

**TESIS**

**OPTIMASI MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* PADA  
*SINGLE VENDOR SINGLE BUYER* DENGAN  
MENGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI ANALITIS**



**ANNISA NABILA**

**17916203**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI**

**PROGRAM MAGISTER**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2022**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Demi Allah, Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Pontianak, 28 Januari 2022



ANNISA NABILA

17 916 203

**OPTIMASI MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* PADA *SINGLE VENDOR SINGLE BUYER* DENGAN MENGGUNAKAN  
PENDEKATAN SIMULASI ANALITIS**

**Tesis untuk memperoleh Gelar Magister pada Program  
Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam  
Indonesia**

**ANNISA NABILA  
17916203**

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

**2022**

LEMBAR PENGESAHAN

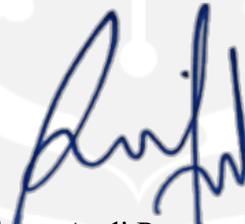
**OPTIMASI MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* PADA *SINGLE VENDOR*  
*SINGLE BUYER* DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI  
ANALITIS**

Tesis telah disetujui pada tanggal

**31 Januari 2022**

---

Pembimbing I,



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

NIP. 015220101

Mengetahui

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



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 025200519

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**OPTIMASI MODEL *JOINT ECONOMIC LOT SIZE* PADA *SINGLE VENDOR*  
*SINGLE BUYER* DENGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN SIMULASI  
ANALITIS**

**ANNISA NABILA**

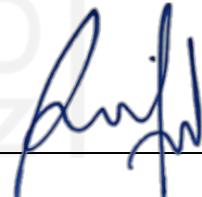
**17916203**

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji  
Program Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

Pada Tanggal **28 Januari 2022**

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

Ketua



---



Dr. Dwi Handayani, S.T., M.Sc.

Anggota Penguji I



---

Agus Mansur, S.T., M.Eng.Sc.

Anggota Penguji II

Mengetahui  
Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 025200519

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya persembahkan hasil perjuangan tugas akhir ini kepada Ayah dan Mama yang tidak henti-hentinya memberi dukungan, kasih sayang, dan doa. Kepada adik, seluruh keluarga besar, sahabat-sahabat dan orang-orang tercinta atas segala motivasi dan semangatnya.

Terima kasih telah menjadi *support system* bagi saya.



## HALAMAN MOTTO

عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عَمْرٍو وَبْنِ الْعَاصِ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا: عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ:  
رِضَا اللَّهِ فِي رِضَا الْوَالِدَيْنِ

Ridho Allah berada pada ridho kedua orang tuanya, dan murka Allah (akibat) murka kedua orang tuanya.

(HR. At-Tarmizi)

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ

Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kamu dan orang-orang yang berilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan

(Al-Mujadillah:11)

## **KATA PENGANTAR**

*Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, tidak lupa juga shalawat serta salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tesis ini yang berjudul "Optimasi Model Joint Economic Lot Size Pada Single Vendor Single Buyer Dengan Menggunakan Pendekatan Simulasi Analitis".

Laporan Tesis ini dibuat dalam rangka memenuhi salah satu prasyarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Teknik Industri, Program Magister Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dengan pelaksanaan Tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu dengan rasa hormat penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D., sebagai Ketua Program Studi Teknik Industri, Program Magister Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing penulis yang selalu memberikan masukan, arahan dan dukungan dalam penyelesaian Tesis ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Industri, Program Magister Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, yang telah banyak memberikan ilmu selama menempuh pendidikan.
5. Kedua orangtua dan adik penulis yang senantiasa selalu memberikan motivasi dan semangat selama proses penyelesaian Laporan Tesis ini.
6. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis tuliskan namanya satu-persatu, penulis ucapkan terima kasih dan semoga Allah SWT membalas kebaikan kalian.

Penulis menyadari bahwa dalam serangkaian penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu, segala macam kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan demi perbaikan dan lengkapnya laporan ini. Akhir kata semoga laporan Tesis ini dapat digunakan sebagai mana mestinya serta berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca yang berminat pada umumnya. Amiin Yaa Robbal 'Aalamin.

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Pontianak, 26 Januari 2022



Annisa Nabila  
NIM. 17916203

الجمعة الإسلامية الأندلسية

## ABSTRAK

Banyak sistem rantai pasokan saat ini bergerak menuju model pembeli tunggal-pemasok tunggal (*single-buyer single-vendor*) untuk memaksimalkan efektivitas biaya dan koordinasi antar rantai pasokan. Di sisi pemasok, salah satu masalah yang paling sering ditemui adalah adanya produk cacat akibat proses manufaktur yang tidak sempurna. Hal ini mengakibatkan berkurangnya pasokan produk yang tersedia bagi pembeli, dan pembeli tidak dapat memenuhi permintaan pelanggan. Untuk mengurangi ketidakpuasan pelanggan, pembeli biasanya akan menawarkan diskon harga, yang merupakan biaya tambahan bagi pembeli dan, pada kenyataannya, seluruh rantai pasokan. Upaya lain yang dapat dilakukan adalah pemasok mengerjakan ulang produk cacat atau pemasok mempertimbangkan untuk berinvestasi dalam pengurangan produk cacat di masa mendatang. Pembeli kemudian dapat meminta agar pemasok mengurangi waktu tunggu produksi untuk mengkompensasi pengerjaan ulang produk yang cacat, sehingga meminimalkan keterlambatan pengiriman produk ke pelanggan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan model *joint expected lot size* (JELS) pada sistem rantai pasok pemasok tunggal dan pembeli tunggal yang dikembangkan sebelumnya oleh peneliti yang memperhitungkan semua variabel yang dijelaskan di atas. Proses optimasi memperhitungkan distribusi statistik dari permintaan pembeli, yang tidak diperhitungkan dalam model sebelumnya. Algoritma optimasi yang digunakan adalah algoritma optimasi Bayesian yang mampu mengoptimasi model JELS di lingkungan simulasi. Selain itu, metode ini disebut sebagai simulasi analitik. Hasil menunjukkan bahwa teknik optimasi yang digunakan bersama dengan simulasi analitik mampu menghasilkan solusi optimal untuk model JELS.

**Kata kunci:** *single-buyer single-vendor*, *joint economic lot size* (JELS), perbaikan kualitas, simulasi analitis, optimasi Bayesian.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	i
COVER TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
HALAM PERSEMBAHAN.....	v
HALAMAN MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Manajemen Rantai Pasok.....	5
2.1.2 Persediaan.....	6
2.1.3 Joint Economic Lot Size.....	7
2.1.4 Simulasi.....	8
2.1.5 Optimasi Bayesian.....	10
2.2 Penelitian Terdahulu.....	12
BAB 3 Metode Penelitian.....	14
3.1 Objek dan Subjek Penelitian.....	14
3.2 Ruang Lingkup Penelitian.....	14
3.3 Variabel dan Definisi Operasional.....	14
3.4 Instrumen Penelitian.....	15
3.5 Pengumpulan Data.....	15
3.6 Analisis Data.....	15
3.7 Alur Penelitian.....	16

BAB 4 Analisis Data .....	17
4.1 Deskripsi Sistem .....	17
4.2 Notasi dan Asumsi .....	18
4.2.1 Variabel Keputusan .....	19
4.2.2 Parameter .....	19
4.2.3 Kriteria Kinerja.....	20
4.2.4 Asumsi Model .....	21
4.3 Deskripsi Model.....	22
4.3.1 Deskripsi Model Skenario 1 .....	22
4.3.2 Deskripsi Model Skenario 2 .....	22
4.3.3 Perbedaan Model .....	23
4.4 Model Matematis .....	24
4.4.1 Model Skenario 1 .....	24
4.4.2 Model Skenario 2 .....	26
4.5 Optimasi Bayesian .....	28
4.5.1 Input Data Parameter .....	28
4.5.2 <i>Generate</i> Data Permintaan.....	29
4.5.3 Rancangan Model Skenario.....	30
4.5.4 Rancangan Optimasi Bayesian .....	32
BAB 5 Hasil dan Pembahasan.....	34
5.1 Verifikasi dan Validasi Model.....	34
5.2 Hasil Optimasi Model Skenario 1 .....	35
5.3 Hasil Optimasi Model Skenario 2.....	38
5.4 Ringkasan Hasil Optimasi .....	41
5.5 Rekomendasi.....	42
BAB 6 Kesimpulan dan Saran.....	44
6.1 Kesimpulan .....	44
6.2 Saran .....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN 1 .....	50
LAMPIRAN 2 .....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 4-1 Perbedaan Model Skenario 1 dan Model Skenario 2.....	24
Tabel 4-2 Data Parameter.....	29
Tabel 4-3 Data <i>Lead Time</i> .....	29
Tabel 4-4 Data Permintaan Produk.....	30
Tabel 5-1. Nilai JTEC Model Skenario 1.....	37
Tabel 5-2. Nilai JTEC Model Skenario 2.....	40
Tabel 5-3 Ringkasan Hasil Optimasi.....	41



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Model Integrasi Pengendalian Persediaan (Lee, 2005).....	7
Gambar 2-2 Alur Proses Optimasi Bayesian.....	11
Gambar 3-1 Flowchart penelitian.....	16
Gambar 4-1. Sistem Rantai Pasokan dan Logistik.....	18
Gambar 4-2 Kode <i>Generate</i> Data Permintaan.....	30
Gambar 4-3 Kode Rancangan Model Skenario 1.....	31
Gambar 4-4 Kode Rancangan Model Skenario 2.....	31
Gambar 4-5 Kode Optimasi Bayesian Model Skenario 1.....	32
Gambar 4-6 Kode Optimasi Bayesian Model Skenario 2.....	33
Gambar 5-1 Grafik Hasil Simulasi Inventori Buyer.....	34
Gambar 5-2. Grafik Hasil Simulasi Inventori Vendor.....	35
Gambar 5-3. Hasil Optimasi Model Skenario 1.....	36
Gambar 5-4. Grafik Hasil Optimasi Bayesian Model Skenario 1.....	36
Gambar 5-5 Grafik TEC dan Permintaan Model Skenario 1.....	37
Gambar 5-6. Hasil Optimasi Model Skenario 2.....	38
Gambar 5-7. Grafik Hasil Optimasi Bayesian Model Skenario 2.....	39
Gambar 5-8. Grafik TEC dan Permintaan Model Skenario 2.....	40
Gambar 5-9. Perbandingan JTEC Model 1 dan 2 Terhadap Data Permintaan.....	42

# BAB 1

## Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Salah satu cara perusahaan untuk meraih keuntungan bisnis secara maksimal adalah dengan melakukan manajemen rantai pasok dengan baik. Manajemen rantai pasok sering dikaitkan dengan koordinasi materi, informasi, keuangan serta hubungan koneksi antar perusahaan yang bertujuan untuk mencapai kinerja yang lebih baik (Marchi, Ries, Zanoni, & Glock, 2016). Keterlibatan berbagai entitas membuat struktur rantai pasokan berkembang lebih dinamis, tetapi sangat rentan terhadap faktor risiko dan kerentanan eksternal (Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020). Oleh karena itu dibutuhkan koordinasi yang efektif antar entitas rantai pasok dalam pengambilan keputusan untuk memastikan bahwa semua bekerja menuju ke tujuan yang sama.

Manajemen rantai pasok merupakan suatu pendekatan yang mengintegrasikan pengelolaan distribusi produk maupun pengelolaan persediaan produk antara produsen, pemasok, distributor dan pengecer (Tyas & Anshori, 2018). Tujuannya adalah untuk memaksimalkan perbedaan antara nilai produk akhir terhadap total biaya yang dikeluarkan oleh pelaku rantai pasok untuk menyediakan produk kepada pelanggan (Franca, Jones, Richards, & Carlson, 2010). Sehingga keuntungan besar dapat diraih dengan meningkatkan nilai produk yang dijual dan menekan total biaya yang dikeluarkan seminimal mungkin.

Dalam berbagai literatur manajemen persediaan, model integrasi keputusan pemenuhan persediaan antar anggota rantai pasok dikenal sebagai *joint economic lot size* (JELS). Model tersebut dianggap dapat mensimulasikan praktik bisnis yang terjadi saat ini (contoh: otomotif, pakaian, bahan makanan) di mana terdapat hubungan yang panjang antara pembeli dan pemasok (Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020). Model JELS mengintegrasikan proses pengadaan-produksi antara pihak pemasok dan pembeli dengan menentukan ukuran *batch* produksi dan ukuran lot pemesanan yang bertujuan untuk

meminimumkan total biaya gabungan yang dikeluarkan oleh kedua pihak (Tyas & Anshori, 2018).

Penelitian terdahulu oleh (Anshori, Isnaini, & Adriansyah, 2021) membandingkan perhitungan biaya yang dikeluarkan oleh pemasok dan pembeli tanpa dan dengan model JELS menggunakan data permintaan produk yang bersifat tetap dan deterministik. Terdapat penelitian lain mengenai optimasi JELS pada pemasok tunggal dan pembeli tunggal menggunakan data permintaan yang bersifat probabilistik dengan mempertimbangkan diskon biaya *backorder* dan *crashing lead time* (Li, Kang, & Xu, 2015).

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh (Rasay & Golmohammadi, 2020) mengenai optimasi JELS pada pemasok tunggal dan pembeli tunggal menggunakan data permintaan bersifat deterministik dengan mempertimbangkan biaya pengiriman barang. Sedangkan (Latha, Kumar, & Uthayakumar, 2021) melakukan penelitian serupa namun menggunakan data permintaan bersifat probabilistik dengan mempertimbangkan diskon biaya *backorder*, biaya pengiriman barang dan *crashing lead time*.

Oleh karena itu pada penelitian kali akan menggunakan data permintaan yang bersifat probabilistic serta akan mempertimbangkan ketiga aspek yang digunakan oleh peneliti sebelumnya dalam optimasi model JELS yaitu biaya *backorder*, biaya pengiriman barang dan *crashing lead time*. Namun sebagian besar penelitian yang memperhatikan data permintaan bersifat probabilistik cenderung menggunakan data tunggal yaitu nilai rata-rata tahunan dari data permintaan tersebut. Sehingga pada penelitian ini juga diusulkan menggunakan simulasi untuk mendapatkan data permintaan yang bersifat probabilistik dan tidak merupakan data tunggal.

Terlihat beberapa penelitian menggunakan asumsi bahwa proses produksi yang dimodelkan sudah sempurna sehingga tidak mempertimbangkan munculnya produk cacat. Pada kondisi yang sebenarnya, proses produksi berjalan melalui proses jangka panjang, dan periode waktu tertentu, akan mulai menghasilkan produk yang cacat (Dey, Sarkar, & Pareek, 2019). Ketika terjadi masalah pada proses produksi maka akan menghasilkan produk yang cacat. Kejadian tersebut dianggap sebagai produksi yang tidak sempurna. Pada umumnya produk cacat tersebut akan dilakukan *rework* pada biaya tetap tertentu untuk mengembalikan produk tersebut pada kualitas yang seharusnya (Guchait, et al., 2020)

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020) dimana terjadi permasalahan kualitas dan kesalahan manusia yang berdampak

pada sistem produksi sehingga menghasilkan produk cacat. Oleh karena itu peneliti mempertimbangkan tingkat kecacatan produk dan perbaikan kualitas produksi pada model yang akan dibangun. Penelitian lainnya dilakukan oleh (Dey, Sarkar, & Pareek, 2019) yang membangun model JELS pada pemasok tunggal dan multi-retailer dengan mempertimbangkan investasi berkelanjutan guna mengurangi tingkat kecacatan produk serta meningkatkan kualitas produk itu sendiri.

Berdasarkan kedua penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa mempertimbangkan proses produksi yang tidak sempurna dianggap penting karena dapat mempengaruhi jumlah biaya yang dikeluarkan oleh pihak pemasok dan pembeli. Hal ini dikarenakan, menurut beberapa penelitian terdahulu bahwa produksi yang tidak sempurna memiliki keterkaitan yang kuat terhadap ukuran lot dan kualitas produk, sehingga dapat mempengaruhi keputusan *economic lot sizing* (Guchait, et al., 2020). Oleh karena itu perlu adanya investasi perbaikan berkelanjutan terhadap proses produksi yang tidak sempurna guna mengurangi tingkat kecacatan produk.

Oleh karena itu diusulkan penelitian mengenai optimasi model *joint economic lot size* pada dua *echelon* yaitu pemasok tunggal dan pembeli tunggal menggunakan data permintaan probabilistik untuk mengetahui ukuran lot pemesanan dengan tujuan meminimasi nilai *joint total expected cost* serta mempertimbangkan tingkat terjadinya kecacatan produk pada sistem produksi sebelum dan sesudah dilakukannya perbaikan kualitas produksi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang permasalahan diatas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana model *joint economic lot size* yang optimal dan berapa nilai *joint total expected cost* minimal setelah dilakukan perbaikan kualitas sistem produksi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan permasalahan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah melakukan optimasi pada model *joint economic lot size* sehingga mendapatkan *joint total expected cost* minimal dengan melakukan perbaikan kualitas sistem produksi.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Pada penulisan penelitian ini, penulis membatasi masalah pada:

1. Produk yang dimodelkan merupakan produk tunggal.
2. Data permintaan bersifat probabilitas dan mengikuti distribusi normal.
3. Tingkat kecacatan produk sebesar 1.5% dan mengikuti distribusi uniform.
4. Produk yang cacat akan dilakukan *rework* sebanyak 1 (satu) kali.
5. Pengiriman barang melalui jasa logistik pihak ketiga atau disebut dengan *Third Party Logistic* (TPL).
6. Seluruh biaya logistik akan ditanggung oleh pihak pembeli. Termasuk biaya jemput barang di pemasok.
7. *Third Party Logistic* (TPL) menawarkan pelayanan jemput barang, dimana TPL mengambil produk dari pemasok dan kemudian mengantarkannya kepada pembeli.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat antara lain :

1. Sebagai sumber ilmu dan pengetahuan di bidang manajemen rantai pasok maupun teknik industri
2. Sebagai bahan literatur atau sumber rujukan untuk penelitian selanjutnya yang sejenis dengan topik penelitian ini.
3. Sebagai sumber ilmu dan pengetahuan serta panduan teknis untuk minimasi biaya gabungan pemasok dan pembeli dengan pertimbangan.

## **BAB 2**

### **Tinjauan Pustaka**

#### **2.1 Landasan Teori**

Sub bab ini berisi penjelasan teori penunjang yang digunakan sebagai landasan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada dan menjawab rumusan masalah yang diajukan.

##### **2.1.1 Manajemen Rantai Pasok**

Manajemen rantai pasok adalah suatu pendekatan yang mengintegrasikan pengelolaan distribusi produk maupun pengelolaan persediaan produk antara produsen, pemasok, distributor dan pengecer (Tyas & Anshori, 2018). Tujuannya adalah untuk memaksimalkan perbedaan antara nilai produk akhir terhadap total biaya yang dikeluarkan oleh pelaku rantai pasok untuk menyediakan produk kepada pelanggan (Franca, Jones, Richards, & Carlson, 2010).

Menurut (Christopher, 2016) definisi manajemen rantai pasok merupakan pengelolaan hubungan hulu dan hilir dengan pemasok dan pelanggan untuk memberikan nilai pelanggan yang unggul dengan biaya yang lebih rendah ke rantai pasokan secara keseluruhan. Memperluas ide ini, maka definisi lebih akurat yang disarankan yaitu jaringan organisasi yang saling terhubung dan saling bergantung satu sama lain dan bekerja sama untuk mengontrol, mengelola, dan meningkatkan aliran material dan informasi dari pemasok ke pengguna akhir

Manajemen rantai pasok sering dikaitkan dengan koordinasi materi, informasi, keuangan serta hubungan koneksi antar perusahaan yang bertujuan untuk mencapai kinerja yang lebih baik (Marchi, Ries, Zanoni, & Glock, 2016). Keterlibatan berbagai entitas membuat struktur rantai pasokan berkembang lebih dinamis, tetapi sangat rentan terhadap faktor risiko dan kerentanan eksternal (Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020)

Salah satu tantangan besar rantai pasokan adalah hal-hal sering kali saling berhubungan, sehingga membuat perubahan di satu area untuk menurunkan biaya dapat

menyebabkan perubahan di tempat lain yang sebenarnya meningkatkan biaya. Oleh karena itu, memahami cara kerja sistem dianggap penting untuk memastikan bahwa pemotongan biaya tersebut tidak menciptakan masalah baru dalam prosesnya. Menurut (Stanton, 2021) terdapat 4 (empat) area keputusan yang mendorong sebagian besar biaya dalam rantai pasokan mana pun, terdiri dari biaya pengadaan, biaya transportasi, biaya kualitas dan biaya persediaan.

### 2.1.2 Persediaan

Pada umumnya, persediaan didefinisikan sebagai stok sumber daya menganggur di perusahaan untuk penggunaan masa depan (Kumar, Chauhan, Singh, & Sahni, 2020). Dalam organisasi, persediaan dapat diartikan menjadi berbagai jenis. Organisasi manufaktur biasanya memiliki persediaan bahan mentah, komponen, sub-rakitan, peralatan, dan perlengkapan, barang setengah jadi, barang jadi, dll.

Berdasarkan kamus APICS (*American Production and Inventory Control Society*), define persediaan adalah sebagai berikut:

*“Inventory is defined as those stocks used to support production, such as raw material and work in Process, supporting activities, such as maintenance, repair, and operating supplies, and finally Customer Service in the form of finished goods and spare parts.”*

Menurut (Pruthi, 2017) sebagai bagian dari rantai pasok, pengendalian persediaan mencakup aspek-aspek seperti mengendalikan dan mengawasi pembelian dari pemasok serta pelanggan yang menjaga jumlah stok penyimpanan, mengendalikan jumlah produk untuk dijual, dan pemenuhan pesanan. Dalam istilah bisnis, manajemen persediaan berarti persediaan yang tepat, pada tingkat yang tepat, di tempat yang tepat, pada waktu yang tepat, dan pada biaya serta harga yang tepat.

Menurut (Herjanto, 2004) persediaan dapat dikelompokkan dalam 4 jenis yaitu persediaan fluktuasi (*fluctuation stock*), persediaan antisipasi (*anticipation stock*), persediaan ukuran lot (*lot size inventory*), dan persediaan transit (*pipeline / transit inventory*). Salah satu alasan untuk menyimpan persediaan adalah untuk menyangga ketidakpastian permintaan atau fluktuasi permintaan normal, agar dapat memenuhi permintaan eksternal, sehingga *safety stock* dianggap penting dan tidak dapat dihindari.

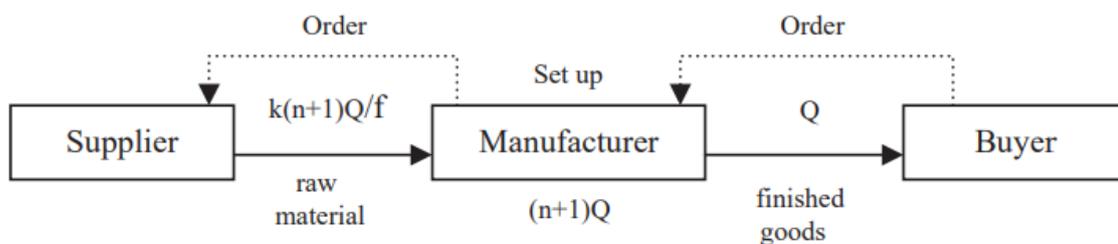
Pada dasarnya, bisnis mempraktikkan perencanaan dan pengendalian barang dengan tujuan meminimalkan biaya dan memaksimalkan keuntungan bisnis (Sulaiman & Nanda, 2015). Setiap keputusan dalam perencanaan berpengaruh terhadap besarnya biaya persediaan. Sehingga perlu dikembangkan model-model dalam manajemen persediaan untuk memudahkan mengambil keputusan (Siswanto, 2007).

Model dasar *Economic Order Quantity* (EOQ) dapat digunakan untuk analisis yang bertujuan meminimalkan biaya persediaan. Model ini mempertimbangkan dua biaya persediaan yaitu biaya pesan dan biaya simpan. Pada umumnya model persediaan dikelompokkan menjadi 2 yaitu model persediaan deterministik dan model persediaan probabilistik.

### 2.1.3 Joint Economic Lot Size

*Joint Economic Lot Sizing* (JELS) merupakan suatu metode dimana pihak produsen dan pihak pembeli melakukan integrasi secara bersama-sama dalam penentuan ukuran lot produksi dan lot pesanan, dimana total biaya keseluruhan yang dikeluarkan, yang merupakan jumlah optimal sehingga menguntungkan kedua belah pihak (Suseno & Al Faritsy, 2018). Keuntungan dari penerapan model JELS adalah dapat menghasilkan total biaya persediaan yang lebih rendah untuk sistem sehingga keuntungan bersih dapat dibagi oleh kedua belah (Lee, 2005).

Model pengendalian persediaan terintegrasi, membuat ukuran *joint economic lot size* dari pemesanan bahan baku pabrikan, batch produksi, dan pemesanan pembeli dikembangkan untuk meminimalkan biaya total rata-rata per unit waktu pemesanan dan penyimpanan bahan baku, penyiapan pabrikan, dan penyimpanan barang jadi, pemesanan pembeli, dan penyimpanan persediaan (Lee, 2005). Ilustrasi sederhana sistem pada model JELS terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2-1 Model Integrasi Pengendalian Persediaan (Lee, 2005)

Model ini dikembangkan oleh Jauhari berdasarkan permintaan bersifat probabilistik dan ukuran pengiriman barang ke pembeli dalam jumlah yang sama. Model JELS didasari oleh model EOQ deterministik, dimana fungsi biaya dari setiap eselon di setiap bagiannya akan digabung menurut biaya persediaan dan biaya pemesanan. JELS memberikan formulasi agar pihak pembeli dan pemasok dapat melakukan koordinasi mengenai kebijakan pesanan dan produksi (Arvianto, Hartini, & Pradiyana, 2010).

#### 2.1.4 Simulasi

Pemodelan dilakukan untuk menghindari resiko kerusakan sistem nyata. Pemodelan adalah cara untuk mengembangkan representasi sederhana dari sistem yang kompleks dengan tujuan untuk menyediakan prediksi dari ukuran performa sistem (Sugiarto & Buliali, 2012). Pada kondisi tertentu biasanya perlu membangun sebuah model yang mewakili sistem nyata serta mempelajarinya sebagai pengganti sistem nyata (Trenggonowati, 2015). Dua pendekatan dasar dalam menyelesaikan model-model perencanaan yaitu simulasi dan optimasi (Loucks, Stedinger, & Haith, 1981).

Simulasi merupakan tiruan proses operasi dari sebuah kondisi nyata atau sistem dari waktu ke waktu (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2004). Metode simulasi telah banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja suatu sistem produksi manufaktur maupun sistem pelayanan/jasa. Simulasi digunakan untuk menggambarkan dan menganalisa perilaku dari sebuah sistem, menanyakan pertanyaan bagaimana jika (“*what if*”) tentang sistem nyata, dan membantu dalam proses design of real systems (Nashrulhaq, Nugraha, & Imran, 2014). Model simulasi adalah alternatif yang tepat dalam menggambarkan suatu sistem yang kompleks, terutama ketika model matematik analitik sulit dilakukan (Law, 2007).

Pemahaman utama adalah bahwa simulasi bukanlah alat optimasi yang memberi suatu keputusan hasil, namun hanya merupakan alat pendukung keputusan (*decision support system*) (Saleh, 2006). Simulasi menghilangkan biaya yang mahal, penggunaan waktu yang lama, dan menghindari kesalahan yang biasa dilakukan pada teknik coba-coba (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2004).

Sebuah model simulasi dikembangkan untuk mempelajari bagaimana kerja suatu sistem yang berkembang dari waktu ke waktu. Langkah-langkah dalam membangun model simulasi adalah sebagai berikut (Altiok & Melamed, 2007):

1. Menganalisis masalah dan mengumpulkan informasi
2. Mengumpulkan data
3. Membangun model
4. Melakukan verifikasi model
5. Melakukan validasi model
6. Mendesain dan membuat skenario simulasi
7. Melakukan analisis output
8. Membuat rekomendasi akhir

Cara simulasi bekerja sangat bergantung pada jenis model simulasi yang digunakan. Terdapat beberapa cara untuk mengategorikan model simulasi. Pada dasarnya model simulasi dikelompokkan dalam tiga dimensi yaitu (Law, 2007) :

1. Model Simulasi Statis dengan Model Simulasi Dinamis.

Model simulasi statis digunakan untuk mempresentasikan sistem pada saat tertentu atau sistem yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu. Sedangkan model simulasi dinamis digunakan jika sistem yang dikaji dipengaruhi oleh perubahan waktu.

2. Model Simulasi Deterministik dengan Model Simulasi Stokastik

Jika model simulasi yang akan dibentuk tidak mengandung variabel yang bersifat random, maka model simulasi tersebut dikatakan sebagai simulasi deterministik. Pada umumnya sistem yang dimodelkan dalam simulasi mengandung beberapa input yang bersifat random, maka pada sistem seperti ini model simulasi yang dibangun disebut model simulasi stokastik.

3. Model Simulasi Kontinu dengan Model Simulasi Diskret.

Untuk mengelompokkan suatu model simulasi apakah diskret atau kontinu, sangat ditentukan oleh sistem yang dikaji. Suatu sistem dikatakan diskret jika variabel sistem yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu, sedangkan sistem dikatakan kontinu jika perubahan variabel sistem berlangsung secara berkelanjutan seiring dengan perubahan waktu

### 2.1.5 Optimasi Bayesian

Pengoptimalan Bayesian (*BayesOpt*) merupakan kelas dari metode pengoptimalan berbasis pembelajaran mesin (*machine learning*) yang berfokus pada pemecahan masalah (Frazier, 2018). Optimasi Bayesian merupakan metodologi yang mapan untuk optimasi sekuensial yang efisien sampel, telah diusulkan sebagai solusi efektif untuk masalah tersebut dan telah berhasil diterapkan untuk tugas-tugas mulai dari kontrol robot optimasi hiperparameter, desain kimia, dan penyetelan dan pencarian kebijakan untuk internet- sistem perangkat lunak skala (Balandat, et al., 2020).

Optimasi Bayesian adalah pendekatan untuk mengoptimalkan fungsi objektif yang membutuhkan waktu lama (menit atau jam) untuk dievaluasi. Sehingga metode ini paling cocok untuk melakukan optimasi pada domain kontinu kurang dari 20 dimensi, dan mentolerir kebisingan stokastik dalam evaluasi fungsi. Berikut merupakan persamaan optimasi Bayesian:

$$x^+ = \operatorname{argmax} f(x)$$

Berdasarkan persamaan diatas,  $f(x)$  yang dimaksud merupakan sebuah fungsi yang akan dilakukan optimasi dimana  $x^+$  adalah set *hyperparameter* yang akan menghasilkan nilai  $f(x)$  optimum. Menurut (Frazier, 2018) dapat disimpulkan bahwa optimasi Bayesian ini dirancang untuk optimasi global *derivative free* dari *blackbox*. Penyetelan *hyperparameter* dalam algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) baru-baru ini telah menjadi sangat populer, terutama pada *deep neural networks* (Snoek, Larochelle, & Adams, 2012).

Optimasi Bayesian bekerja dengan membangun distribusi posterior fungsi (proses gaussian) dengan menggambarkan fungsi yang ingin dioptimalkan. Seiring bertambahnya jumlah pengamatan, distribusi posterior meningkat, dan algoritma menjadi lebih pasti dari wilayah mana dalam ruang parameter yang perlu ditelusuri dan mana yang tidak. Optimasi ini membangun model pengganti (*surrogate*) dan mengukur ketidakpastian dalam *surrogate* tersebut menggunakan teknik *machine learning* Bayesian, regresi proses Gaussian, dan kemudian menggunakan fungsi akuisisi yang ditentukan dari *surrogate* ini untuk memutuskan di mana harus mengambil sampel (Frazier, 2018).

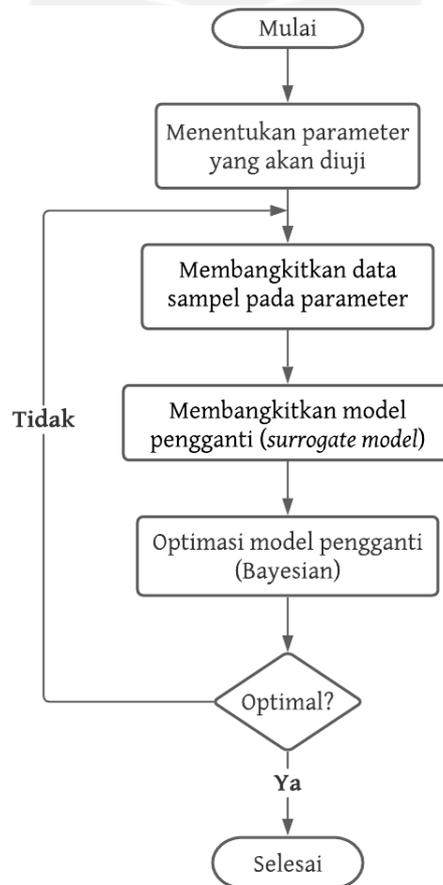
Terdapat beberapa fungsi akuisisi, yang paling umum dan sering digunakan adalah *Expected Improvement* (EI). Formulasi EI dalam proses Gaussian dapat dilihat pada persamaan dibawah ini (Agnihotri & Batra, 2020). Dimana  $\Phi$  merupakan *Cumulative*

*Distribution Function* atau CDF dan  $\phi$  merupakan *Probability Density Function* atau PDF. Parameter  $\epsilon$  yaitu penentuan hyperparameter selanjutnya yang berdasarkan nilai *Expected Improvement* (EI) yang paling besar.

$$EI = \begin{cases} (\mu_t(x) - f(x^+) - \epsilon) \Phi(Z) + \sigma_t(x) \phi(Z), & \text{if } \sigma_t(x) > 0 \\ 0, & \text{if } \sigma_t(x) = 0 \end{cases}$$

$$Z = \frac{\mu_t(x) - f(x^+) - \epsilon}{\sigma_t(x)}$$

Pada penelitian ini proses optimasi Bayesian akan dibantu dengan menggunakan bahasa pemrograman *python* yang dirancang dengan bantuan alat berupa *jupyter notebook* sehingga proses perhitungan optimasi, pemunculan bilangan random serta pemunculan data permintaan distribusi normal akan dibantu oleh bahasa pemrograman *python*. Secara garis besar alur proses optimasi Bayesian yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat melalui *flowchart* pada gambar



Gambar 2-2 Alur Proses Optimasi Bayesian

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang serupa dengan penelitian yang akan dilakukan di tulisan ini. Pada bagian ini akan diuraikan penelitian lainnya yang serupa serta akan menjelaskan posisi penelitian yang akan dilakukan, dengan menjabarkan setiap tujuan, metode dan hasil dari masing- masing penelitian yang ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Penelitian terdahulu dan posisi penelitian

No	Peneliti	Echelon	Jenis Data Permintaan	<i>Crashing Lead Time</i>	Produksi Tidak Sempurna	Perbaikan Kualitas	Diskon Biaya <i>Backorder</i>	Biaya Logistik
1	(Arvianto, Hartini, & Pradiyana, 2010)	2	Probabilitas	-	-	-	-	✓
2	(Taleizadeh, Niaki, & Wee, 2013)	2	Probabilitas	-	-	-	-	✓
3	(Sarkar & Majumder, 2013)	2	Probabilitas	✓	-	-	-	✓
4	(Rad, Khoshalhan, & Setak, 2014)	2	Deterministik	-	-	-	-	✓
5	(Li, Kang, & Xu, 2015)	2	Probabilitas	✓	-	-	✓	-
6	(Fu & Yeh, 2017)	2	Deterministik	-	-	-	-	✓
7	(Gholami, Pasandideh, & Abolfazl, 2017)	2	Probabilitas	-	✓	-	-	✓
8	(Majumder , Jaggi, & Sarkar, 2018)	2	Probabilitas	✓	-	-	-	-
9	(Suseno & Al Faritsy, 2018)	2	Deterministik	-	-	-	-	-
10	(Tyas & Anshori, 2018)	2	Probabilitas	-	-	-	-	-

No	Peneliti	Echelon	Jenis Data Permintaan	Crashing Lead Time	Produksi Tidak Sempurna	Perbaikan Kualitas	Diskon Biaya Backorder	Biaya Logistik
11	(Biswas & Giri, 2019)	2	Probabilitas	-	-	-	-	✓
12	(Dey, Sarkar, & Pareek, 2019)	2	Probabilitas	✓	✓	✓	-	✓
13	(Aritonang, Nainggolan, & Djunaidi, 2020)	2	Probabilitas	✓	-	-	-	-
14	(Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020)	2	Probabilitas	✓	✓	✓	✓	-
15	(Rasay & Golmohammadi, 2020)	2	Deterministik	-	-	-	-	✓
16	(Latha, Kumar, & Uthayakumar, 2021)	2	Probabilitas	✓	-	-	✓	✓
17	(Anshori, Isnaini, & Adriansyah, 2021)	2	Deterministik	-	-	-	-	-
-	<b>Penelitian ini</b>	<b>2</b>	<b>Probabilitas</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>	<b>✓</b>

## BAB 3

### Metode Penelitian

#### 3.1 Objek dan Subjek Penelitian

Fokus yang menjadi objek penelitian ini adalah persediaan produk pada pemasok dan pembeli untuk memenuhi permintaan pelanggan. Sedangkan subjek penelitian ini adalah produk batik yang diproduksi oleh pihak pemasok. Penelitian dilakukan pada sebuah pemasok tunggal yang memproduksi sejumlah produk yang kemudian dikirimkan kepada pembeli tunggal untuk memenuhi permintaan pelanggan.

#### 3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini hanya berfokus pada rantai pasok produk antara pemasok tunggal sebagai pihak yang memproduksi produk, pembeli tunggal sebagai pihak yang membeli produk untuk memenuhi permintaan pelanggan dan jasa pengiriman sebagai pihak ketiga (*Third Party Logistic*).

#### 3.3 Variabel dan Definisi Operasional

Terdapat 5 (lima) variabel keputusan dalam penelitian ini yang terdiri dari ukuran lot pemesanan pembeli ( $Q$ ), ukuran batch produksi oleh pemasok ( $m$ ), probabilitas proses produksi berada pada kondisi tidak terkontrol ( $\theta$ ), biaya pemesanan pembeli ( $A$ ) dan biaya *setup* pemasok ( $S$ ). Sedangkan terdapat 3 kriteria performansi yang menjadi tujuan penelitian ini dimana terdiri dari *total expected cost* untuk pembeli ( $TEC_B$ ), *total expected cost* untuk pemasok ( $TEC_V$ ), dan *joint total expected cost* untuk keseluruhan sistem rantai pasok (JTEC),

### 3.4 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari berbagai studi literatur sejenis dari peneliti sebelumnya dan jupyter notebook dengan bahasa pemrograman *python* sebagai alat bantu simulasi dan optimasi model *joint economic lot size*.

### 3.5 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini akan digunakan data sekunder dimana merupakan data yang diperoleh dengan dua cara yaitu studi pustaka dan pengumpulan data historis. Studi Pustaka dilakukan dengan mengumpulkan hasil studi serta teori pendukung yang berkaitan dengan penelitian dari jurnal ilmiah oleh peneliti terdahulu maupun dari sumber buku-buku yang mendukung.

Sedangkan data historis yang digunakan terdiri dari data permintaan produk, jumlah persediaan, laju produksi pemasok, dan data tingkat kecacatan produk. Data historis lainnya berupa biaya-biaya yang digunakan yaitu biaya pemesanan produk oleh pembeli, biaya pengiriman dan biaya jemput produk berdasarkan *third party logistic* (TPL), biaya *setup* produksi oleh pemasok, biaya backorder, serta biaya simpan pemasok dan pembeli.

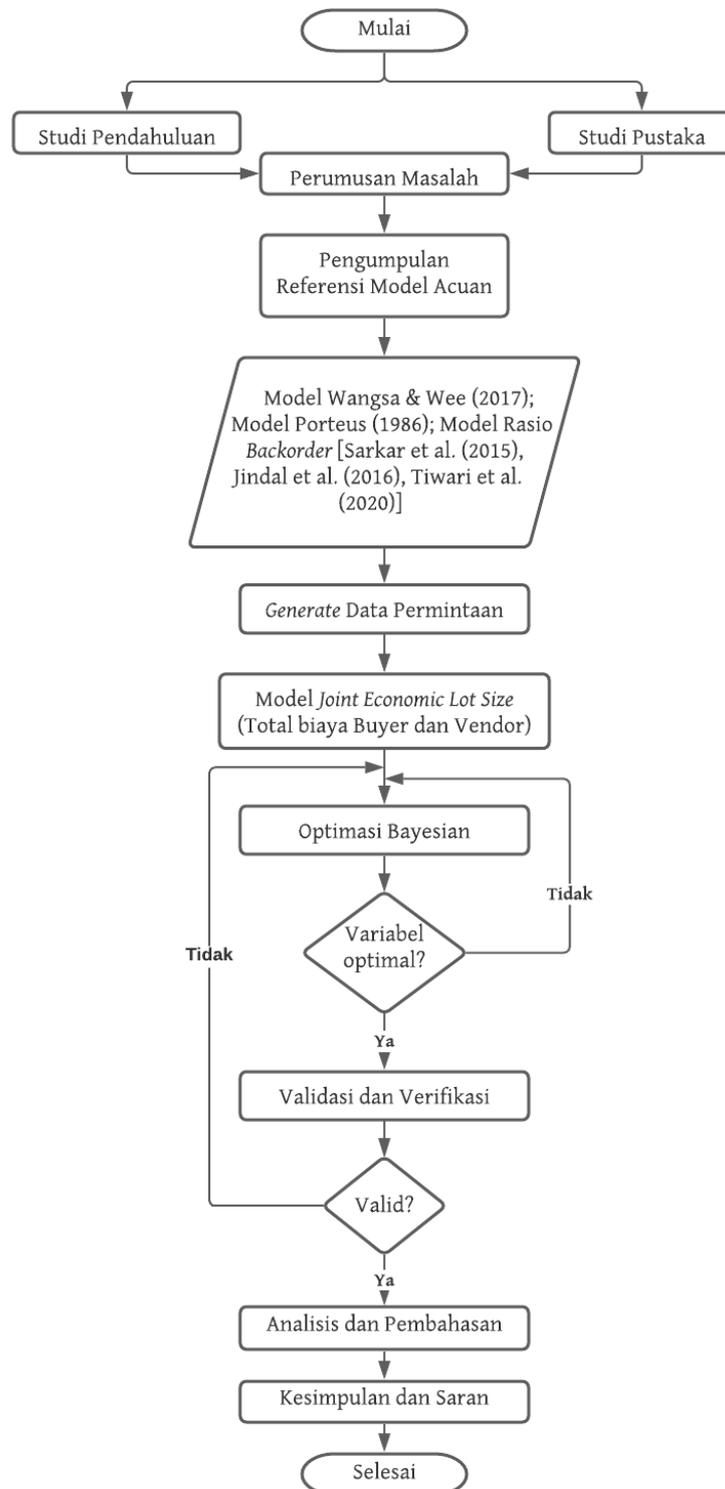
### 3.6 Analisis Data

Seluruh data yang dihasilkan pada penelitian ini diolah melalui tahapan sebagai berikut:

1. Merumuskan model matematis *joint total expected cost* (JTEC) pada kedua skenario
2. Merancang kode pemrograman *python* berdasarkan data dan model JTEC
3. Menentukan batasan nilai pada variabel keputusan untuk optimasi Bayesian
4. *Generate* data permintaan berdistribusi normal
5. Optimasi Bayesian
6. Menerapkan nilai keputusan optimal pada model JTEC berdasarkan data permintaan

### 3.7 Alur Penelitian

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat melalui *flowchart* alur penelitian di Gambar 3.1. Berikut alur penelitian yang akan dilakukan:



Gambar 3-1 Flowchart penelitian

## BAB 4

### Analisis Data

#### 4.1 Deskripsi Sistem

Pada penelitian ini, sistem rantai pasok terdiri dari pemasok tunggal (*single vendor*), pembeli tunggal (*single buyer*), dan dibantu oleh logistik pihak ketiga (*Third Party Logistic / TPL*). Proses rantai pasokan dimulai tepat setelah pembeli (*buyer*) menerima jumlah permintaan produk dari pelanggan akhir. Kemudian pembeli akan mengecek jumlah stok produk yang tersedia. Ketika stok produk mencapai titik pemesanan ulang (*reorder point*), maka pembeli akan melakukan pemesanan dalam jumlah produk sebanyak  $Q$  unit dengan biaya pemesanan sebesar  $A$  kepada pihak penjual.

Selanjutnya pemasok (*vendor*) akan menerima informasi pesanan dari pembeli, dan mulai menjalankan beberapa batch produksi dengan total ukuran batch sebesar  $m*Q$  dimana biaya setup produksi sebesar  $S$ . Terkadang proses produksi yang dijalankan tidaklah sempurna sehingga terbentuknya suatu produk gagal atau cacat sejatinya tidak dapat dihindarkan. dengan probabilitas proses produksi berada di luar kendali ( $\theta$ ). Jika ditemukan produk yang cacat, maka produk tersebut harus dilakukan pengerjaan ulang (*rework*) dengan biaya sebesar  $g$  untuk dapat memenuhi permintaan.

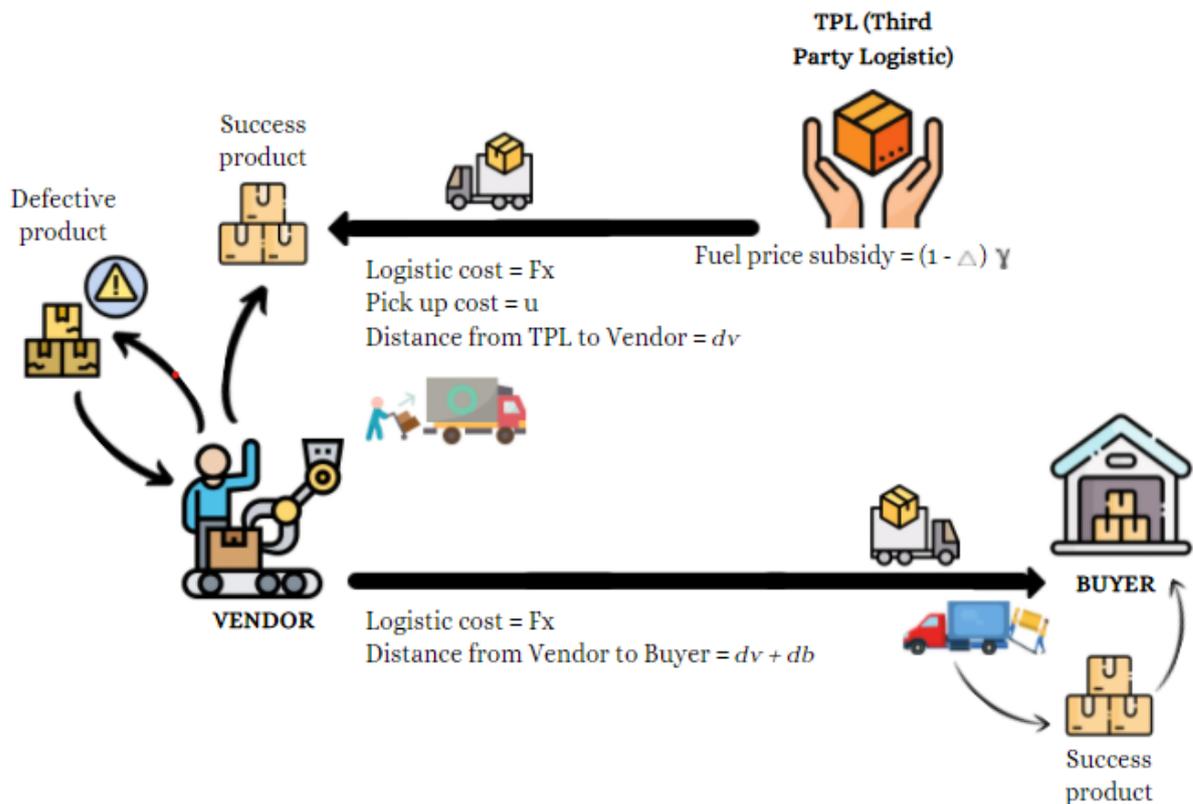
Pemasok (*vendor*) dapat melakukan suatu investasi pada proses produksi guna meningkatkan kualitas sistem produksi mereka sehingga diharapkan dapat mengurangi biaya pemesanan produk oleh pembeli (*buyer*) atau biaya setup produksi. Produk baik (tidak cacat) kemudian akan dikirimkan kepada pembeli melalui jasa layanan pengiriman yang dilakukan oleh logistik pihak ketiga (TPL). TPL akan menyiapkan segala kebutuhan proses pengiriman mulai dari pengambilan produk di lokasi pemasok sampai mengirimkan produk tersebut menuju lokasi pembeli.

Biaya yang dibutuhkan dalam proses pengiriman produk terdiri dari biaya persiapan armada, biaya penanganan produk, biaya antar atau ambil dan lain-lain. Jarak antara lokasi pemasok dan pembeli diasumsikan linear dimana total jarak keseluruhan ( $\rho$ ) yang ditempuh oleh TPL meliputi jarak dari lokasi logistik pihak ketiga (TPL) menuju lokasi pemasok ( $d_v$ ),

jarak dari lokasi pemasok kembali lagi menuju lokasi TPL dan jarak dari lokasi TPL menuju lokasi pembeli ( $d_b$ ). Oleh karena itu, total jarak keseluruhan dapat dirumuskan menjadi

$$\rho = d_v + (d_v + d_b) = (2d_v + d_b) \quad (1)$$

Terdapat suatu kondisi dimana pemerintah dapat menetapkan harga bahan bakar minyak (BBM) dengan faktor subsidi ( $\Delta$ ), sehingga hal ini dapat mempengaruhi biaya yang dibutuhkan oleh pihak TPL. Seluruh sistem rantai pasokan dan logistik yang telah dijabarkan di atas dapat dilihat dalam bentuk visual secara ringkas pada Gambar 4-1 di bawah ini.



Gambar 4-1. Sistem Rantai Pasokan dan Logistik

#### 4.2 Notasi dan Asumsi

Pada penelitian ini akan menggunakan perluasan model yang sebelumnya diteliti dan dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017). Berdasarkan model tersebut kemudian akan diperluas dengan mempertimbangkan biaya-biaya logistik oleh pembeli dan vendor serta

faktor perbaikan berkelanjutan pada proses produksi vendor yang terdapat pada parameter model. Berikut penjabaran mengenai variabel keputusan, parameter, kriteria kinerja, dan asumsi model.

#### 4.2.1 Variabel Keputusan

Berikut variabel-variabel keputusan dimana terdiri dari variabel masalah yang akan mempengaruhi nilai tujuan yang ingin dicapai.

- $Q$  : Jumlah pemesanan buyer (unit)
- $m$  : Angka *batch* produksi di vendor
- $\theta$  : Probabilitas proses produksi vendor tidak terkendali (cacat produk)
- $\pi_x$  : Diskon harga *backorder* di buyer (\$/unit)
- $A$  : Biaya pemesanan buyer (\$)
- $S$  : Biaya *setup* vendor (\$)

#### 4.2.2 Parameter

Berikut merupakan parameter yang mempengaruhi definisi dan perumusan model biaya gabungan pembeli dan pemasok.

- $D$  : permintaan rata-rata pembeli (unit/tahun)
- $P$  : tingkat produksi vendor (unit/tahun)
- $A_0$  : biaya pemesanan awal pembeli (\$)
- $S_0$  : biaya *setup* awal vendor (\$)
- $h_b$  : biaya penyimpanan pembeli (\$/unit/tahun)
- $h_v$  : biaya penyimpanan vendor (\$/unit/tahun)
- $r$  : titik pemesanan ulang pembeli (unit)
- $t$  : biaya fraksional tahunan dari investasi modal (%/tahun)
- $\theta_0$  : probabilitas awal proses produksi vendor tidak terkendali
- $\pi_0$  : keuntungan marjinal pembeli (\$/unit)
- $\beta$  : rasio *backorder* pembeli dari permintaan selama periode *stock-out*,  $\beta \in [0,1]$
- $\beta_0$  : batas atas rasio *backorder* pembeli,  $0 < \beta_0 < 1$
- $g$  : biaya pengerjaan ulang produk cacat di vendor (\$/unit)

- $\lambda$  : persentase penurunan  $\theta$  per \$ kenaikan di  $I(\theta)$   
 $\tau$  : persentase penurunan  $A$  per \$ kenaikan di  $I(A)$   
 $\xi$  : persentase penurunan  $S$  per \$ kenaikan di  $I(S)$   
 $\sigma$  : standar deviasi permintaan pembeli (unit/minggu)  
 $c_i$  : durasi minimum pembeli untuk komponen lead-time ke- $i$  (hari)  
 $d_i$  : durasi normal komponen waktu tunggu pembeli (hari)  
 $e_i$  : biaya *crashing* pembeli per hari dari komponen lead-time ke- $i$  (\$/hari)  
 $B(r)$  : kekurangan permintaan yang diharapkan pembeli pada akhir siklus (unit)  
 $\varphi(k)$  : *probability density function* (p.d.f.) dari standar distribusi normal  
 $\Phi(k)$  : *cumulative distribution function* (c.d.f) dari standar distribusi normal  
 $w$  : berat produk (lbs/unit)  
 $d_b$  : jarak dari TPL ke pembeli (miles)  
 $d_v$  : jarak dari TPL ke vendor (miles)  
 $\alpha$  : faktor diskon untuk pengiriman LTL,  $0 \leq \alpha \leq 1$   
 $F_x$  : biaya logistik untuk muatan truk penuh (FTL) (\$/lb/miles)  
 $F_y$  : biaya logistik untuk muatan parsial (LTL) (\$/lb/miles)  
 $W_x$  : kapasitas beban truk penuh (FTL) (lbs)  
 $W_y$  : beban truk aktual (lbs)  
 $\delta$  : harga bahan bakar (\$/liter)  
 $\gamma$  : konsumsi bahan bakar truk (liter/miles)  
 $\Delta$  : Faktor subsidi pemerintah,  $0 \leq \Delta < 1$   
 $u$  : biaya tambahan per pengiriman untuk kebijakan penjemputan (\$)

#### 4.2.3 Kriteria Kinerja

Berikut merupakan kriteria kinerja yang menjadi tujuan utama dalam penelitian, dimana terdiri dari total biaya pembeli (*buyer*), total biaya pemasok (*vendor*) dan total biaya gabungan. Total biaya gabungan merupakan jumlah dari total biaya pembeli ditambah dengan total biaya pemasok.

$TEC_b$  : *Total expected cost* yang dikeluarkan buyer (\$/tahun)

$TEC_v$  : *Total expected cost* yang dikeluarkan vendor (\$/tahun)

$JTEC$  : *Joint total expected cost* yang dikeluarkan oleh buyer dan vendor (\$/tahun)

#### 4.2.4 Asumsi Model

Pada penelitian ini terdapat beberapa asumsi-asumsi yang membatasi perumusan model sehingga pemodelan dapat lebih terfokus. Asumsi-asumsi tersebut terdiri dari:

1. Model yang dirancang hanya untuk proses pada satu produk
2. Produk diproduksi dengan laju produksi terbatas  $P$  dalam satu pengaturan ( $P > D$ ) dan dikirim dalam ukuran lot  $Q$  kepada buyer dalam  $m$  kali.
3. Persediaan ditinjau secara kontinu. Pembeli memesan saat jumlah persediaan mencapai titik pemesanan ulang,  $r = DL + k\sigma\sqrt{L}$ , di mana  $k$  adalah *safety factor*.
4. Lead time ( $L$ ) terdiri dari  $n$  komponen yang saling bebas. Setiap komponen memiliki durasi normal  $d_i$ , durasi minimum  $c_i$ , dan biaya crash per satuan waktu  $e_i$ .
5. Biaya crashing yang dikeluarkan oleh vendor akan sepenuhnya dialihkan ke pembeli jika lead time lebih cepat dari yang diminta.
6. *Shortage* diperbolehkan dengan backorder parsial dan kehilangan penjualan.
7. Buyer bertanggung jawab atas semua biaya logistik yang dibutuhkan oleh TPL.
8. Rasio *backorder* pembeli  $\beta$  adalah variabel dan sebanding dengan diskon harga yang ditawarkan oleh buyer kepada pelanggan ( $\pi_x$ ); karena itu  $\beta = \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0}$  untuk  $0 < \beta_0 < 1$  dan  $0 \leq \pi_x \leq \pi_0$  (Sarkar, Mandal, & Sarkar, 2015); (Jindal & Solanki, 2016); (Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020)
9. TPL menawarkan layanan penjemputan, mengumpulkan produk dari vendor kemudian mengirimkan produk ke pembeli. Biaya tambahan ( $u$ ) untuk layanan penjemputan per pengiriman akan dibayar oleh pembeli. Model ini dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017)
10. Harga BBM ditentukan oleh kebijakan pemerintah dengan harga bersubsidi. Oleh karena itu, harga dirumuskan sebagai  $z = \delta(1-\Delta) \gamma(2d_v + d_b)$  dimana faktor subsidinya adalah  $0 < \Delta < 1$ .
11. Model mempertimbangkan fungsi logaritma yang disarankan oleh (Porteus, 1986) untuk investasi peningkatan kualitas dan pengurangan biaya pemesanan dan biaya setup produksi yaitu:  $I(\theta) = n \ln \frac{\theta_0}{\theta}$  untuk  $0 < \theta < \theta_0$ , dimana  $n = \frac{1}{\lambda}$ ,  $I(A) = a \ln \frac{A_0}{A}$  untuk  $0 < A < A_0$ , dimana  $n = \frac{1}{\tau}$ ,  $I(S) = b \ln \frac{S_0}{S}$  untuk  $0 < S < S_0$ , dimana  $n = \frac{1}{\xi}$ .

### 4.3 Deskripsi Model

Sebelum melakukan perancangan model matematis, peneliti akan menjabarkan deskripsi dari masing-masing model sebagai berikut.

#### 4.3.1 Deskripsi Model Skenario 1

Pada penelitian ini akan merancang model skenario 1 dalam bentuk model matematis dimana model ini merupakan gabungan dari beberapa model yang sudah dikembangkan sebelumnya oleh peneliti di berbagai referensi. Model skenario 1 akan merancang model *joint total expected cost* (JTEC) dengan menggabungkan *total expected cost* (TEC) pihak vendor dan pihak buyer. Pada rancangan formulasi TEC vendor akan menggunakan perluasan model yang sebelumnya diteliti dan dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017). Berdasarkan model tersebut kemudian akan diperluas dengan menambah formulasi perhitungan biaya pengerjaan ulang (*rework*) produk sebagai salah satu upaya perbaikan kualitas produksi di kondisi awal. Formulasi biaya *rework* ini akan menggunakan model yang dikembangkan oleh (Porteus, 1986).

Kemudian pada rancangan formulasi TEC buyer akan kembali menggunakan perluasan model yang dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017). Dimana pada model tersebut biaya yang dikeluarkan oleh buyer terdiri dari biaya pemesanan produk, biaya penyimpanan produk oleh buyer, biaya *shortage*, dan biaya pemendekan waktu proses. Terdapat juga biaya pengiriman yang dilakukan oleh penyedia jasa logistik pihak ketiga (TPL) dan kebijakan biaya penjemputan produk dari lokasi vendor. Terkait penyedia jasa TPL, terdapat pula kebijakan subsidi bahan bakar kendaraan dari pemerintah yang akan ikut dirancang pada formulasi biaya pengiriman oleh TPL.

#### 4.3.2 Deskripsi Model Skenario 2

Pada penelitian ini akan merancang model skenario 2 dalam bentuk model matematis. Sama dengan model skenario 1, model ini merupakan gabungan dari beberapa model yang sudah dikembangkan sebelumnya oleh peneliti di berbagai referensi. Model skenario 2 akan merancang model *joint total expected cost* (JTEC) dengan menggabungkan *total expected cost* (TEC) pihak vendor dan pihak buyer. Pada model ini akan berbeda dengan model skenario 1 dikarenakan adanya investasi perbaikan kualitas secara kontinu terhadap proses produksi vendor dan kesepatan beberapa kriteria biaya bersama.

Rancangan formulasi TEC vendor model skenario 2 akan menggunakan perluasan dari TEC vendor model skenario 1. Perluasan yang akan dilakukan adalah dengan menambahkan model yang dikembangkan oleh (Porteus, 1986) sesuai dengan asumsi model pada poin 11 dimana akan dilakukan investasi perbaikan kualitas secara kontinu dengan upaya menurunkan probabilitas terjadinya proses produksi tidak terkontrol serta kesepakatan antara vendor dan buyer dalam penentuan biaya setup produksi yang optimal. Kedua hal ini bertujuan untuk mengurangi nilai JTEC sehingga dapat menguntungkan pihak vendor maupun buyer.

Kemudian pada rancangan formulasi TEC buyer model skenario 2 juga akan menggunakan perluasan dari model skenario 1. Perluasan pada TEC buyer ini dilakukan dengan menambah pertimbangan rasio *backorder* pembeli untuk disesuaikan dengan diskon harga yang akan ditawarkan buyer kepada pelanggan akhir ketika produk yang diminta tidak dapat sampai tepat waktu. Pertimbangan rasio *backorder* ini juga merupakan salah satu upaya buyer guna mengurangi biaya pengeluaran setelah adanya investasi perbaikan kualitas produksi oleh vendor. Formulasi penentuan diskon harga *backorder* akan menggunakan model yang sebelumnya sudah digunakan oleh beberapa peneliti di berbagai sumber seperti oleh (Sarkar, Mandal, & Sarkar, 2015); (Jindal & Solanki, 2016); dan (Tiwari, Kazemi, Modak, Cardenas-Barton, & Sarkar, 2020).

Sama halnya pada TEC vendor yang melakukan kesepakatan biaya setup produksi, pada model skenario 2 akan dilakukan kesepakatan penentuan biaya pemesanan produk bagi buyer. Ini juga merupakan salah satu dampak dari investasi perbaikan kualitas berkelanjutan oleh vendor. Kualitas produksi yang lebih baik juga dapat mengurangi biaya yang dibutuhkan dalam proses pemesanan produk. Sehingga pada rancangan TEC vendor akan ditambahkan formulasi pengurangan biaya pemesana buyer dengan menggunakan model yang juga dikembangkan oleh (Porteus, 1986) seperti yang dijabarkan pada asumsi model poin ke 11.

#### **4.3.3 Perbedaan Model**

Secara umum perbedaan antara model skenario 1 dan model skenario 2 dapat disimpulkan seperti yang terlihat pada Tabel 4-1 di bawah ini.

Tabel 4-1 Perbedaan Model Skenario 1 dan Model Skenario 2

Model Skenario 1	Model Skenario 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondisi awal probabilitas proses produksi tidak terkontrol (<math>\theta</math>)</li> <li>• Perbaikan kualitas produk dengan menerapkan biaya <i>rework</i></li> <li>• Kondisi awal biaya pemesanan buyer</li> <li>• Kondisi awal biaya setup produksi vendor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menurunkan probabilitas proses produksi tidak terkontrol (<math>\theta</math>)</li> <li>• Investasi perbaikan kualitas proses produksi secara berkelanjutan</li> <li>• Menurunkan biaya pemesanan buyer</li> <li>• Menurunkan awal biaya setup produksi vendor</li> <li>• Diskon harga <i>backorder</i></li> </ul>

#### 4.4 Model Matematis

Pada penelitian ini akan dibangun 2 buah model dengan skenario yang berbeda yaitu model skenario dan model skenario 2. Model skenario 1 menggambarkan kondisi awal sebelum adanya rencana perbaikan sistem produksi sedangkan model skenario 2 menggambarkan kondisi setelah dilakukan investasi perbaikan yang berkelanjutan.

##### 4.4.1 Model Skenario 1

Berdasarkan model yang dikembangkan oleh (Wangsa & Wee, 2017) diasumsikan bahwa kondisi proses produksi pemasok yang terjadi dianggap sudah sempurna. Oleh karena itu, semua produk yang dihasilkan merupakan produk baik dan tidak terdapat satupun produk yang cacat. Namun pada penelitian ini akan mempertimbangkan proses produksi yang tidak sempurna sehingga terdapat kemungkinan terjadinya proses produksi yang tidak terkontrol sehingga dapat menghasilkan beberapa produk cacat.

Salah satu penerapan perbaikan kualitas adalah pengerjaan ulang (*rework*) produk cacat saat proses produksi berjalan. Dimana pada model kondisi awal ini dianggap sebagai salah satu parameter. Saat pesanan dari pembeli ( $Q$ ) masuk, maka pemasok akan memproduksi produk sejumlah ( $mQ$ ). Jumlah produk cacat yang diperkirakan muncul dalam  $mQ$  dapat dirumuskan sebagai  $\frac{m^2 Q^2 \theta}{2}$  dan biaya tahunan yang diperkirakan untuk proses pengerjaan ulang produk cacat dapat dilihat pada rumus 2.

$$RC_v = \frac{gmQD\theta}{2} \quad (2)$$

Berdasarkan model yang dikembangkan oleh Wangsa & Wee (2017) dengan menambah formulasi biaya pengerjaan ulang (*rework*) pada rumus 2 maka total biaya yang dikeluarkan oleh pemasok (*vendor*) diformulasikan pada rumus 3.

$$TEC_{vendor}(Q, m) = \frac{SD}{Qm} + h_v \frac{Q}{2} \left[ m \left( 1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + \frac{gmQD\theta}{2} \quad (3)$$

Total biaya yang dikeluarkan oleh pembeli (*buyer*) terdiri dari biaya pemesanan, biaya penyimpanan, biaya *shortage*, biaya pemendekan waktu dan biaya pengiriman menurut kebijakan yang ditentukan oleh penyedia jasa logistik pihak ketiga (TPL) seperti biaya penjemputan serta biaya pengiriman produk. Total biaya yang dikeluarkan pembeli telah diformulasikan pada rumus 4.

$$\begin{aligned} TEC_{buyer}(Q, k, L) &= \frac{D}{Q} \{ A + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta)] \sigma \sqrt{L} \psi(k) \\ &+ [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta) \gamma] (2d_v + d_b) \} \\ &+ h_b \left[ \frac{Q}{2} + k \sigma \sqrt{L} + (1 - \beta) \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right] \\ &+ D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) \end{aligned} \quad (4)$$

Oleh karena itu, total biaya gabungan antara pemasok dan pembeli didapatkan dengan menjumlahkan rumus 3 dan rumus 4, sehingga formulasi JTEC (*Joint Total Expected Cost*) dapat dilihat pada rumus 5.

$$\text{Minimasi } JTEC 1 (Q, k, L, m) = TEC_b(Q, k, L) + TEC_v(Q, m)$$

#### Minimasi JTEC 1

$$\begin{aligned}
&= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta_0)] \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right. \\
&\quad \left. + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
&\quad + \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[ m \left( 1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + gmD\theta \right\} \\
&\quad + h_b [k\sigma\sqrt{L} + (1 - \beta)\sigma\sqrt{L}\psi(k)] \\
&\quad + D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b)
\end{aligned} \tag{5}$$

#### 4.4.2 Model Skenario 2

Tahap selanjutnya dilakukan perbaikan berkelanjutan yaitu dengan mempertimbangkan investasi perbaikan kualitas sistem produksi. Investasi yang dapat dilakukan seperti meningkatkan kapasitas dan kemampuan pekerja dengan memberikan pelatihan khusus sehingga dapat bekerja lebih efektif serta efisien. Investasi lainnya yang dapat dilakukan yaitu mengganti bahan baku dengan kualitas yang lebih baik, atau memperbaiki kualitas mesin produksi saat ini. Melalui perbaikan-perbaikan tersebut diharapkan dapat mengurangi kemungkinan terjadinya proses produksi yang tidak terkontrol. Oleh karena itu pada model skenario 2 ini akan menetapkan variabel  $\theta$  sebagai salah satu variabel keputusan.

Berdasarkan model yang dikembangkan oleh (Porteus, 1986), jumlah produk cacat yang diharapkan muncul pada ukuran lot produksi sebesar  $(mQ)$  adalah sebanyak  $\frac{m^2 Q^2 \theta}{2}$  dengan biaya pengerjaan ulang yang diharapkan setiap tahun sebesar  $\frac{gm^2 Q^2 \theta}{2}$ , serta dengan menambahkan formulasi perbaikan kualitas sesuai dengan asumsi model nomor 11. Sehingga formulasi model JTEC 2 menjadi seperti pada rumus 6.

**JTEC 2 (Q, k, L, m, θ)**

$$\begin{aligned}
&= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + [\pi_x \beta + \pi_0(1 - \beta_0)] \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right. \\
&\quad \left. + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
&\quad + \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[ m \left( 1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + gmD\theta \right\} \\
&\quad + h_b [k\sigma\sqrt{L} + (1 - \beta)\sigma\sqrt{L}\psi(k)] + D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b) \\
&\quad + tn \ln \left( \frac{\theta_0}{\theta} \right) \tag{6}
\end{aligned}$$

Pada tahap selanjutnya, perbaikan berkelanjutan yang dapat dilakukan yaitu mempertimbangkan diskon harga yang akan ditawarkan kepada pelanggan akhir ketika ditemukan produk yang cacat dan permintaan pelanggan tidak dapat terpenuhi sesuai dengan waktu yang disepakati. Oleh karena itu pada model skenario 2 juga akan mempertimbangkan formulasi diskon harga *backorder* untuk pembeli sesuai dengan asumsi model pada nomor 8. Sehingga formulasi model JTEC 2 dapat dikembangkan menjadi rumus 7.

**JTEC 2 (Q, k, L, m, θ, π<sub>x</sub>)**

$$\begin{aligned}
&= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left( \frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right) \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right. \\
&\quad \left. + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma] (2d_v + d_b) \right\} \\
&\quad + \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[ m \left( 1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + gmD\theta \right\} \\
&\quad + h_b \left[ k\sigma\sqrt{L} + \left( 1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right] + D(1 - \alpha)F_x w(2d_v + d_b) \\
&\quad + tn \ln \left( \frac{\theta_0}{\theta} \right) \tag{7}
\end{aligned}$$

Tahap terakhir pada proses perbaikan berkelanjutan model skenario 2 yaitu dimana pembeli dan pemasok dapat berdiskusi untuk mencapai kesepakatan dalam upaya mengurangi biaya pemesanan dan biaya setup produksi guna memaksimalkan harga diskon *backorder* yang dapat ditawarkan kepada pelanggan. Sehingga diharapkan pembeli (*buyer*) masih bisa menawarkan harga diskon *backorder* kepada pelanggan akhir.

Biaya yang dikeluarkan untuk investasi perbaikan kualitas produksi, dan upaya meminimalkan biaya pemesanan serta biaya setup produksi telah dinyatakan pada asumsi model nomor 11. Oleh karena itu formulasi akhir pada model skenario 2 dapat dirumuskan pada rumus 8 seperti berikut ini.

**Minimasi JTEC 2 ( $Q, k, L, m, \theta, \pi_x, A, S$ )**

$$\begin{aligned}
&= \frac{D}{Q} \left\{ A + \frac{S}{m} + R(L) + u + \left( \frac{\pi_x^2 \beta_0}{\pi_0} + \pi_0 - \pi_x \beta_0 \right) \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right. \\
&\quad \left. + [\alpha F_x W_x + \delta(1 - \Delta)\gamma](2d_v + d_b) \right\} \\
&\quad + \frac{Q}{2} \left\{ h_b + h_v \left[ m \left( 1 - \frac{D}{P} \right) - 1 + \frac{2D}{P} \right] + gmD\theta \right\} \\
&\quad + h_b \left[ k\sigma\sqrt{L} + \left( 1 - \frac{\pi_x \beta_0}{\pi_0} \right) \sigma \sqrt{L} \psi(k) \right] + D(1 - \alpha) F_x w (2d_v + d_b) \\
&\quad + t \left[ n \ln \left( \frac{\theta_0}{\theta} \right) + a \ln \left( \frac{A_0}{A} \right) + b \ln \left( \frac{S_0}{S} \right) \right] \tag{8}
\end{aligned}$$

#### 4.5 Optimasi Bayesian

Optimasi ini bertujuan untuk menemukan nilai variabel keputusan atau parameter yang ingin dioptimasi ke suatu fungsi yang dapat memberikan nilai keluaran serendah mungkin. Proses optimasi Bayesian pada penelitian kali ini akan dirancang dengan menggunakan bahasa pemrograman *python* versi 3.9.6 dengan bantuan alat *jupyter notebook*. Tujuan optimasi pada penelitian ini yaitu minimasi nilai JTEC untuk mendapatkan variabel keputusan yang optimal

##### 4.5.1 Input Data Parameter

Data permintaan pada model ini bersifat probabilistik dimana data berdistribusi normal dengan nilai rata-rata sebesar 10.000 unit dan standar deviasi sebesar 350 unit. Sedangkan parameter lainnya pada model ini diadopsi dari (Vijayashree & Uthayakumar, 2015), (Jindal & Solanki, 2016), (Tiwari, Sana, & Sarkar, 2018), (Wangsa & Wee, 2017). Berikut merupakan data-data parameter yang akan menjadi nilai input pada model JTEC skenario 1 dan skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 2-2 serta data *lead time* yang digunakan pada model di Tabel 2-3 bawah ini.

Tabel 4-2 Data Parameter

Parameter	Nilai	Unit	Parameter	Nilai	Unit
$P$	40000	unit/tahun	$\alpha$	0.11246	-
$\sigma$	7	unit/minggu	$\delta$	1.02	\$/liter
$A_0$	30	\$	$\gamma$	0.63569	liter/miles
$S_0$	3600	\$	$\Delta$	0.59	-
$h_b$	45	\$/unit/tahun	$w$	22	lbs/unit
$h_v$	38	\$/unit/tahun	$d_b$	650	miles
$\theta_0$	0.0003	-	$d_v$	100	miles
$\pi_x$	100	\$/unit	$F_x$	0.000040217	\$/lb/miles
$\pi_0$	100	\$/unit	$W_x$	46000	lbs
$\beta$	0.25	-	$t$	0.1	-
$g$	25	\$/unit	$n$	400	-
$u$	14	\$	$a$	1800	-
$L$	28	hari	$b$	3500	-

Tabel 4-3 Data Lead Time

Komponen $i^{\text{th}}$ Lead Time	Durasi Normal (hari)	Durasi Minimal (hari)	Biaya Crashing (\$/day)
1	20	6	0.1
2	20	6	1.2
3	16	9	5
<b>Total</b>	56	21	

Skenario pada kedua model skenario ini dimana pemerintah mensubsidi harga solar sebesar 0,59, maka harga BBM setelah disubsidi adalah  $(1 - 0,59) \times \$1,02/\text{liter} = 0,42/\text{liter}$ . Sehingga diasumsikan TPL menggunakan truk diesel untuk pengiriman dengan konsumsi bahan bakar = 39,5 liter/100 km ( $\gamma = 0,63569$  liter/mile).

#### 4.5.2 Generate Data Permintaan

Pada penelitian ini akan menggunakan data permintaan yang bersifat probabilistik dimana data berdistribusi normal dengan jumlah permintaan setiap tahu memiliki rata-rata sebesar 10.000 unit dan standar deviasi sebesar 350 unit. Berikut merupakan kode untuk

mendapatkan data permintaan dengan bantuan bahasa pemrograman *python* yang terlihat pada Gambar 4-2 di bawah ini.

```
In [11]: # generate data permintaan
D = np.random.normal(10000,350,10)
print(D)
```

Gambar 4-2 Kode *Generate* Data Permintaan

Hasil yang didapatkan setelah menjalankan kode pemrograman di atas yaitu berupa data permintaan per tahun seperti yang ditampilkan pada Tabel 4-2 di bawah ini

Tabel 4-4 Data Permintaan Produk

No	Permintaan (unit /tahun)
1	9778
2	10208
3	10307
4	10119
5	9607
6	9993
7	10342
8	9807
9	10218
10	10172

#### 4.5.3 Rancangan Model Skenario

Optimasi Bayesian dilakukan pada kedua skenario model. Berdasarkan model matematis yang telah dijabarkan pada sub bab 4.3 serta data-data parameter pada sub bab 4.4.1, tahapan selanjutnya yaitu setiap model skenario akan diformulasikan ke dalam bahasa pemrograman *python*, sehingga memudahkann dalam proses optimasi Bayesian. Rancangan model skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 4-3 sedangkan rancangan model skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 4-4 di bawah ini.

```

# SKENARIO 1

# Total Biaya Vendor
TECv = ((S*D)/(Q*m))+((hv*Q/2)*(m*(1-(D/P))-1+(2*D/P)))+(g*m*Q*D*te)/2)

# Total Biaya Buyer
TECb = ((D/Q)*(A+RL+u+((px*be)+(po*(1-be)))*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))
+(((alp*Fx*Wx)+(de*(1-sbs)*gm))*((2*dv)+db))))
+(hb*((Q/2)+(k*sig*(math.sqrt(L)))+(1-be)*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))))
+(D*(1-alp)*Fx*w*((2*dv)+db))

# Joint Total
JTEC_1 = TECb + TECv

print(TECb)
print(TECv)
print(JTEC_1)

```

Gambar 4-3 Kode Rancangan Model Skenario 1

```

# SKENARIO 2

# Total Biaya Vendor
TECv = (
  (((S_i*D)/(Q*m))+((hv*Q/2)*(m*(1-(D/P))-1+(2*D/P)))+(g*m*Q*D*te_i)/2)
  + (t*((ni*(math.log(te/te_i)))+(bi*(math.log(S/S_i))))
  )

# Total Biaya Buyer
TECb = (
  ((D/Q)*(A_i+RL+u+((px*px*be/po)+(po-(be*px)))*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))
  +(((alp*Fx*Wx)+(de*(1-sbs)*gm))*((2*dv)+db))))
  +(hb*((Q/2)+(k*sig*(math.sqrt(L))
  +((1-(be*px/po)*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))))))
  +(D*(1-alp)*Fx*w*((2*dv)+db))
  +(t*ai*(math.log(A/A_i)))
  )

# Joint Total
JTEC_2 = TECb + TECv

print(TECb)
print(TECv)
print(JTEC_2)

```

Gambar 4-4 Kode Rancangan Model Skenario 2

#### 4.5.4 Rancangan Optimasi Bayesian

Setelah melakukan perancangan model kedua skenario, langkah selanjutnya yaitu melakukan optimasi Bayesian terhadap masing-masing model. Pada model skenario 1, variabel keputusan yang akan dikenai optimasi terdiri dari variabel  $Q$  (ukuran lot),  $m$  (jumlah *batch*) dan nilai  $k$ . Berikut merupakan kode optimasi Bayesian dengan bahasa pemrograman *python* pada model skenario 1 yang dapat dilihat pada Gambar 4-5.

```
In [4]: # Optimasi Bayesian
def joint_total_expected_cost_1(Q, m, k):
    return -(
        ((S*D)/(Q*m))+((hv*Q/2)*(m*(1-(D/P))-1+(2*D/P)))
        +((g*m*Q*D*te)/2)+((D/Q)*(A+RL+u+((px*be)+(po*(1-be)))*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))
        +((alp*Fx*wx)+(de*(1-sbs)*gm))*((2*dv)+db))))
        +(hb*((Q/2)+(k*sig*(math.sqrt(L)))+(1-be)*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))))
        +(D*(1-alp)*Fx*w*((2*dv)+db))
    )

In [5]: pbounds = {'Q': (250, 1000), 'm': (1, 5), 'k': (1, 3)}

In [6]: optimizer = BayesianOptimization(
    f=joint_total_expected_cost_1,
    pbounds=pbounds,
    verbose=2, # verbose = 1 prints only when a maximum is observed, verbose = 0 is silent
    random_state=1,
)

In [7]: optimizer.maximize(
    init_points=20,
    n_iter=80,
)
```

Gambar 4-5 Kode Optimasi Bayesian Model Skenario 1

Sedangkan pada model skenario 2, variabel keputusan yang akan dikenai optimasi terdiri dari variabel  $Q$  (ukuran lot),  $m$  (jumlah *batch*), nilai  $k$ ,  $\pi_x$  (harga diskon *backorder*),  $S$  (biaya setup produksi pemasok),  $A$  (biaya pemesanan pembeli) dan  $\theta$  (kemungkinan produksi menjadi tidak terkontrol). Berikut merupakan kode optimasi Bayesian dengan bahasa pemrograman *python* pada model skenario 2 yang dapat dilihat pada Gambar 4-6.

```

In [33]: # Optimasi Bayesian
def joint_total_expected_cost_2(Q, m, k, S_i, A_i, te_i, px):
    return -(
        (((S_i*D)/(Q*m))+((hv*Q/2)*(m*(1-(D/P))-1+(2*D/P)))+(g*m*Q*D*te_i/2))
        +t*((ni*(math.log(te/te_i)))+(bi*(math.log(S/S_i))))
    )+
    ((D/Q)*(A_i+RL+u+((px*px*be/po)+(po-(be*px)))*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))
    +((alp*Fx*Wx)+(de*(1-sbs)*gm))*((2*dv)+db)))
    +hb*((Q/2)+(k*sig*(math.sqrt(L)))+(1-(be*px/po)*sig*(math.sqrt(L))*(norm.cdf(k))))
    +D*(1-alp)*Fx*w*((2*dv)+db)
    +t*ai*(math.log(A/A_i)))
)

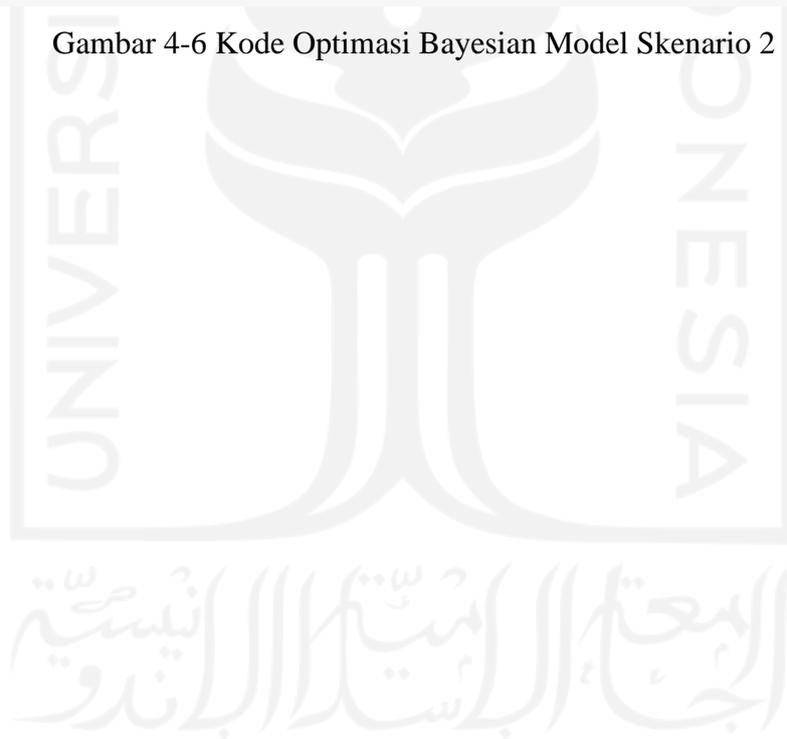
In [34]: pbounds = {'Q': (250, 750), 'm': (1, 5), 'k': (1, 3),
                    'S_i': (50, 3600), 'A_i': (20, 30), 'te_i': (0.000003, 0.0003), 'px': (40, 100)}

In [35]: optimizer = BayesianOptimization(
    f=joint_total_expected_cost_2,
    pbounds=pbounds,
    verbose=2, # verbose = 1 prints only when a maximum is observed, verbose = 0 is silent
    random_state=1,
)

optimizer.maximize(
    init_points=20,
    n_iter=80,
)

```

Gambar 4-6 Kode Optimasi Bayesian Model Skenario 2



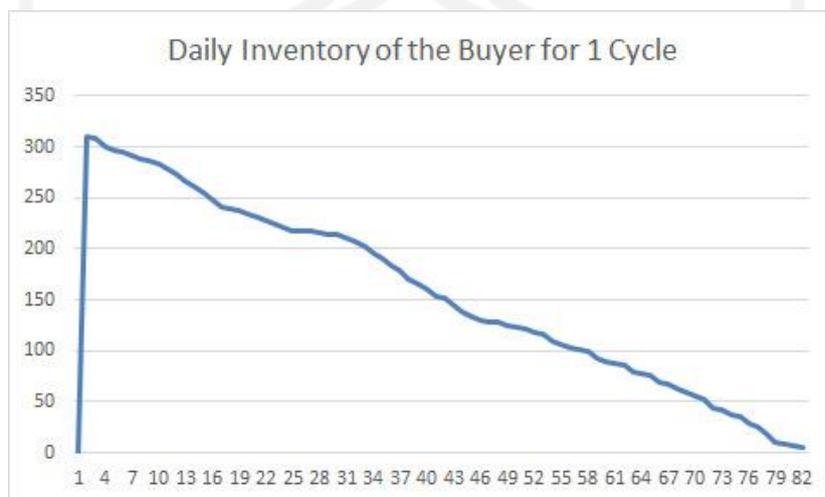
## BAB 5

### Hasil dan Pembahasan

#### 5.1 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi dilakukan untuk memastikan program dibuat tanpa kesalahan dan dapat dijalankan dengan sempurna. Hal ini dilakukan dengan melihat program yang dihasilkan, jika terdapat kesalahan ditandai dengan tanda kesalahan (*error*). Pada kode program yang dirancang pada *jupyter notebook* tidak menunjukkan adanya *error*, sehingga model dapat diverifikasi. Jika program tidak menunjukkan kesalahan, langkah selanjutnya adalah menjalankan model kemudian melakukan validasi model.

Validasi model merupakan proses untuk mengetahui apakah model optimasi yang dibuat sudah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Salah satu cara validasi yang dapat dilakukan dengan membandingkan pola inventori pada vendor dan buyer dengan pola inventori vendor dan buyer secara teoritis. Grafik hasil simulasi inventori buyer dapat dilihat pada gambar 5-1. Pola inventori buyer pada grafik dibawah menampilkan pola yang serupa dengan pola inventori secara teoritis. Kemudian pada gambar 5-2 merupakan grafik hasil simulasi inventori vendor. Terlihat bahwa pola inventori vendor pada grafik tersebut sudah menampilkan yang serupa dengan pola inventori vendor secara teoritis.



Gambar 5-1 Grafik Hasil Simulasi Inventori Buyer



Gambar 5-2. Grafik Hasil Simulasi Inventori Vendor

## 5.2 Hasil Optimasi Model Skenario 1

Berdasarkan rancangan model yang telah dibuat, dilakukan optimasi Bayesian dengan jumlah iterasi sebanyak 100 kali dimana variabel keputusan pada model ini berupa jumlah lot produksi ( $Q$ ), jumlah *batch* produksi ( $m$ ) dan nilai  $k$ . Sebelum dilakukan optimasi, kondisi awal lot produksi adalah sebesar 250 unit dengan jumlah *batch* sebanyak 1 dan nilai  $k$  sebesar 0. Kemudian dilakukan optimasi dengan *pbounds* sebagai variabel keputusan, dengan tujuan yaitu meminimasi nilai *joint total expected cost*. Namun pada kode pemrograman optimasi Bayesian yang digunakan, secara umum menggunakan fungsi maksimasi sehingga pada rumus model yang dirancangan diberikan penambahan nilai negatif di awal rumus. Sehingga didapatkan hasil optimal dengan fungsi minimasi.

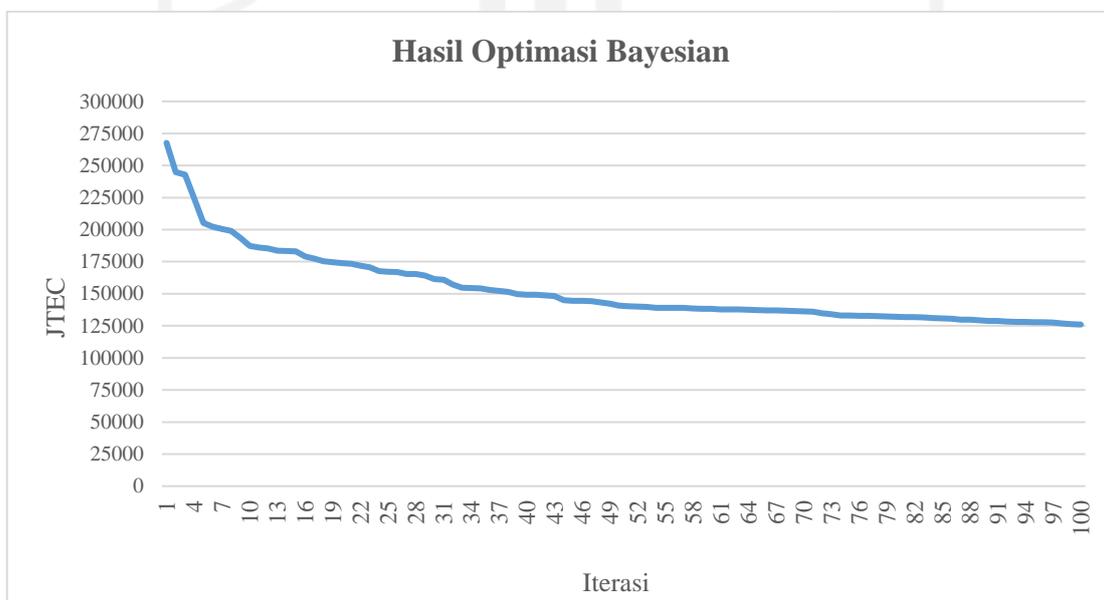
Setelah menjalankan optimasi Bayesian pada *jupyter notebook*, didapatkan hasil minimasi nilai JTEC dalam 100 kali iterasi dengan berbagai angka acak dari variabel keputusan yang dicobakan oleh sistem. Berdasarkan hasil optimasi didapatkan variabel keputusan paling optimal yaitu ukuran lot ( $Q$ ) sebesar 785.46 unit dengan jumlah *batch* produksi ( $m$ ) sebanyak 2 kali dan nilai  $k$  sebesar 1.226, dimana nilai JTEC yang paling rendah pada model skenario 1 ini adalah sebesar \$ 125.995,637.

```
In [9]: print(optimizer.max)
{'target': -125995.63726932561, 'params': {'Q': 785.4596942932627, 'k': 1.225548598262973, 'm': 1.0306167049769517}}
```

```
In [12]: # setelah optimasi
D = np.random.normal(10000,350,10)
Q = 785.46
k = 1.226
m = 2
```

Gambar 5-3. Hasil Optimasi Model Skenario 1

Hasil optimasi pada *jupyter notebook* dapat dilihat pada Gambar 5-3. Begitu pula hasil iterasi optimasi yang menghasilkan berbagai nilai JTEC sebelum mencapai hasil optimal, diringkas dalam sebuah grafik pada Gambar 5-4. Berdasarkan grafik yang ditampilkan, saat optimasi berlangsung dengan mencobakan berbagai angka acak dari variabel keputusan, terlihat bahwa JTEC pernah berada di nilai tertinggi sebesar \$ 267.649,1631. Hasil optimasi berupa seluruh iterasi nilai JTEC dengan percobaan angka acak di seluruh variabel keputusan secara detail dijabarkan pada Lampiran 1.

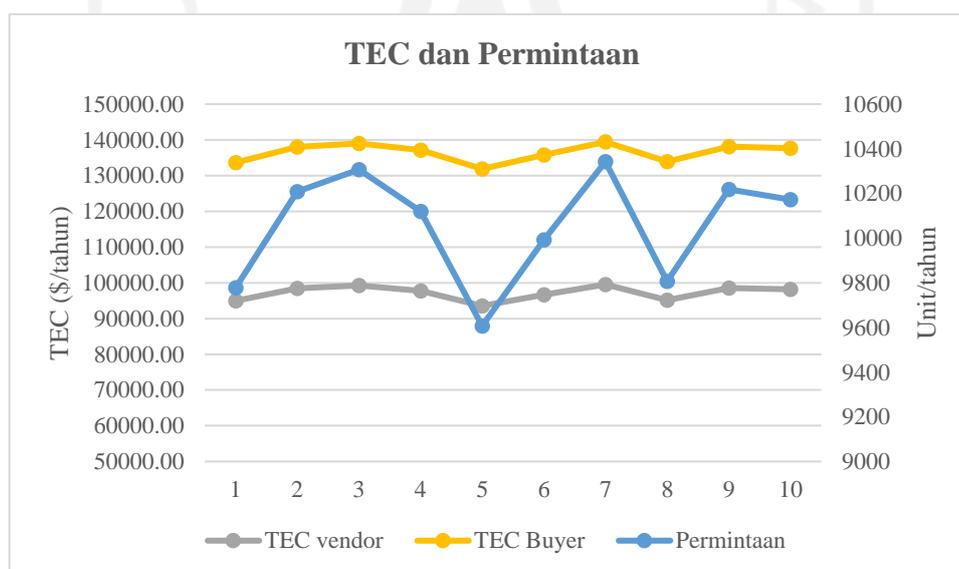


Gambar 5-4. Grafik Hasil Optimasi Bayesian Model Skenario 1

Berdasarkan hasil optimasi kemudian dilakukan perhitungan nilai JTEC, TEC pemasok (*vendor*) dan TEC pembeli (*buyer*) terhadap data jumlah permintaan produk yang sebelumnya diperoleh dari data permintaan probabilistik dengan distribusi normal. Nilai JTEC model skenario 1 terhadap setiap data permintaan dapat dilihat dalam Tabel 5-1 di bawah ini beserta ringkasan dalam bentuk grafik terkait perbandingan nilai TEC pemasok dan beli terhadap jumlah permintaan produk dapat dilihat pada Gambar 5-5. Terlihat bahwa nilai rata-rata *joint total expected* pada model skenario 1 sebesar \$ 136,467.59 dengan *total expected cost* untuk pemasok memiliki rata-rata sebesar \$ 97,200.61 dan *total expected cost* untuk pembeli memiliki rata-rata sebesar \$ 39,266.98.

Tabel 5-1. Nilai JTEC Model Skenario 1

No	Permintaan (unit/tahun)	Hasil Optimasi (\$)		
		JTEC	TEC <sub>v</sub>	TEC <sub>b</sub>
1	9778	133,622.67	94933.21	38689.46
2	10208	138,037.38	98451.73	39585.65
3	10307	139,053.79	99261.81	39791.98
4	10119	137,123.64	97723.48	39400.16
5	9607	131,867.05	93533.99	38333.07
6	9993	135,830.03	96692.47	39137.56
7	10342	139,413.13	99548.20	39864.93
8	9807	133,920.41	95170.51	38749.90
9	10218	138,140.05	98533.55	39606.49
10	10172	137,667.78	98157.15	39510.62
<b>Rata-Rata</b>		<b>136,467.59</b>	<b>97,200.61</b>	<b>39,266.98</b>



Gambar 5-5 Grafik TEC dan Permintaan Model Skenario 1

### 5.3 Hasil Optimasi Model Skenario 2

Berdasarkan rancangan model skenario 2, dilakukan optimasi Bayesian dengan jumlah iterasi sebanyak 100 kali dimana variabel keputusan pada model ini terdiri dari jumlah lot produksi ( $Q$ ), jumlah *batch* produksi ( $m$ ), nilai  $k$ , probabilitas proses produksi tidak terkontrol ( $\theta$ ), biaya pemesanan produk oleh pembeli ( $A$ ), biaya setup produksi oleh pemasok ( $S$ ), dan diskon harga *backorder* ( $\pi_x$ ). Kondisi awal model dimana biaya pemesanan produk ( $A$ ) sebesar \$ 30, biaya setup produksi sebesar \$ 3600, probabilitas terjadinya produksi tidak terkontrol ( $\theta$ ) sebesar 0.0003 dan diskon harga *backorder* sebesar \$ 100 untuk setiap unit.

Setelah menjalankan optimasi Bayesian pada *jupyter notebook*, didapatkan hasil minimasi nilai JTEC dalam 100 kali iterasi dengan berbagai angka acak dari variabel keputusan yang dicobakan oleh sistem. Berdasarkan hasil optimasi didapatkan variabel keputusan paling optimal yaitu ukuran lot ( $Q$ ) sebesar 509.837 unit dengan jumlah *batch* produksi ( $m$ ) sebanyak 1 kali dan nilai  $k$  sebesar 1.60922. Kemudian didapatkan juga biaya pemesanan produk optimal sebesar \$ 24.132, biaya setup produksi sebesar \$ 70.6157, diskon harga *backorder* sebesar \$ 46.3205 per unit dan probabilitas terjadinya produksi tidak terkontrol turun menjadi 0.000004925, dimana nilai JTEC yang paling rendah pada model skenario 2 ini adalah sebesar \$ 44.785,18.

```
In [37]: print(optimizer.max)

{'target': -44785.1800174541, 'params': {'A_i': 24.132357270083176, 'Q': 509.8373251956837, 'S_i': 70.61567920008531, 'k': 1.6092165503975973, 'm': 1.0, 'px': 46.32054259283588, 'te_i': 4.925354636780198e-06}}
```

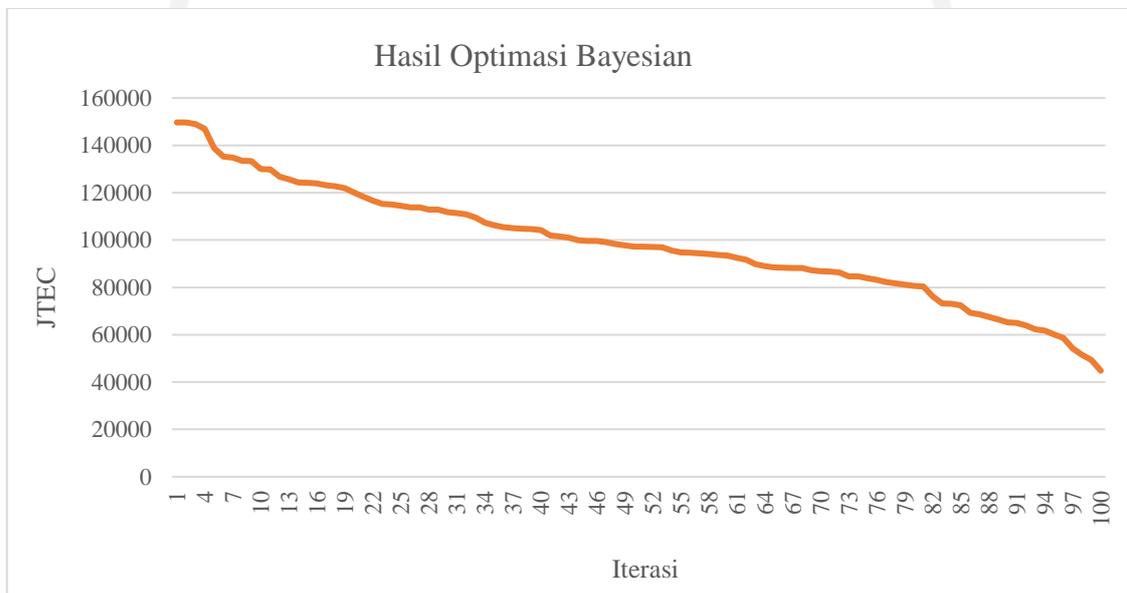
```
In [60]: # setelah optimasi

D = np.random.normal(10000,350,10)
Q = 509.837
k = 1.60922
m = 1

A_i = 24.132
S_i = 70.6157
te_i = 0.000004925
px = 46.3205 # phi x
```

Gambar 5-6. Hasil Optimasi Model Skenario 2

Hasil optimasi model skenario 2 pada *jupyter notebook* dapat dilihat pada Gambar 5-6. Begitu pula untuk hasil berbagai iterasi nilai JTEC saat optimasi sebelum mencapai hasil optimal, diringkas dalam sebuah grafik pada Gambar 5-7 Berdasarkan grafik yang ditampilkan, saat optimasi berlangsung dengan mencobakan berbagai angka acak dari variabel keputusan, terlihat bahwa JTEC pernah berada di nilai tertinggi sebesar \$ 149.672,0841. Hasil optimasi berupa seluruh iterasi nilai JTEC pada model skenario 2 dengan percobaan angka acak di seluruh variabel keputusan secara detail dijabarkan pada Lampiran 2.

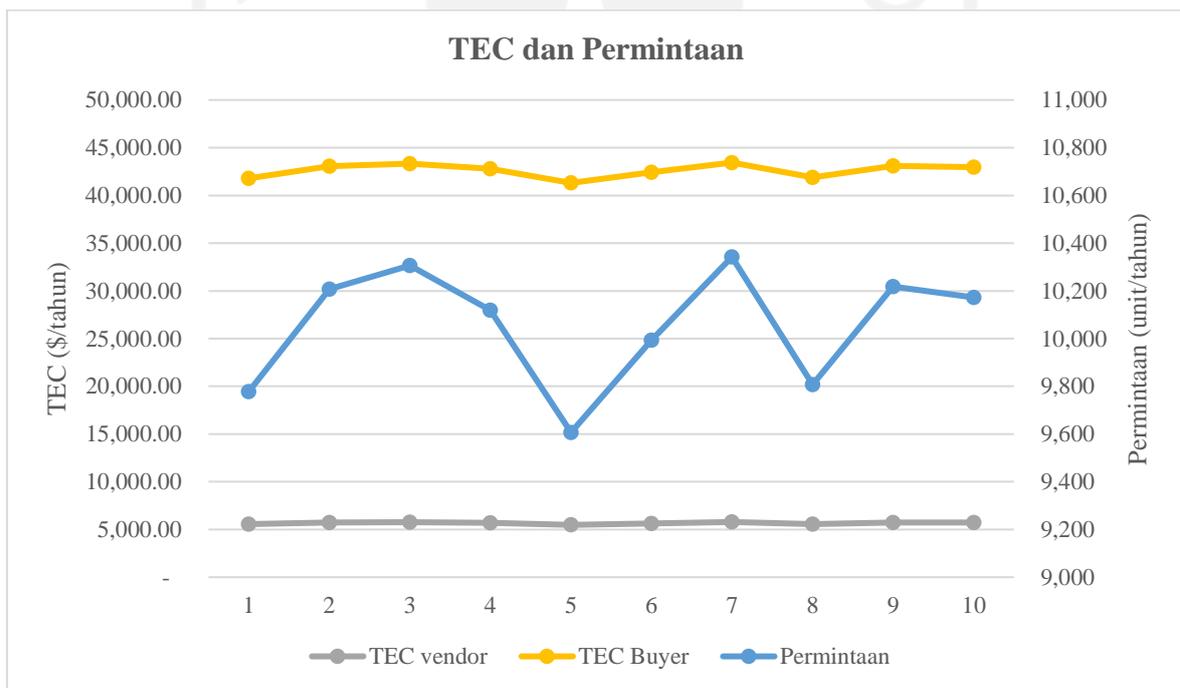


Gambar 5-7. Grafik Hasil Optimasi Bayesian Model Skenario 2

Berdasarkan hasil optimasi kemudian dilakukan perhitungan nilai JTEC, TEC pemasok (*vendor*) dan TEC pembeli (*buyer*) pada model skenario 2, terhadap data jumlah permintaan produk dari data permintaan berdistribusi normal. Nilai JTEC model skenario 2 terhadap setiap data permintaan dapat dilihat dalam Tabel 5-2 di bawah ini beserta ringkasan berbentuk grafik mengenai perbandingan nilai TEC pemasok dan beli terhadap jumlah permintaan produk dapat dilihat pada Gambar 5-6. Terlihat bahwa nilai rata-rata *joint total expected* pada model skenario 2 sebesar \$ 42,607.89 dengan *total expected cost* untuk pemasok memiliki rata-rata sebesar \$ 5,667.53 dan *total expected cost* untuk pembeli memiliki rata-rata sebesar \$ 36,940.37.

Tabel 5-2. Nilai JTEC Model Skenario 2

No	Permintaan (unit/tahun)	Hasil Optimasi (\$)		
		JTEC	TEC <sub>v</sub>	TEC <sub>b</sub>
1	9778	41,803.99	5553.34	36250.65
2	10208	43,051.48	5730.53	37320.95
3	10307	43,338.69	5771.33	37567.36
4	10119	42,793.28	5693.86	37099.42
5	9607	41,307.90	5482.88	35825.02
6	9993	42,427.73	5641.94	36785.80
7	10342	43,440.23	5785.75	37654.48
8	9807	41,888.12	5565.29	36322.83
9	10218	43,080.49	5734.65	37345.84
10	10172	42,947.04	5715.70	37231.34
<b>Rata-Rata</b>		<b>42,607.89</b>	<b>5,667.53</b>	<b>36,940.37</b>



Gambar 5-8. Grafik TEC dan Permintaan Model Skenario 2

#### 5.4 Ringkasan Hasil Optimasi

Setelah melakukan optimasi Bayesian terhadap kedua model terlihat bahwa pada model skenario 1 berada pada kondisi optimal dengan ukuran lot sebesar 785.46 unit dan jumlah *batch* (m) sebanyak 2 kali. Sedangkan pada model skenario 2 dengan ukuran lot sebesar 509.84 unit dan jumlah *batch* (m) sebanyak 1 kali. Kemudian terjadi penurunan probabilitas terjadinya produksi tidak terkontrol ( $\theta$ ) dimana pada model skenario 1 dengan nilai  $\theta$  sebesar 0.0003 di kondisi awal sedangkan pada model skenario 2 berada pada kondisi optimal dengan nilai  $\theta$  sebesar 0.000004925. Ringkasan hasil optimasi pada model skenario 1 dan model skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 5-3 dibawah ini.

Tabel 5-3 Ringkasan Hasil Optimasi

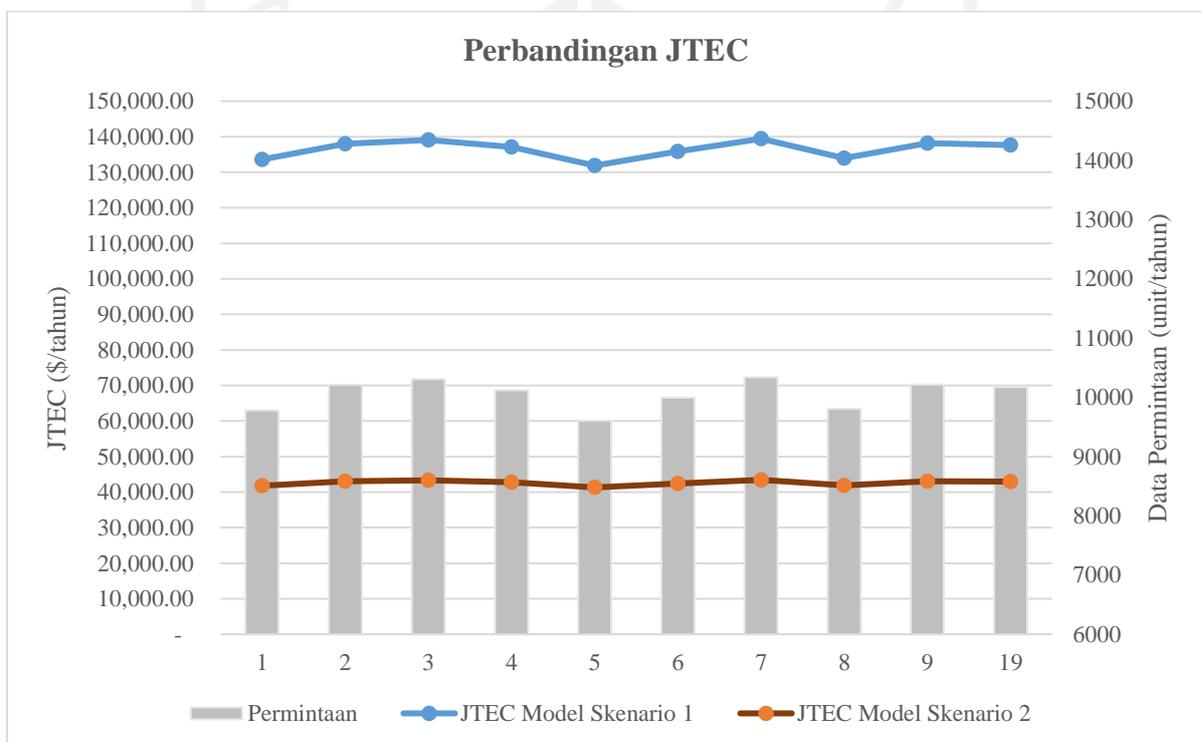
Variabel	Model Skenario 1	Model Skenario 2	Unit
Q	785.46	509.84	Unit
L	28	28	Hari
m	2	1	-
$\theta$	0.0003*	0.000004925	-
$\pi_x$	100*	46.3205	\$/ unit
A	30*	24.132	\$
S	3600*	70.6157	\$
<i>Total Expected Cost Vendor</i>	97,200.61	5,667.53	(\$/tahun)
<i>Total Expected Cost Buyer</i>	39,266.98	36,940.37	(\$/tahun)
<i>Joint Total Expected Cost</i>	136,467.59	42,607.89	(\$/tahun)

\*= kondisi awal

Penurunan angka probabilitas terjadinya proses produksi tidak terkontrol ini dikarenakan pada model skenario 1 perbaikan kualitas yang dilakukan hanya berupa pengerjaan ulang (*rework*) pada produk cacat saja. Sedangkan pada model skenario 2 dilakukan investasi perbaikan kualitas berkelanjutan seperti peningkatan kemampuan pekerja dengan memberikan pelatihan khusus seperti pengadaan workshop. Adanya investasi tersebut diharapkan kemampuan pekerja dapat meningkat dan jumlah produk cacat juga ikut berkurang sehingga biaya yang dikeluarkan pada proses pengerjaan ulang (*rework*) produk dapat dikurangi.

Perbaikan berkelanjutan lainnya yaitu mempertimbangkan diskon harga yang akan ditawarkan kepada pelanggan akhir, ketika ditemukan produk yang cacat dan permintaan pelanggan tidak dapat terpenuhi sesuai dengan waktu yang disepakati. Pada model skenario

2, harga diskon *backorder* yang optimal yang bisa diberikan pembeli kepada pelanggan berada pada harga \$ 46.32 untuk setiap unit nya. Kemudian tahap terakhir pada proses perbaikan berkelanjutan model skenario 2 yaitu dimana pembeli dan pemasok dapat berdiskusi untuk mencapai kesepakatan dalam upaya mengurangi biaya pemesanan dan biaya setup produksi. Hasil optimasi menunjukkan nilai yang paling optimal dimana biaya pemesanan produk oleh pembeli (A) sebesar \$ 24.132 dan biaya setup produksi oleh pemasok sebesar \$ 70.6157 dengan pertimbangan meminimalkan total biaya yang dikeluarkan oleh kedua pihak secara keseluruhan. Berikut grafik perbandingan nilai *joint expected total cost* pada model skenario 1 dan model skenario 2 terhadap data permintaan produk pada Gambar 5-9.



Gambar 5-9. Perbandingan JTEC Model 1 dan 2 Terhadap Data Permintaan

## 5.5 Rekomendasi

Berdasarkan hasil optimasi yang telah dilakukan, peneliti mengusulkan kepada pihak vendor maupun buyer mengenai penerapan variabel keputusan yang optimal. Pihak buyer dan vendor dapat saling kompromi guna menyepakati ukuran lot size pemesanan yang akan diterapkan sehingga *total expected cost* yang dikeluarkan oleh vendor dan buyer tidak

menjadi terlalu tinggi. Sebab pengeluaran biaya yang terlalu tinggi pada JTEC ini dianggap dapat merugikan kedua belah pihak. Selain ukuran lot pemesanan produk, vendor dan buyer juga dapat saling menyepakati jumlah batch produksi serta *lead time* yang optimal. Berdasarkan hasil optimasi model skenario 2 peneliti mengusulkan untuk menggunakan ukuran lot pemesana produk sebanyak 510 produk dengan batch produksi sebanyak 1 kali dan *lead time* selama 28 hari.

Adapun hasil optimasi model skenario 2 menampilkan biaya gabungan atau JTEC yang paling rendah. Dimana pada model ini diasumsikan adanya investasi berupa perbaikan kualitas sistem produksi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan oleh vendor dalam investasi ini adalah mengadakan workshop atau pelatihan khusus guna meningkatkan kemampuan produksi para pekerja. Dengan meningkatnya kemampuan pekerja maka diharapkan proses produksi dapat lebih terkontrol dibandingkan sebelumnya yaitu pada model skenario 1. Investasi perbaikan kualitas lainnya dapat dilakukan dengan mengganti mesin atau alat produksi dengan kualitas yang lebih baik. Solusi ini dapat dilakukan jika sebagian besar produk yang cacat diakibatkan oleh kualitas mesin yang kurang baik. Sehingga akan lebih baik sebelum melakukan investasi perbaikan kualitas, perusahaan diharapkan dapat menganalisa terlebih dahulu faktor-faktor apa saja yang mengakibatkan munculnya produk cacat, kemudian disesuaikan dengan perbaikan kualitas apa yang lebih tepat. Sehingga probabilitas proses produksi tidak terkontrol dapat diturunkan hingga 0.00004925.

Setelah vendor mampu mengontrol proses produksi dengan lebih baik, selanjutnya vendor dan buyer dapat kembali melakukan kompromi terkait diskon harga *backorder*, biaya pemesanan ( $A$ ) dan biaya setup produksi ( $S$ ). Hal ini dikarenakan dengan kondisi produksi yang lebih baik, sangat memungkinkan untuk vendor dan buyer mengurangi kebijakan ketiga kriteria biaya tersebut. Kualitas produksi yang lebih baik membantu vendor untuk lebih efektif dalam melakukan setup produksi serta hasil produksi juga menjadi lebih baik dan tepat waktu. Sehingga peneliti mengusulkan kepada vendor dan buyer untuk menyepakati penurunan harga diskon *backorder* hingga \$ 46.3 per unit, biaya pemesanan hingga \$ 24.1 dan biaya setup produksi hingga \$ 70.6. Solusi ini dianggap dapat memberi keuntungan kepada pihak vendor dan buyer dari segi pengeluaran biaya bersama.

## BAB 6

### Kesimpulan dan Saran

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa algoritma optimasi yang diusulkan yaitu optimasi Bayesian terbukti mampu memberikan solusi optimal dari *joint economic lot size* (JELS) untuk meminimalkan *joint total expected cost* (JTEC). Terlihat bahwa model JELS yang optimal untuk model skenario 1 dimana perbaikan kualitas dilakukan dengan melakukan pengerjaan ulang (*rework*) produk yaitu ukuran lot (Q) sebesar 785.46 unit, jumlah *batch* (m) sebanyak 2 kali, dan *lead time* (L) selama 28 hari. Pada hasil optimasi model ini didapatkan biaya minimal pada *total expected cost* pemasok ( $TEC_v$ ) sebesar \$ 97.200,61 per tahun, *total expected cost* pembeli ( $TEC_b$ ) sebesar \$ 39,266.98 per tahun, dan JTEC sebesar \$ 136.467,59 per tahun.

Kemudian pada model skenario 2 dilakukan investasi perbaikan berkelanjutan seperti peningkatan kemampuan pekerja dengan memberikan pelatihan khusus guna mengurangi probabilitas terjadinya proses produksi tidak terkontrol ( $\theta$ ). Optimasi model ini juga mempertimbangkan kesepakatan biaya pemesanan produk, biaya setup produksi dan diskon harga *backorder* yang optimal. Sehingga model *joint economic lot size* (JELS) yang optimal pada model skenario 2 ini yaitu ukuran lot (Q) sebesar 509.84 unit, jumlah *batch* (m) sebanyak 1 kali, *lead time* (L) selama 28 hari, probabilitas terjadinya proses produksi tidak terkontrol ( $\theta$ ) sebesar 0.000004925, diskon harga *backorder* ( $\pi_x$ ) optimal sebesar \$ 46.3205 per unit, biaya pemesanan produk oleh pembeli (A) sebesar \$ 24.132 dan biaya setup produksi oleh pemasok (S) sebesar \$ 70.6157. Pada hasil optimasi model ini didapatkan biaya minimal pada *total expected cost* pemasok ( $TEC_v$ ) sebesar \$ 5667.53 per tahun, *total expected cost* pembeli ( $TEC_b$ ) sebesar \$ 36,940.37 per tahun, dan JTEC sebesar \$ 42,607.89 per tahun.

## 6.2 Saran

Untuk memperluas penelitian ini, peneliti menyarankan untuk mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi model *joint economic lot size*. Oleh karena itu, sistem rantai pasok akan memiliki jangkauan solusi yang lebih luas. Algoritma optimasi lainnya juga dapat diterapkan untuk mengoptimalkan model baru.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agnihotri, A., & Batra, N. (2020). Exploring Bayesian Optimization. *DISTILL*.
- Altiok, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation Modelling and Analysis with Arena (1st edition)*. Cyber Research, Inc. Enterprise Technology Solution.
- Anshori, M., Isnaini, N. H., & Adriansyah, G. (2021). Joint Economic Lot Sizing at Two Levels of Supply Chain in Food and Beverage Industry. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, (hal. 1893-1897). Sao Paulo.
- Aritonang, K., Nainggolan, M., & Djunaidi, A. V. (2020). Integrated Supply Chain for a Single Vendor and Multiple Buyers and Products with Crashing Lead Time. *International Journal of Technology*, 11(3), 642-651.
- Arvianto, A., Hartini, S., & Pradiyana, O. (2010). Evaluasi Kebijakan Strategi Bisnis Menggunakan Model Joint Economic Lot Size (JELS) Dengan Permintaan Probabilistik. *Jurnal Teknik Industri UNDIP*, 5(2), 85-96.
- Balandat, M., Karrer, B., Jiang, D. R., Daulton, S., Letham, B., Wilson, A. G., & Bakshy, E. (2020). BoTorch: A Framework for Efficient Monte-Carlo Bayesian Optimization. *34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, (hal. 1-34). Vancouver, Canada.
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2004). *Discrete-Event System Simulation (4th edition)*. New Jersey: Prentice Hall.
- Biswas, S., & Giri, B. C. (2019). A Single-vendor Single-buyer Integrated Model for Deteriorating Items with Partial Backlogging and Price-dependent Market Demand. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(1), 254-261.
- Christopher, M. (2016). *Logistics And Supply Chain Management*. New York: Pearson Education.
- Dey, B. K., Sarkar, B., & Pareek, S. (2019). A Two-Echelon Supply Chain Management With Setup Time and Cost Reduction, Quality Improvement and Variable Production Rate. *Mathematics*, 7(328), 1-25.

- Franca, R. B., Jones, E. C., Richards, C. N., & Carlson, J. P. (2010). Multi-Objective Stochastic Supply Chain Modeling To Evaluate Tradeoffs Between Profit And Quality. *Int. J. Production Economics*, 127, 292-299.
- Frazier, P. E. (2018). Bayesian Optimization. *Tutorial in Operation Research (INFORMS)*, 255-277.
- Fu, Y.-C., & Yeh, C.-W. (2017). An integrated producer–buyer supply chain with delivery cost under stochastic transportation time. *Applied Mathematical Modelling*, 44, 676-687.
- Gholami, A., Pasandideh, S. H., & Abolfazl, M. (2017). Joint inventory-production inventory model with defective items, uncertain demand and allowable shortage. *International Journal Mathematics in Operational Research*, 11(3), 357-367.
- Guchait, R., Dey, B. K., Bhuniya, S., Ganguly, B., Mandal, B., Bachar, R. K., . . . Chaudhuri, K. (2020). Investment For Process Quality Improvement And Setup Cost Reduction in An Imperfect Production Process With Warranty Policy And Shortages. *RAIRO - Operations Research*, 54, 251-266.
- Herjanto, E. (2004). *Manajemen Produksi dan Operasi (Edisi kedua)*. Jakarta: Grasindo.
- Jindal, P., & Solanki, A. (2016). Integrated Supply Chain Inventory Model with Quality Improvement Involving Controllable Lead Time and Backorder Price Discount. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 7(3), 463-480.
- Kumar, M., Chauhan, A., Singh, S. J., & Sahni, M. (2020). An Inventory Model on Preservation Technology with Trade Credits under Demand Rate Dependent on Advertisement, Time and Selling Price. *Universal Journal of Accounting and Finance*, 8(3), 65-74.
- Latha, K. M., Kumar, M. G., & Uthayakumar, R. (2021). Two Echelon Economic Lot Sizing Problems With Geometric Shipment Policy Backorder Price Discount and Optimal Investment to Reduce Ordering Cost. *OPSEARCH*.
- Law, A. (2007). *Simulation Modelling and Analysis (4th edition, series 1)*. McGraw-Hill.
- Lee, W. (2005). A Joint Economic Lot Size Model For Raw Material Ordering, Manufacturing Setup, and Finished Goods Delivering. *OMEGA*, 33, 163-174.
- Li, G., Kang, Y.-c., & Xu, G. (2015). Optimal Decision for Fashion Supply Chains with Service Level Constraint and Controllable Lead Time. *Mathematical Problems in Engineering*, 1-9.

- Loucks, D. P., Stedinger, J. R., & Haith, D. A. (1981). *Water Resource Systems Planning and Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall. Inc.
- Majumder, A., Jaggi, C. K., & Sarkar, B. (2018). A Multi Retailer Supply Chain Model With Backorder and Variable Production Cost. *RAIRO Operations Research*, 52, 943-958.
- Marchi, B., Ries, J. M., Zaroni, S., & Glock, C. H. (2016). A Joint Economic Lot Size Model With Financial Collaboration and Uncertain Investment Opportunity. *International Journal of Production Economics*, 176, 170-182.
- Nashrulhaq, M. I., Nugraha, C., & Imran, A. (2014). Model Simulasi Sistem Antrean Elevator. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 2(1), 121-131.
- Porteus, E. L. (1986). Optimal Lot Sizing, Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction. *Operations Research*, 34(1), 137-144.
- Pruthi, K. I. (2017). Inventory Management Process: A Review. *UNIVERSAL RESEARCH REPORT*, 4(12), 103-107.
- Rad, M. A., Khoshalhan, F., & Setak, M. (2014). Supply Chain Single Vendor – Single Buyer Inventory Model with Price - Dependent Demand. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 7(4), 733-748.
- Rasay, H., & Golmohammadi, A. M. (2020). Modeling and Analyzing Incremental Quantity Discounts in Transportation Costs for a Joint Economic Lot Sizing Problem. *Iranian Journal of Management Studies (IJMS)*, 13(1), 23-49.
- Saleh, C. (2006). Simulasi Penentuan Titik Pertemuan Sistem Manufaktur Bertingkat Push dan Pull. *Jurnal TEKNOIN*, 11(1), 1-12.
- Sarkar, B., & Majumder, A. (2013). Integrated vendor–buyer supply chain model with vendor’s setup cost reduction. *Applied Mathematics and Computation*, 224, 362-371.
- Sarkar, B., Mandal, B., & Sarkar, S. (2015). Quality Improvement and Backorder Price Discount Under Controllable Lead Time in An Inventory Model. *Journal of Manufacturing Systems*(35), 26 - 36.
- Siswanto. (2007). *Operation Research (Jilid 2)*. Jakarta: Erlangga.
- Snoek, J., Larochelle, H., & Adams, R. P. (2012). Practical Bayesian optimization of machine learning algorithms. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2951-2959.

- Stanton, D. (2021). *Supply Chain Management For Dummies, 2nd Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Sugiarto, F., & Buliali, J. (2012). Implementasi Simulasi Sistem Untuk Optimasi Proses Produksi Pada Perusahaan Pengalengan Ikan. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 236-241.
- Sulaiman, F., & Nanda. (2015). Pengendalian Persediaan Bahan Baku Dengan Menggunakan Metode EOQ Pada UD. Adi Mebel. *Jurnal Teknovasi*, 2(1), 1-11.
- Suseno, & Al Faritsy, A. Z. (2018). Aplikasi Model Joint Economic Lot Size (JELS) dan Quantity Discount Dalam Kerjasama Penentuan Lot Pemesanan Antara Produsen dan Konsumen. *Jurnal Teknik Industri UNDIP*, 13(3), 151-162.
- Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T., & Wee, H.-M. (2013). Joint Single Vendor Single Buyer Supply Chain Problem with Stochastic Demand and Fuzzy Lead-Time. *Knowledge-Based System*, 1-18.
- Tiwari, S., Kazemi, N., Modak, N. M., Cardenas-Barton, L. E., & Sarkar, S. (2020). THE Effect of Human Errors on A Integrated Stochastic Supply Chain Model With Setup Cost Reduction And Backorder Price Discount. *International Journal of Production Economics*, 226(107643).
- Tiwari, S., Sana, S. S., & Sarkar, S. (2018). Joint Economic Lot Sizing Model with Stochastic Demand and Controllable Lead-Time by Reducing Ordering Cost and Setup Cost. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 112(4), 1075-1099.
- Trenggonowati, D. L. (2015). ptimasi Proses Produksi dengan Menggunakan Pendekatan Simulasi Sistem. *Jurnal PASTI*, XI(1), 1-12.
- Tyas, D. S., & Anshori, M. (2018). Penerapan Model Joint Economic Lot Size Pada PT. MPX Antara Pemanufaktur dan Multi Pembeli Dengan Permintaan Probabilistik. *Journal Of Industrial And Systems Optimization*, 1(1), 23-28.
- Vijayashree, M., & Uthayakumar, R. (2015). Integrated Inventory Model with Controllable Lead Time Involving Investment for Quality Improvement in Supply Chain System. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2(1), 617-639.
- Wangsa, I. D., & Wee, H. M. (2017). An Integrated Vendor-Buyer Inventory Model With Transportation Cost and Stochastic Demand. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 5(4), 295-309.

# LAMPIRAN 1

iter	target	Q	k	m
1	-1.385e+0	562.8	2.441	1.0
2	-1.349e+0	476.7	1.294	1.369
3	-1.389e+0	389.7	1.691	2.587
4	-1.853e+0	654.1	1.838	3.741
5	-1.571e+0	403.3	2.756	1.11
6	-1.836e+0	752.9	1.835	3.235
7	-1.545e+0	355.3	1.396	4.203
8	-2.448e+0	976.2	1.627	3.769
9	-1.332e+0	907.3	2.789	1.34
10	-1.547e+0	279.3	1.34	4.513
11	-1.615e+0	323.8	1.842	4.832
12	-1.433e+0	649.9	2.384	2.262
13	-1.277e+0	764.9	2.669	1.073
14	-2.239e+0	812.6	2.978	3.993
15	-1.378e+0	460.3	2.579	1.413
16	-1.383e+0	585.9	2.817	2.174
17	-1.449e+0	465.8	1.26	1.077
18	-1.445e+0	759.1	1.423	2.062
19	-1.654e+0	618.7	1.107	3.296
20	-1.515e+0	360.0	2.179	3.799
21	-1.389e+0	907.5	2.631	1.544
22	-1.492e+0	762.9	1.651	2.197
23	-1.372e+0	904.6	2.19	1.499
24	-1.282e+0	768.1	3.0	1.0
25	-2.429e+0	767.2	3.0	4.705
26	-1.264e+0	766.5	1.407	1.11
27	-1.481e+0	473.8	2.197	1.026
28	-1.747e+0	476.3	1.0	4.56
29	-1.37e+05	462.9	1.075	2.578
30	-1.832e+0	459.9	1.637	4.987
31	-1.409e+0	463.3	2.984	1.265
32	-1.491e+0	479.4	3.0	1.0
33	-2.004e+0	588.1	1.717	4.651
34	-1.309e+0	583.1	1.884	1.696
35	-1.937e+0	581.6	2.772	4.428
36	-1.269e+0	770.2	1.512	1.197
37	-1.281e+0	772.4	3.0	1.0
38	-1.521e+0	773.7	1.0	2.302
39	-1.874e+0	564.1	2.216	4.332
40	-1.391e+0	559.6	2.986	1.0
41	-1.541e+0	386.5	2.269	3.878
42	-1.671e+0	392.5	2.277	4.669
43	-1.755e+0	465.7	2.531	4.531
44	-2.676e+0	904.4	2.726	4.537
45	-1.298e+0	584.9	1.319	1.236
46	-1.364e+0	557.0	1.0	1.0
47	-1.707e+0	557.6	1.833	3.748
48	-1.318e+0	553.4	1.146	1.188
49	-1.319e+0	551.6	2.995	1.696
50	-1.37e+05	550.1	1.0	1.0
51	-1.791e+0	551.4	1.115	4.183
52	-1.382e+0	546.5	1.883	1.037

53	-1.326e+0	554.9	2.908	1.808
54	-1.378e+0	543.1	1.0	1.0
55	-1.643e+0	544.2	3.0	3.526
56	-1.324e+0	646.2	2.384	1.716
57	-2.052e+0	646.9	2.199	4.397
58	-1.327e+0	644.0	3.0	1.0
59	-1.275e+0	644.7	1.119	1.178
60	-1.379e+0	641.6	1.158	2.126
61	-1.33e+05	639.1	3.0	1.0
62	-1.989e+0	638.8	2.992	4.236
63	-1.329e+0	540.3	2.849	1.327
64	-1.312e+0	537.8	1.294	1.319
65	-1.676e+0	538.7	2.599	3.702
66	-1.306e+0	534.9	1.606	1.569
67	-1.34e+05	532.1	2.262	2.002
68	-1.861e+0	534.2	1.441	4.535
69	-1.32e+05	528.8	2.808	1.625
70	-1.497e+0	529.3	1.035	3.082
71	-1.368e+0	525.7	2.271	1.158
72	-1.719e+0	526.4	3.0	3.949
73	-1.376e+0	522.4	2.649	1.147
74	-1.403e+0	519.7	1.0	1.0
75	-1.669e+0	520.1	2.279	3.787
76	-1.299e+0	770.5	2.979	1.36
77	-1.366e+0	515.3	1.165	1.125
78	-1.398e+0	512.0	1.018	1.033
79	-1.74e+05	513.2	2.32	4.134
80	-1.316e+0	507.6	1.49	1.523
81	-1.422e+0	504.8	1.0	1.0
82	-1.734e+0	506.8	1.313	4.226
83	-1.36e+05	537.0	2.924	1.164
84	-1.53e+05	456.6	3.0	1.0
85	-1.442e+0	509.2	2.709	1.011
86	-1.391e+0	500.5	1.806	1.147
87	-1.488e+0	497.7	2.604	3.027
88	-1.772e+0	501.0	2.807	4.345
89	-1.289e+0	647.8	1.008	1.046
90	-1.445e+0	494.5	1.984	1.033
91	-1.833e+0	493.2	1.233	4.762
92	-1.401e+0	365.7	2.062	2.21
93	-1.655e+0	368.1	1.386	4.88
94	-1.608e+0	363.1	2.195	1.21
95	-1.293e+0	780.3	2.365	1.33
96	-1.279e+0	782.9	3.0	1.0
97	-2.022e+0	781.9	3.0	3.59
98	-1.289e+0	777.7	2.402	1.301
99	-1.281e+0	785.7	2.946	1.186
100	-1.26e+05	785.5	1.226	1.031

## LAMPIRAN 2

iter m	target px	A_i te_i	Q	S_i	k
1	-5.754e+0	24.17	610.2	50.41	1.302
1.587	54.62	7.622e-0			
2	-1.323e+0	23.46	448.4	1.963e+0	1.419
3.741	60.22	0.000266			
3	-9.408e+0	20.27	585.2	1.531e+0	1.559
1.562	59.91	0.000245			
4	-8.796e+0	29.68	406.7	2.508e+0	1.876
4.578	54.25	3.574e-0			
5	-1.766e+0	21.7	689.1	399.1	1.421
4.832	76.66	0.000215			
6	-1.528e+0	23.16	593.3	3.013e+0	1.018
4.001	99.44	0.000230			
7	-1.176e+0	22.8	644.6	416.5	1.448
4.634	64.68	0.000104			
8	-1.088e+0	21.3	259.7	2.46e+03	1.212
2.062	74.58	3.967e-0			
9	-1.141e+0	25.74	323.4	2.142e+0	1.7
1.409	70.7	0.000216			
10	-1.072e+0	24.14	275.0	1.952e+0	1.664
3.06	97.23	0.000186			
11	-9.447e+0	29.03	318.7	544.4	1.807
2.591	58.27	0.000280			
12	-1.12e+05	23.48	625.4	2.627e+0	1.883
3.495	87.55	0.000120			
13	-9.394e+0	22.7	697.9	1.57e+03	1.965
3.654	81.08	5.656e-0			
14	-9.601e+0	29.49	475.0	2.103e+0	1.408
1.948	95.17	0.000182			
15	-1.681e+0	20.03	558.6	1.21e+03	1.527
4.544	67.86	0.000274			
16	-1.073e+0	26.23	257.9	3.35e+03	1.691
4.989	58.62	6.271e-0			
17	-1.404e+0	29.33	598.4	284.3	1.755
4.016	96.15	0.000220			
18	-7.175e+0	21.24	259.9	143.0	1.028
1.985	93.0	0.000173			
19	-1.203e+0	25.53	671.0	490.8	1.279
3.343	98.48	0.000179			
20	-1.134e+0	20.19	650.3	877.1	1.807
2.551	93.18	0.000230			
21	-9.324e+0	28.73	279.9	1.95e+03	1.43
3.803	98.06	7.215e-0			
22	-4.655e+0	20.0	597.0	50.0	1.487
1.0	62.66	4.1e-05			
23	-6.655e+0	22.05	596.1	73.41	1.526
1.025	63.89	0.000276			
24	-1.647e+0	21.01	567.4	55.02	1.572
4.653	64.17	0.000261			
25	-1.238e+0	25.57	410.1	2.505e+0	1.1
3.354	53.79	0.000260			

26	-5.194e+0	28.83	619.9	61.22	1.192	
1.551	54.71	3.573e-0				
27	-5.793e+0	29.25	669.1	76.93	1.894	
1.021	75.44	0.000147				
28	-5.789e+0	24.45	605.9	59.1	1.717	
2.195	77.44	2.564e-0				
29	-7.435e+0	26.29	664.3	2.262e+0	1.33	
2.176	54.55	2.876e-0				
30	-7.427e+0	27.21	604.9	70.45	1.857	
2.687	52.99	7.745e-0				
31	-1.656e+0	28.26	638.7	2.597e+0	1.751	
4.435	50.34	0.000219				
32	-1.026e+0	28.28	545.7	2.229e+0	1.549	
3.392	81.92	0.00012				
33	-6.552e+0	21.37	746.5	1.118e+0	1.677	
1.507	86.08	4.664e-0				
34	-1.126e+0	26.0	379.2	3.069e+0	1.532	
2.348	93.55	0.000192				
35	-5.729e+0	25.81	626.0	50.16	1.326	
1.817	69.48	4.881e-0				
36	-1.48e+05	22.37	488.0	1.052e+0	1.948	
4.606	93.32	0.000248				
37	-8.657e+0	23.48	634.0	76.83	1.442	
3.765	60.23	6.119e-0				
38	-1.222e+0	22.62	459.6	1.22e+03	1.15	
4.774	54.2	0.000170				
39	-9.197e+0	25.66	540.4	1.848e+0	1.625	
1.053	63.03	0.000195				
40	-1.245e+0	29.64	296.2	2.425e+0	1.822	
3.676	77.02	0.000263				
41	-6.944e+0	25.22	607.5	55.89	1.264	
2.202	63.67	9.35e-05				
42	-1.014e+0	29.8	624.5	69.1	1.437	
4.026	73.14	9.594e-0				
43	-8.92e+04	22.84	470.7	900.6	1.737	
2.968	86.82	0.000139				
44	-1.306e+0	26.6	627.2	1.697e+0	1.25	
4.025	63.96	0.000165				
45	-1.144e+0	22.48	556.8	1.458e+0	1.885	
3.5	60.59	0.000172				
46	-9.888e+0	21.37	287.8	996.3	1.939	
3.212	75.39	0.000214				
47	-1.202e+0	22.37	476.4	1.863e+0	1.124	
3.305	73.34	0.000239				
48	-7.74e+04	23.39	324.1	808.8	1.012	
1.544	90.6	0.000157				
49	-1.457e+0	27.61	581.2	674.7	1.821	
3.559	57.44	0.000285				
50	-1.152e+0	21.4	670.2	73.59	1.407	
4.516	81.73	9.745e-0				
51	-1.056e+0	20.41	289.2	2.933e+0	1.508	
3.951	57.91	0.000103				
52	-1.585e+0	25.02	565.7	3.557e+0	1.726	
3.524	92.66	0.000289				
53	-7.734e+0	28.72	619.3	772.6	1.4	
1.841	62.81	0.000139				
54	-6.762e+0	22.02	657.0	625.1	1.515	
1.617	76.19	9.712e-0				

55	-5.525e+0	22.08	658.6	87.28	1.002	
1.216	63.52	9.863e-0				
56	-5.572e+0	23.47	670.5	90.87	1.975	
1.481	60.71	5.551e-0				
57	-8.938e+0	27.15	250.8	1.421e+0	1.363	
3.419	70.88	7.382e-0				
58	-7.467e+0	22.26	729.7	375.3	1.414	
1.738	76.67	0.000127				
59	-7.933e+0	28.72	308.5	1.247e+0	1.63	
1.888	80.58	3.427e-0				
60	-9.177e+0	24.07	254.2	1.833e+0	1.911	
4.173	86.09	4.32e-05				
61	-1.136e+0	24.3	263.1	1.246e+0	1.591	
3.507	80.5	0.000289				
62	-1.107e+0	28.77	260.9	1.704e+0	1.426	
2.713	72.94	0.000262				
63	-9.394e+0	24.43	548.1	2.339e+0	1.939	
1.221	66.59	0.000142				
64	-1.472e+0	27.65	695.6	142.8	1.797	
4.856	82.94	0.000146				
65	-1.029e+0	21.53	697.6	3.572e+0	1.96	
4.254	55.89	4.184e-0				
66	-7.064e+0	23.88	658.7	106.2	1.682	
1.167	59.53	0.000243				
67	-1.837e+0	21.59	669.9	68.09	1.859	
4.179	61.24	0.000294				
68	-9.838e+0	20.42	603.9	61.78	1.738	
4.982	54.82	5.484e-0				
69	-1.373e+0	25.93	656.7	100.3	1.693	
4.251	52.84	0.000172				
70	-8.821e+0	26.14	376.8	679.3	1.163	
3.268	80.35	0.000155				
71	-1.175e+0	26.7	617.9	51.38	1.015	
3.504	68.24	0.000185				
72	-8.461e+0	23.03	445.9	3.175e+0	1.016	
2.762	90.21	2.541e-0				
73	-1.508e+0	24.99	607.0	458.1	1.343	
3.553	71.18	0.000294				
74	-1.223e+0	24.81	738.8	3.099e+0	1.548	
4.09	62.84	9.291e-0				
75	-1.064e+0	25.65	722.6	2.985e+0	1.997	
3.321	64.92	8.547e-0				
76	-9.591e+0	21.46	383.6	1.217e+0	1.599	
1.759	93.17	0.000297				
77	-9.188e+0	25.7	620.1	3.539e+0	1.252	
2.918	73.7	5.586e-0				
78	-1.096e+0	27.39	672.3	1.972e+0	1.218	
2.713	72.69	0.000166				
79	-1.18e+05	23.39	578.2	3.54e+03	1.108	
1.192	54.02	0.000224				
80	-8.946e+0	22.86	669.9	1.084e+0	1.014	
4.366	99.4	3.315e-0				
81	-1.722e+0	21.13	609.3	355.9	1.881	
4.512	98.54	0.000265				
82	-1.161e+0	26.42	326.9	1.752e+0	1.351	
1.0	74.13	0.000247				
83	-1.158e+0	20.79	357.5	757.5	1.68	
3.559	66.1	0.000293				

84	-5.661e+0	21.36	599.5	59.7	1.435	
1.044	63.18	0.000154				
85	-1.48e+05	25.66	548.0	1.688e+0	1.666	
4.301	99.08	0.000229				
86	-5.755e+0	24.69	600.9	51.21	1.25	
1.0	58.81	0.000181				
87	-7.381e+0	22.96	472.9	901.9	1.761	
2.365	87.4	8.692e-0				
88	-5.477e+0	24.36	600.4	62.5	1.606	
1.231	74.46	9.436e-0				
89	-9.08e+04	26.66	603.9	62.59	1.058	
4.53	69.5	5.255e-0				
90	-9.026e+0	23.3	591.8	63.76	1.279	
3.268	82.78	0.000111				
91	-8.079e+0	24.57	660.7	98.18	1.02	
3.474	66.68	5.21e-05				
92	-8.428e+0	28.22	601.2	55.04	1.003	
2.895	86.88	0.000112				
93	-1.182e+0	25.33	633.9	50.83	1.849	
3.642	70.41	0.000166				
94	-1.305e+0	28.16	666.7	95.15	1.611	
4.175	62.66	0.000155				
95	-8.29e+04	25.22	618.9	67.11	1.594	
2.308	51.92	0.000149				
96	-8.868e+0	22.5	619.3	64.08	1.632	
3.567	56.02	8.013e-0				
97	-1.19e+05	22.57	652.9	89.61	1.815	
3.073	63.57	0.000211				
98	-6.297e+0	22.27	671.1	83.66	1.499	
2.242	56.57	4.143e-0				
99	-6.702e+0	23.97	620.8	56.6	1.789	
1.025	53.92	0.000270				
100	-8.415e+0	28.92	668.4	84.48	1.962	
2.115	59.97	0.000159				

