y., & Sun, M. (2022). A robust optimization approach for multi-product inventory management in a dual-channel warehouse under demand uncertainties. *Omega*.
- Raoniar, R. (2021). *Finding the Best Distribution that Fits Your Data using Python's Fitter Library | by Rahul Raoniar | The Researchers' Guide | Medium*.
- Ratnawia, Aurachman, R., & Kenaka, S. P. (2019). Determination Of Inventory Periodic Review Policy (R, s, S) Using Power Approximation Method For Minimize Total Inventory Cost In PT OPQ. *International Journal of Innovation in Enterprise System*, 3(01), 47–52.
- Riffenburgh, R. H., & Gillen, D. L. (2020). Tests on variability and distributions. *Statistics in Medicine*, 2, 311–336.
- Rizqi, Z. U., & Khairunisa, A. (2020). Integration of deterministic and probabilistic inventory methods to optimize the balance between overstock and stockout. *IOP Conference Series: Materials Materials Science and Engineering PAPER*.
- Rodrigues, L. R., & Yoneyama, T. (2020). A spare parts inventory control model based on Prognostics and Health monitoring data under a fill rate constraint. *Computers and Industrial Engineering*, 148(June), 106724.
- Rojano, A. P., Andrea, A., Polanco, M. P., Jiménez, M. S., & Rosa, L. D. (2020). An optimization approach for inventory costs in probabilistic inventory models: A case study. *Revista Chilena de Ingenieria*, 28, 383–395.
- Salas-Navarro, K., Acevedo-Chedid, J., Árquez, G. M., Florez, W. F., Ospina-Mateus, H., Sana, S. S., & Cárdenas-Barrón, L. E. (2020). An EPQ inventory model considering an imperfect production system with probabilistic demand and collaborative approach. *Journal of Advances in Management Research*, 17(2), 282–304.
- Salis, M. T. P., & Bramantoro, A. (2022). Forecasting The Demand of Birth Control Pills Using. *International Proceeding Conference on Information Technology*.

- Setiawan, R. I. P., Lesmono, J. D., & Limansyah, T. (2021). Inventory Control Problems with Exponential and Quadratic Demand considering Weibull Deterioration. *Journal of Physics: Conference Series*, 1821(1).
- Sicilia, J., San-José, L. A., Alcaide-López-de-Pablo, D., & Abdul-Jalbar, B. (2022). Optimal policy for multi-item systems with stochastic demands, backlogged shortages and limited storage capacity. *Applied Mathematical Modelling*, 108, 236–257.
- Silitonga, R. Y. H., & Kawet, M. P. (2018). Pengembangan Model untuk Aplikasi Pengendalian Persediaan Probabilistik Multi Item Single Supplier. *Jurnal Telematika*, 12(1), 13–22.
- Silitonga, R. Y. H., Kristiana, L. R., & Parley, T. A. (2021). A Multi-Item Probabilistic Inventory Model that Considers Expiration Factor, All Unit Discount Policy and Warehouse Capacity Constraints. *Journal of Industrial Engineering*, 23(2), 139–148.
- Silitonga, R. Y. H., & Moses, J. (2021). Pengembangan Model Economic Order Quantity Multi Item dengan Mempertimbangkan All Unit Discount dan Kendala Kapasitas. *Journal of Integrated System*, 4(1), 92–100.
- Silver, E., Pyke, D., & Thomas, D. (2017). *Inventory management and production planning scheduling* (Fourth). CRC Press.
- Sisnayati, Winoto, E., Yhopie, & Aprilyanti, S. (2021). Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC Terhadap Kekeuhan PH Air Baku PDAM Tirta Musi Palembang. *Jurnal Redoks*, 6(2), 107–116.
- Soroush, H. M., Al-Yakoob, S. M., & Alqallaf, F. (2020). A stochastic maritime transportation-inventory problem with gamma, exponential, and uniform demand distributions. In *European Journal of Industrial Engineering*. researchgate.net.
- Su, E., & Su, O. A. (2022). Public Transport Demand Forecast Using Arima: The Case of Istanbul. Available at SSRN 4020644.
- Subekti, A. T. (2021). Implementasi EOQ (Economic Orger Quantity) Untuk Perencanaan Dan Persediaan Pipa HDPE di PDAM Tirta Mayang Kota Jambi. *Jurnal Inovator*.
- Subekti, A. T. (2022). Implementasi Pengendalian Persediaan Meteran Sambungan Baru PDAM Tirta Mayang Dengan Metode EOQ. *Jurnal Teknik Mesin Dan Industri (JuTMI)*.
- Sugito, M., & Abdul, M. (2011). *Pendahuluan Distribusi Poisson*. 19–24.
- Susanti, E., Puspita, F. M., Supadi, S. S., Yuliza, E., & Ramadhan, A. F. (2023). Improve fuzzy inventory model of fractal interpolation with vertical scaling

- factor. *Science and Technology Indonesia*, 8(4), 654–659.
- Sutoni, A., & Taufik, D. H. (2019). Inventory Planning with Method Q and Method P for Probabilistic Demand on Chrysanthemum Seeds at PT Transplants Indonesia. *International Journal of Innovation in Enterprise System*, 3(01), 38–46.
- Taheri, S., Talebjedi, B., & Laukkanen, T. (2021). Electricity demand time series forecasting based on empirical mode decomposition and long short-term memory. *Energy Engineering: Journal of the Association of Energy Engineering*, 6, 1577–1594.
- Tai, P., Huyen, P., & Buddhakulsomsiri, J. (2021). A novel modeling approach for a capacitated (S, T) inventory system with backlog under stochastic discrete demand and lead time. *International Journal of Industrial Engineering Computations*.
- Ternero, R., Rojas, J. P. S., Alfaro, M., Fuertes, G., & Vargas, M. (2023). Inventory Management With Stochastic Demand: Case Study Of A Medical Equipment Company. *Journal, South African May, Industrial Engineering*, 34(May), 131–142.
- Upomo, T. C., & Kusumawardani, R. (2016). Pemilihan Distribusi Probabilitas Pada Analisa Hujan Dengan Metode Goodness of Fit Test. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 18(2), 139–148.
- Vo, T. T. B. C., Le, P. H., Nguyen, N. T., Nguyen, T. L. T., & Do, N. H. (2021). Demand Forecasting and Inventory Prediction for Apparel Product using the ARIMA and Fuzzy EPQ Model. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 14(2), 80–89.
- Wang, C.-C., Chien, C.-H., & Trappey, A. J. C. (2021). On the application of ARIMA and LSTM to predict order demand based on short lead time and on-time delivery requirements. *Processes*.
- Wang, L., & Chen, H. (2022). Optimization of a Stochastic Joint Replenishment Inventory System with Service Level Constraints. *Computers & Operations Research*, 48.
- Winkelmann, D., Ulrich, M., Römer, M., Langrock, R., & ... (2022). *Dynamic Stochastic Inventory Management in E-Grocery Retailing: The Value of Probabilistic Information*. arxiv.org.
- Yilmaz, N. (2022). Turkey's Health Tourism Demand Forecast: The ARIMA Model Approach. *International Journal of Health Management and Tourism*.
- Zhang, C., Li, M., Sun, S., Tang, L., & Wang, S. (2022). Decomposition methods for tourism demand forecasting: A comparative study. *Journal of Travel Research*.

- Zhang, F., Cai, Y., Tan, Q., & Wang, X. (2021). Spatial water footprint optimization of crop planting: A fuzzy multiobjective optimal approach based on MOD16 evapotranspiration products. *Agricultural Water Management*, 256, 107096.
- Zhang, J., Deng, L., Liu, H., & Cheng, T. C. E. (2022). Which strategy is better for managing multi-product demand uncertainty: Inventory substitution or probabilistic selling? *European Journal of Operational Research*.
- Zhu, B., Zhang, Y., Ding, K., Chan, F. T. S., Hui, J., & Zhang, F. (2022). Lot-sizing decisions for material requirements planning with hybrid uncertainties in a smart factory. *Advanced Engineering Informatics*.
- Zhu, X., Wang, J., Yuan, Q., & Zhang, Z. (2022). Multi-stream (Q,r) model and optimization for data prefetching. *European Journal of Operational Research*, 302(1), 130–143.