

TESIS

**Pengembangan Model Persediaan
Economic Order Quantity (EOQ) dengan Memperhatikan
Aspek Emisi Karbon, *Imperfect Product*, *Backordering* dan
*Discount***



Bellachintya Reira Christata

No. Mhs: 195603031/PS/MTI

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2021

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis Berjudul

PENGEMBANGAN MODEL PERSEDIAAN ECONOMIC ORDER QUANTITY (EOQ) DENGAN MEMPERHATIKAN ASPEK EMISI KARBON, IMPERFECT PRODUCT, BACKORDERING DAN DISCOUNT

yang disusun oleh

BELLACHINTYA REIRA CHRISTATA

195603031

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 21 Januari 2021

Keterangan

Dosen Pembimbing 1 : Yosef Daryanto, S.T., M.Sc., Ph. D. Telah menyetujui

Dosen Pembimbing 2 : Yosef Daryanto, S.T., M.Sc., Ph. D. Telah menyetujui

Tim Penguji

Penguji 1 : Yosef Daryanto, S.T., M.Sc., Ph. D. Telah menyetujui

Penguji 2 : Dr. Yosephine Suharyanti, ST., M.T. Telah menyetujui

Penguji 3 : Ririn Diar Astanti, ST. M.MT.Dr.Eng. Telah menyetujui

Yogyakarta, 21 Januari 2021

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Fakultas Teknologi Industri

Dekan

ttd

Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc.

PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Bellachintya Reira Christata

NPM : 1956 03031

Dengan ini menyatakan bahwa tesis saya dengan judul "Pengembangan Model Persediaan Economic Order Quantity (EOQ) dengan Memperhatikan Aspek Emisi Karbon, Imperfect Product, Backordering dan Discount" merupakan hasil penelitian saya pada Tahun Akademik 2020/2021 yang bersifat original dan tidak mengandung plagiasi dari karya manapun.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Magister yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 21 Januari 2021

Yang menyatakan,



Bellachintya Reira Christata

HALAMAN PERSEMBAHAN

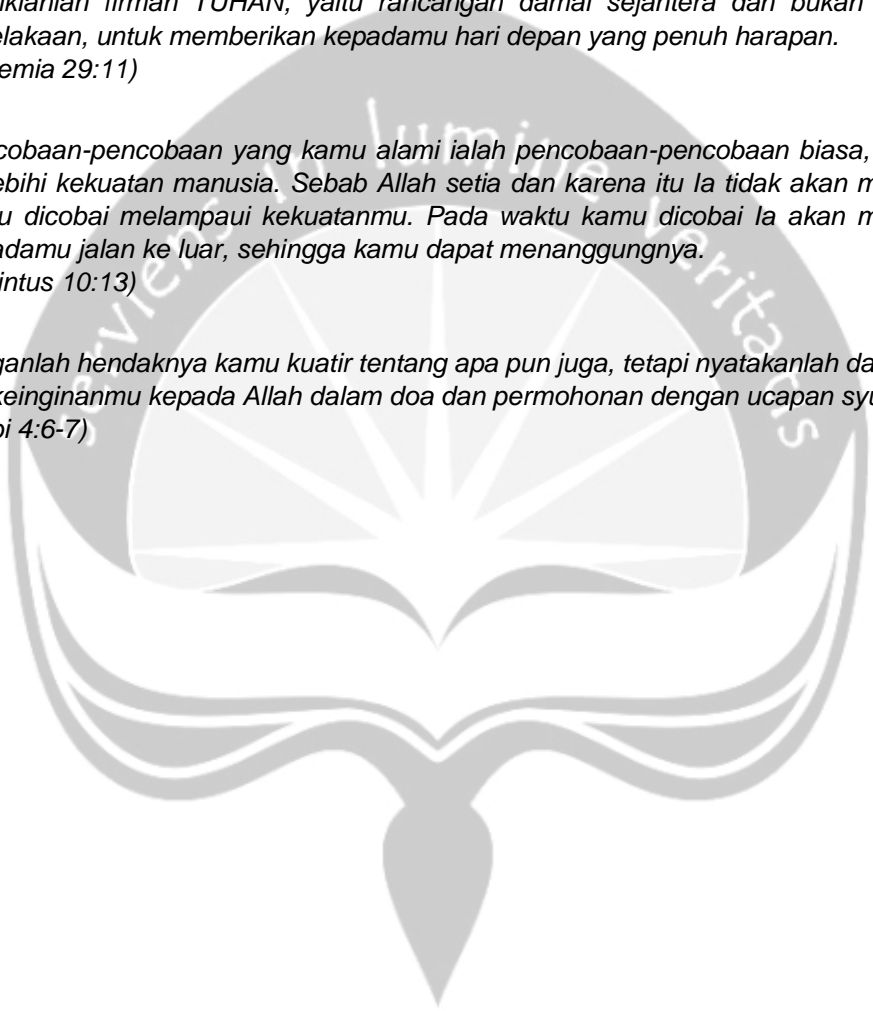
*Segala perkara dapat ku tanggung di dalam Dia yang memberikan kekuatan kepadaku.
(Filipi 4 :13)*

*Sebab itu janganlah kamu kuatir akan hari besok, karena hari besok mempunyai kesusahannya sendiri. Kesusahan sehari cukuplah untuk sehari
(Matius 6:34)*

*Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman TUHAN, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan, untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan.
(Yeremia 29:11)*

*Pencobaan-pencobaan yang kamu alami ialah pencobaan-pencobaan biasa, yang tidak melebihi kekuatan manusia. Sebab Allah setia dan karena itu Ia tidak akan membiarkan kamu dicobai melampaui kekuatanmu. Pada waktu kamu dicobai Ia akan memberikan kepadamu jalan ke luar, sehingga kamu dapat menanggungnya.
(Korintus 10:13)*

*Janganlah hendaknya kamu kuatir tentang apa pun juga, tetapi nyatakanlah dalam segala hal keinginanmu kepada Allah dalam doa dan permohonan dengan ucapan syukur.
(Filipi 4:6-7)*



KATA PENGANTAR

Puji Syukur ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas anugrah-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tesis ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Laporan tesis ini ditulis untuk memenuhi syarat kelulusan derajat Magister Teknik Industri pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu, dan memberikan masukan, sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Ibu Ririn Diar Astanti, S.T., MMT., Dr. Eng, selaku Kepala Departemen Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Dr. Parama Kartika Dewa, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Yosef Daryanto, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyusun Tesis ini.
5. Dosen-dosen Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta
6. Reira's Family (Papa, Mama, Kakak, Mbak Sifra, dan Snowy) yang telah memberikan dukungan, dan semangat dalam penyusunan tesis ini.
7. Teman – teman Magister Teknik Industri Gasal 2019/2020 (Mas Adit, Kak Sarry, Sarra, Mas Erik, dan Kak Shiro) yang bersama-sama saling mendukung dan memberikan masukan dalam penyusunan tesis ini.
8. Mutiara Dicinta, Agrienta Bellanov, dan Andre Wicaksono yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih terdapat kekurangan, oleh sebab itu penulis mohon maaf. Penulis ucapkan selamat membaca, silahkan mengambil hal-hal yang positif dari laporan ini, sebagai bahan referensi maupun menambah pengetahuan

Yogyakarta, 21 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

BAB	JUDUL	HAL
	Halaman Judul	i
	Halaman Pengesahan	ii
	Pernyataan Originalitas	iii
	Halaman Persembahan	iv
	Kata Pengantar	v
	Daftar Isi	vi
	Daftar Gambar	viii
	Daftar Tabel	ix
	Daftar Lampiran	xi
	Intisari	xii
	<i>Abstract</i>	xiii
1	Pendahuluan	
	1.1. Latar Belakang	1
	1.2. Perumusan Masalah	3
	1.3. Tujuan Penelitian	3
	1.4. Batasan Masalah	3
	1.5. Sistematika Penulisan	4
2	Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori	
	2.1. Tinjauan Pustaka	5
	2.2. Dasar Teori	13
3	Metodologi Penelitian	
	3.1. Kerangka Konsep	19
	3.2. Desain Penelitian	20

4	Pengembangan Model EOQ Tanpa Diskon	
4.1.	Model <i>EOQ</i> dengan <i>Full Backorder</i>	28
4.2.	Model <i>EOQ</i> dengan <i>Partial Backorder</i>	40
5	Pengembangan Model EOQ dengan Diskon	
5.1.	Model <i>EOQ</i> dengan <i>Full Backorder</i> dan <i>All Unit Discount</i>	51
5.2.	Model <i>EOQ</i> dengan <i>Partial Backorder</i> dan <i>All Unit Discount</i>	59
6	Pembahasan	
6.1.	Pembahasan	67
6.2.	Peran <i>Business Analytics</i> dalam Sistem Inventori	68
7	Kesimpulan dan Saran	
7.1.	Kesimpulan	72
7.2.	Saran	72
	Daftar Pustaka	73
	Lampiran	80

DAFTAR GAMBAR

2.1.	Pola dari Level Persediaan dalam Waktu	14
2.2.	Satu Siklus Persediaan	14
3.1.	Kerangka Konsep	19
3.2.	Diagram Alir Metodologi Penelitian	21
3.3.	Tahap Pendahuluan	22
3.4.	Langkah Implementasi Model	25
3.5.	Tahap Analisis Sensitivitas	26
4.1.	Grafik Model Persediaan dengan Item Cacat dan <i>Full Backorder</i>	28
4.2.	Grafik Perubahan D_1 terhadap b^*	34
4.3.	Grafik Model Persediaan dengan Item Cacat dan <i>Partial Backordering</i>	40
L3.1	Grafik perubahan D_1 terhadap b^*	120
L3.2	Grafik perubahan C_o terhadap b^*	120
L3.3	Grafik perubahan C_b terhadap b^*	121
L3.4	Grafik perubahan C_{h1} terhadap b^*	121
L3.5	Grafik perubahan C_d terhadap b^*	122
L3.6	Grafik perubahan D_1 terhadap y^*	122
L3.7	Grafik perubahan C_o terhadap y^*	123
L3.8	Grafik perubahan C_b terhadap y^*	123
L3.9	Grafik perubahan C_{h1} terhadap y^*	124
L3.10	Grafik perubahan C_d terhadap y^*	124
L3.11	Grafik perubahan D_1 terhadap $ETPU$	125
L3.12	Grafik perubahan C_p terhadap $ETPU$	125
L3.13	Grafik perubahan p_p terhadap $ETPU$	126

DAFTAR TABEL

2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang	8
2.2.	Uji Concavity	17
4.1.	Hasil Model <i>EOQ</i> dengan <i>Full Backorder</i>	33
4.2.	Analisis Sensitivitas Model <i>EOQ</i> dengan <i>Full Backorder</i>	35
4.3.	Hasil Model <i>EOQ</i> dengan <i>Partial Backorder</i>	44
4.4.	Analisis Sensitivitas Model <i>EOQ</i> dengan <i>Partial Backorder</i>	46
5.1.	Ketentuan Pemberian Diskon	52
5.2.	Iterasi 1 Langkah 1	53
5.3.	Iterasi 1 Langkah 2	53
5.4.	Iterasi 2 Langkah 1	53
5.5.	Iterasi 2 Langkah 2	54
5.6.	Iterasi 3 Langkah 1	54
5.7.	Iterasi 3 Langkah 2	54
5.8.	Iterasi 4 Langkah 1	55
5.9.	Iterasi 4 Langkah 2	55
5.10.	Iterasi 5 Langkah 1	55
5.11.	Hasil Model <i>EOQ</i> dengan <i>Full Backorder</i> dan <i>All Unit Discount</i>	56
5.12	Analisis Sensitivitas Numerik Model <i>EOQ</i> dengan <i>Full Backorder</i> dan <i>All Unit Discount</i>	57
5.13	Ketentuan Pemberian Diskon	60
5.14	Iterasi 1 Langkah 1	61
5.15	Iterasi 1 Langkah 2	61
5.16.	Iterasi 2 Langkah 1	61
5.17.	Iterasi 2 Langkah 2	62
5.18.	Iterasi 3 Langkah 1	62

5.19.	Iterasi 3 Langkah 2	62
5.20.	Iterasi 4 Langkah 1	63
5.21.	Iterasi 4 Langkah 2	63
5.22.	Iterasi 5 Langkah 1	63
5.23.	Hasil Model EOQ dengan <i>Partial Backorder</i> dan <i>All Unit Discount</i>	64
5.24	Analisis Sensitivitas Contoh Numerik Model EOQ dengan <i>Partial Backorder</i> dan <i>All Unit Discount</i>	65



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan Analisis Sensitivitas dengan <i>Full Backordering</i> dan <i>All Unit Discount</i>	80
Lampiran 2	Perhitungan Analisis Sensitivitas dengan <i>Partial Backordering</i> dan <i>All Unit Discount</i>	100
Lampiran 3	Grafik Analisis Sensitivitas model EOQ Tanpa Discount (<i>Full backorder</i> maupun <i>partial backorder</i>) untuk beberapa parameter	120



INTISARI

Sistem persediaan memiliki peranan penting dalam jalannya suatu perusahaan. Perusahaan akan dihadapkan dengan gangguan, dan kendala apabila tidak menentukan suatu kebijakan persediaan dengan baik. Selama ini belum ada model matematis untuk menyelesaikan permasalahan penentuan jumlah optimum pemesanan menggunakan kebijakan EOQ dengan memperhatikan dampak lingkungan yaitu emisi karbon yang dikeluarkan, produk cacat, *backorder*, serta pemberian diskon secara simultan. Penelitian ini mengembangkan model persediaan dengan mempertimbangkan produk cacat, *backorder*, pemberian diskon dan pajak emisi karbon. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai optimal pemesanan yang meminimalkan biaya. Penelitian ini menampilkan beberapa contoh numerik dengan beberapa kasus, dengan bantuan aplikasi Maple 17.

Pada penelitian ini melakukan beberapa langkah antara lain pengembangan model, pengujian model dengan uji *concavity*, serta implementasi model dalam contoh numerik, serta analisis sensitivitas. Penelitian ini dibagi menjadi 4 pengembangan model yaitu model *EOQ carbon emission* dengan *full backorder* dengan mempertimbangkan diskon, dan tidak mempertimbangkan diskon, serta model *EOQ carbon emission* dengan *partial backorder* dengan mempertimbangkan diskon, dan tidak mempertimbangkan diskon.

Contoh numerik pada penelitian ini mendapatkan hasil bahwa pemberian diskon memberikan total biaya minimum akan tetapi tidak menjamin total emisi minimum. Analisis sensitivitas juga menunjukkan bahwa total emisi tidak memiliki sifat sensitif terhadap perubahan diskon yang diterapkan.

Kata Kunci: Model EOQ, Emisi Karbon, *Backorder*, *All Unit Discount*.

ABSTRACT

Inventory system has an important role in the running of a company. A company will be face disruptions and obstacles if it does not determine inventory policies properly. So far, there is no mathematical model to solve the problem of determining the optimum order size using the EOQ policy by taking into account environmental impacts, namely carbon emissions released, defective products, backorders, and discounting simultaneously. This study develops an inventory model by considering defective products, backorder, discount and carbon emission taxes. This study aims to determine the optimal order size that minimizes costs. This study presents several numerical examples with several cases, with the help of the Maple 17 application.

In this study, several steps were carried out, including model development, model testing with the concavity test, and model implementation in numerical examples, and sensitivity analysis. This research is divided into 4 development models, namely the EOQ carbon emission model with full backorder considering discounts, and not considering discounts, and the EOQ carbon emission model with partial backorder considering discounts, and not considering discounts.

The numerical example in this study shows that discounting provides a minimum total cost but does not guarantee minimum total emissions. The sensitivity analysis also shows that total emissions are not sensitive to changes in the discount applied.

Keywords : EOQ Model, *Carbon Emissions*, *Backorder*, *All Unit Discount*.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem persediaan memiliki peranan penting dalam jalannya suatu perusahaan. Perusahaan akan dihadapkan dengan gangguan, dan kendala apabila tidak menentukan suatu kebijakan persediaan dengan baik. Persediaan merupakan produk yang menunggu proses lebih lanjut seperti aktivitas produksi pada sistem manufaktur dan aktivitas pemasaran dalam sistem distribusi (Rangkuti, 2013). Persediaan dibagi menjadi dua bentuk yaitu persediaan barang jadi atau barang yang akan digunakan untuk memenuhi tujuan tertentu.

Fungsi utama persediaan dalam suatu sistem adalah untuk memastikan kelancaran mekanisme pemenuhan permintaan produk sesuai dengan kebutuhan konsumen sehingga sistem dapat mencapai kinerja yang optimal. Persediaan yang dikelola dengan baik juga mempengaruhi penurunan biaya produksi suatu perusahaan. Sistem yang dikelola dapat mencapai kinerja optimal melalui perencanaan produksi yang terkait dengan kontrol inventaris yang baik dari waktu ke waktu.

Perbedaan tingkat persediaan dan tingkat permintaan konsumen dapat menjadi kendala suatu perusahaan. Tingkat permintaan adalah jumlah barang yang diinginkan konsumen pada tingkat harga dan waktu tertentu. Secara umum, ketika jumlah persediaan melebihi jumlah permintaan, biaya penyimpanan akan meningkat, sedangkan ketika jumlah permintaan melebihi jumlah persediaan dapat mengakibatkan persediaan habis, dan akan mengurangi profit, akibat *lost sales*.

Pengendalian persediaan adalah kegiatan penting yang perlu perhatian khusus dari perusahaan. Perusahaan penting untuk menentukan jumlah persediaan optimal dengan total biaya minimum. Dengan harga produk dan penjualan yang optimal, kuantitas ketersediaan produk, serta kontrol inventaris yang tepat dapat memaksimalkan laba (Hertini dkk, 2018). Model kontrol inventaris yang memberikan peran penting adalah model *Economic Order Quantity* (EOQ). EOQ adalah salah satu formula dalam sistem pengelolaan persediaan.

Model EOQ pertama dikembangkan oleh Harris (1913). Model EOQ digunakan untuk menentukan kuantitas pesanan optimal suatu produk. Kuantitas pesanan optimal ini mengarah ke biaya persediaan minimal untuk memberikan manfaat maksimal. Secara teknis, model persediaan EOQ adalah model pengadaan atau pasokan bahan baku di suatu perusahaan. Model EOQ untuk menentukan jumlah pesanan yang memenuhi total biaya sehingga tidak ada kekurangan persediaan yang telah dilakukan oleh Kostic (2009). Harris (1913) mengasumsikan produk bersifat sempurna, dan permintaan bersifat *deterministic* setiap waktunya.

Dalam berjalannya waktu model EOQ dikembangkan untuk beberapa kasus. Terdapat beberapa aspek yang dikembangkan dalam membuat model persediaan EOQ antara lain adanya pemberian diskon, memperhatikan adanya produk cacat, jenis sumber emisi karbon yang berbeda. Salah satu contoh pengembangan model EOQ antara lain adalah pemberian diskon. Terdapat beberapa jenis pengembangan model dengan pemberian diskon antara lain *all unit discount*, *price discount*, *cash discount*, *one-time-only discount*.

Pada praktik pengadaan bahan baku, terkadang *supplier* menawarkan diskon kepada pembeli. Pemberian diskon oleh *supplier* dapat diberikan ke semua unit yang dipesan, apabila ia menetapkan kebijakan pemberian discount berupa *all unit discount*. Pemberian diskon pada praktiknya juga diberikan ketika melakukan pembayaran secara *cash* atau kontan. Kebijakan pemberian diskon apabila melakukan pembayaran *cash* digunakan untuk menarik konsumen membayar dengan *cash* dari jumlah biaya pembelian untuk mempersingkat periode pengumpulan (Huang & Chung, 2003).

Model EOQ juga dikembangkan dengan memperhatikan produk cacat. Dalam praktiknya, barang yang diterima dalam jumlah banyak terkadang ditemukan barang yang memiliki kualitas cacat atau rusak (Hsu & Hsu, 2013). Pengembangan model EOQ dengan memperhatikan adanya produk cacat sangat penting, karena adanya pengecekan produk dapat menambah biaya dalam proses pemesanan barang, yang nantinya dapat mempengaruhi pengambilan kebijakan jumlah pemesanan barang.

Penelitian Tsilyannis (2015) dan Gilbert dkk (2017) mengatakan sebagian besar emisi karbon berasal dari bahan dan energi yang dikonsumsi dalam proses manufaktur. Dalam 10 tahun terakhir, penelitian mengenai model persediaan EOQ dengan memperhatikan kebijakan emisi karbon telah banyak dilakukan. Terdapat

penelitian yang mengembangkan model EOQ dengan memperhatikan emisi karbon.

Pada satu dekade terakhir ini, penelitian mengenai model persediaan menggunakan kebijakan EOQ dengan memperhatikan kebijakan emisi karbon telah banyak dilakukan, akan tetapi penelitian tersebut masih sedikit yang membahas mengenai aspek pemberian diskon yang dilakukan oleh *supplier*. Pada penelitian sebelumnya belum terdapat penelitian mengenai pengembangan model sistem persediaan dengan kebijakan EOQ yang memperhatikan emisi karbon dengan produk cacat, *backorder*, dan pemberian diskon.

Dengan latar belakang seperti itu, tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan model matematis sistem persediaan dengan kebijakan EOQ dengan memperhatikan aspek lingkungan yaitu emisi karbon, *backorder* serta memperhatikan produk cacat, dan pemberian *discount*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah diuraikan pada Sub Bab 1.1, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimanakah penentuan jumlah optimum pemesanan menggunakan model EOQ dengan memperhatikan dampak lingkungan yaitu emisi karbon yang dikeluarkan, produk cacat, *backorder*, serta pemberian potongan harga atau diskon yang dapat meminimalkan total biaya persediaan.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. Pengembangan model menggunakan jenis permintaan *deterministic*.
- b. Pengembangan model menggunakan jenis diskon berupa *all unit discount*.
- c. Pengembangan model menggunakan jenis *carbon tax*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model matematis sistem persediaan dengan kebijakan EOQ yang memperhatikan kendala emisi karbon, pemberian potongan harga, *backorder*, dan memperhatikan adanya produk cacat. Dari model matematis tersebut dapat digunakan untuk menentukan jumlah pemesanan optimum, agar *cost* yang dikeluarkan oleh perusahaan dalam

melakukan pengadaan barang seminimal mungkin dengan tetap memperhatikan dampak lingkungan.

1.5. Sistematika Penelitian

Penulisan secara sistematis laporan hasil penelitian yang telah dilakukan dibagi ke dalam lima bab yaitu:

Bab 1 yang terdiri dari latar belakang yang berisi mengenai situasi persoalan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 berisi mengenai tinjauan pustaka yang berisi penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas mengenai penelitian serupa, serta dasar teori yang digunakan dalam mendasari penelitian ini.

Bab 3 berisi metodologi penelitian yang terdiri dari tahapan penelitian berupa tahapan pendahuluan, tahapan pengembangan model matematis, tahapan implementasi model, dan tahapan dalam penarikan kesimpulan.

Bab 4 berisi pengembangan model EOQ tanpa diskon yang terdiri dari EOQ dengan *full backordering*, dan EOQ dengan *partial backordering*. Pada bab ini juga terdapat analisis sensitivitas dari setiap model EOQ tanpa diskon.

Bab 5 berisi pengembangan model EOQ dengan *all unit discount* yang terdiri dari EOQ *all unit discount* dengan *full backordering*, dan EOQ *all unit discount* dengan *partial backordering*. Pada bab ini juga terdapat analisis sensitivitas dari setiap model EOQ dengan pemberian diskon.

Bab 6 berisi pembahasan perbandingan dari keempat model yang dikembangkan, serta peran *business analytics* dalam sistem inventori.

Bab 7 berisi mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan berupa kesimpulan dan saran pada penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Sub bab 2.1. menyajikan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan dan mendeskripsikan *state of the art* dari penelitian ini.

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pengembangan model EOQ telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Peneliti mengembangkan model EOQ dengan menambahkan beberapa aspek, sesuai dengan keadaan nyata. Model EOQ awal belum terdapat aspek pemberian *discount* atau *pricing*, oleh sebab itu terdapat peneliti yang menambahkan aspek pemberian *discount* sebagai pengembangan model EOQ, seperti penelitian yang dilakukan oleh Taleizadeh dkk (2020).

Model EOQ klasik mengasumsikan bahwa kekurangan atau *shortage* tidak ada, akan tetapi pada kenyataannya sistem persediaan terkadang terdapat adanya *shortage*. Seiring berjalannya waktu, para peneliti mengembangkan model EOQ dengan menambahkan kendala *shortage*. Penelitian yang mengembangkan model EOQ dengan memperhatikan *shortage*, antara lain pada penelitian yang dilakukan oleh Taleizadeh dkk (2020), Lee dkk (2017), Sarkar dkk (2018), Lin (2018), dan Jauhari (2018).

Model EOQ klasik tidak menggunakan parameter emisi karbon sebagai kendalanya. Padahal pada kenyataannya emisi karbon sangat berpengaruh dalam kehidupan sehari-hari. Emisi karbon diakibatkan oleh beberapa aktivitas, antara lain aktivitas transportasi, produksi, dan *inventory*. Terdapat penelitian yang mengembangkan model EOQ dengan memperhatikan *emission source* dari ketiga aktivitas tersebut seperti penelitian yang dilakukan oleh He dkk (2015). Terdapat beberapa penelitian yang hanya memperhatikan dua sumber emisi dari aktivitas transportasi dan *inventory* yaitu penelitian yang dilakukan oleh Liao dan Deng (2018), Wang dan Ye (2018), Tian dkk (2014), Zhang dkk (2019), Lee dkk (2017), Lin (2018), Bozorgi dkk (2014), Soleymanfar dkk (2015), Lamba dan Singh (2018), Bozorgi (2016), dan Purohit dkk (2016). Penelitian yang dilakukan oleh Zhao dkk (2017) hanya menggunakan aktivitas produksi sebagai sumber emisi yang dikeluarkan. Terdapat penelitian yang menggunakan aktivitas produksi dan

inventori sebagai sumber emisi karbon yaitu penelitian yang dilakukan oleh Tao dan Xu (2019). Penelitian yang dilakukan oleh Kazemi dkk (2018), Toptal dkk (2013), Taleizadeh dkk (2020), Sarkar dkk (2018), Chen dkk (2013), Hovelaque dan Bironneau (2015) menggunakan aktivitas inventori sebagai sumber emisi karbon. Penelitian yang dilakukan oleh Gurtu dkk (2015), Bouchery dkk (2012) hanya menggunakan aktivitas transportasi sebagai sumber emisi karbon. Pada penelitian yang dilakukan oleh Shu dkk (2017), Wu dkk (2017), Jauhari (2018), Saga dkk (2019) menggunakan aktivitas transportasi dan produksi sebagai sumber emisi karbon yang diperhitungkan.

Terdapat penelitian yang mengembangkan model EOQ dengan memperhatikan kebijakan legislasi penentuan harga karbon. Menurut Hua dkk (2011), legislasi emisi karbon dibagi menjadi empat antara lain *cap*, *cap and trade* (C&T), *carbon tax*, dan *subsidies*. Penelitian yang dilakukan oleh Lamba dan Singh (2018), Purohit dkk (2016), Shu dkk (2017), Cao dkk (2018), He dkk (2015), Zhang dkk (2019) menggunakan kebijakan legislasi *cap and trade* (C&T). Penelitian yang dilakukan oleh Wang dan Ye (2018), Kazemi dkk (2018), Gurtu dkk (2015), Taleizadeh dkk (2020), Sarkar dkk (2018) menggunakan kebijakan legislasi *carbon tax*. Penggunaan kebijakan C&T dan *carbon tax* digunakan dalam penelitian yang dilakukan oleh Hovelaque dan Bironneau (2015). Penelitian yang dilakukan oleh Liao dan Deng (2018), Chen dkk (2013) menggunakan kebijakan legislasi *cap* dan *carbon tax*. Tao dan Xu (2019), Lee (2019), Toptal dkk (2013) melakukan penelitian dengan menggunakan kebijakan legislasi *cap*, C&T, dan *carbon tax*.

Model EOQ klasik mengasumsikan bahwa produk yang diterima adalah produk yang memiliki kualitas baik atau tidak cacat. Pada kenyataannya terdapat beberapa manufaktur yang menerima produk yang cacat. Terdapat penelitian yang mengembangkan model EOQ dengan memperhatikan *imperfect product*, seperti penelitian yang dilakukan oleh Kazemi dkk (2018), Sarkar dkk (2018), Jauhari (2018), Soleymanfar dkk (2015).

Tipe permintaan yang digunakan dalam model EOQ klasik adalah tipe permintaan yang konstan atau tidak berubah setiap waktunya, atau yang lebih sering disebut dengan tipe permintaan *deterministic*. Permintaan dalam kenyataan jumlahnya berubah ubah setiap waktunya, atau disebut dengan permintaan stokastik. Terdapat penelitian yang mengembangkan model EOQ dengan jenis tipe permintaan stokastik, seperti penelitian yang dilakukan oleh Zadjafar dan

Gholamian (2018), Tian dkk (2014), Zhang dkk (2019), Jauhari (2018), Purohit dkk (2016).

2.1.2. Penelitian Sekarang

Penelitian yang dilakukan sekarang adalah pengembangan model EOQ dengan memperhatikan pemberian diskon yang serupa dengan penelitian Taleizadeh dkk (2020), akan tetapi jenis diskon yang digunakan pada pengembangan model ini adalah *all unit discount*. Penelitian ini juga memperhatikan adanya item yang cacat, serupa dengan penelitian Liao dan Deng (2018), penelitian Shu dkk (2017), dan Sarkar dkk (2018). Penelitian ini menggunakan jenis biaya *carbon tax* yang dijadikan perhitungan dalam pembuatan model yang sama dengan Liao dan Deng (2018). Penelitian pengembangan model EOQ ini menggunakan tambahan parameter antara lain adanya diskon, emisi yang dikeluarkan dari proses transportasi, dan *inventory*. Penelitian ini menggunakan jenis biaya *carbon tax*, memperhatikan adanya produk cacat, serta menggunakan permintaan jenis *deterministic*. Penelitian sebelumnya belum ada yang menggunakan pengembangan model EOQ dengan beberapa parameter yang akan digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini telah mengisi *gap* yang ada selama ini. Pada Tabel 2.1 diuraikan perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang.

Tabel 2.1. Perbandingan Penelitian Terdahulu dan Sekarang

No	Peneliti	Judul	Parameter EOQ											
			Pricing; discount	Shortage	Emission Source			Legislation				Imperfect Product	Demand Type	
					Transport	Production	Inventory	Cap	C&T	Tax	Subsidies		Deterministic	Stochastic
1.	Liao dan Deng (2018)	<i>A carbon-constrained EOQ model with uncertain demand for remanufactured products</i>	-	-	√	-	√	√	-	√	-	-	-	-
2.	Wang dan Ye (2018)	<i>A comparison between just-in-time and economic order quantity models with carbon emissions</i>	-	-	√	-	√	-	-	√	-	-	√	-
3.	Zadjafar dan Gholamian (2018)	<i>A sustainable inventory model by considering environmental ergonomics and environmental pollution, case study: Pulp and paper mills</i>	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	√
4.	Tian dkk (2013)	<i>Carbon footprint and order quantity in logistics</i>	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	√
5.	Tao dan Xu (2019)	<i>Carbon-regulated EOQ models with consumers' low-carbon awareness</i>	-	-	-	√	√	√	√	√	-	-	√	-
6.	Kazemi dkk (2018)	<i>Economic order quantity models for items with imperfect quality and emission considerations</i>	-	-	-	-	√	-	-	√	-	√	√	-
7.	Gurtu dkk (2015)	<i>Impact of fuel price and emissions on inventory policies</i>	-	-	√	-	-	-	-	√	-	-	√	-
8.	Bouchery dkk (2012)	<i>Including sustainability criteria into inventory models</i>	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	√	-
9.	Zhang dkk (2019)	<i>Inventory optimization of building materials under the dual constraints of carbon emissions and stochastic demand</i>	-	-	√	-	√	-	√	-	-	-	-	√

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Judul	Parameter EOQ											
			Pricing; discount	Shortage	Emission Source			Legislation				Imperfect Product	Demand Type	
					Transport	Production	Inventory	Cap	C&T	Tax	Subsidies		Deterministic	Stochastic
10.	Lee (2019)	<i>Investing in carbon emissions reduction in the EOQ model</i>	-	-	-	-	-	√	√	√	-	-	√	-
11.	Toptal dkk (2013)	<i>Joint decisions on inventory replenishment and emission reduction investment under different emission regulations</i>	-	-	-	-	√	√	√	√	-	-	√	-
12.	Taleizadeh dkk (2020)	<i>Joint pricing and inventory decisions with carbon emission considerations, partial backordering and planned discounts</i>	√	√	-	-	√	-	-	√	-	-	√	-
13	Shu dkk (2017)	<i>Manufacturers'/ remanufacturers' inventory control strategies with cap-and-trade regulation</i>	-	-	√	√	-	-	√	-	-	-	√	-
14	Cao dkk (2018)	<i>Optimal carbon reduction level and ordering quantity under financial constraints</i>	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-	√	-
15.	He dkk (2015)	<i>Production lot-sizing and carbon emissions under cap-and-trade and carbon tax regulations</i>	-	-	√	√	√	-	√	√	-	-	√	-
16.	Lee dkk (2017)	<i>Sustainable EOQ under lead-time uncertainty and multi-modal transport</i>	-	√	√	-	√	-	-	-	-	-	√	-
17.	Sarkar dkk (2018)	<i>Sustainable inventory management for environmental impact through partial backordering and multi-trade-credit-period</i>	-	√	-	-	√	-	-	√	-	√	√	-

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Judul	Parameter EOQ												
			Pricing; discount	Shortage	Emission Source			Legislation				Imperfect Product	Demand Type		
					Transport	Production	Inventory	Cap	C&T	Tax	Subsidies		Deterministic	Stochastic	
18.	Lin (2018)	<i>Investing in transportation emission cost reduction on environmentally sustainable EOQ models with partial backordering</i>	-	√	√	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-
19.	Chen dkk (2013)	<i>The Carbon-constrained EOQ</i>	-	-	-	-	√	√	-	√	-	-	-	√	-
20.	Hovelaque dan Bironneau (2015)	<i>The carbon-constrained EOQ model with carbon emission dependent demand</i>	-	-	-	-	√	-	√	√	-	-	-	√	-
21.	Wu dkk (2017)	<i>The impact of carbon emission costs on manufacturers' production and location decision</i>	-	-	√	√	-	-	-	-	-	-	-	√	-
22.	Bozorgi dkk (2014)	<i>A new inventory model for cold items that considers costs and emissions</i>	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-
23.	Soleymanfar dkk (2015)	<i>A sustainable lot-sizing model with partial Backordering</i>	-	-	√	-	√	-	-	-	-	√	√	√	-
24.	Lamba dan Singh (2018)	<i>Dynamic supplier selection and lot-sizing problem considering carbon emissions in a big data environment</i>	-	-	√	-	√	-	√	-	-	-	-	√	-

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Judul	Parameter EOQ												
			Pricing; discount	Shortage	Emission Source			Legislation				Imperfect Product	Demand Type		
					Transport	Production	Inventory	Cap	C&T	Tax	Subsidies		Deterministic	Stochastic	
25.	Bozorgi (2016)	<i>Multi-product inventory model for cold items with cost and emission consideration</i>	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-
26.	Purohit dkk (2016)	<i>Non-stationary stochastic inventory lot-sizing with emission and service level constraints in a carbon cap-and-trade system</i>	-	-	√	-	√	-	√	-	-	-	-	-	√
27.	Choi dkk (2017)	<i>Production and low-carbon investment analysis in make-to-stock supply chain</i>	-	-	-	√	-	-	-	-	-	-	-	√	-
28.	Bonney and Jaber (2011)	<i>Environmentally responsible inventory models: Non-classical models for a non-classical era</i>	-	-	√	-	√	-	-	-	-	-	-	√	-
29.	Lamba et al. (2019)	<i>Integrated Decisions for Supplier Selection and Lot-Sizing Considering Different Carbon Emission Regulations in Big Data Environment</i>	-	-	√	-	√	-	√	-	√	-	-	√	-

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Peneliti	Judul	Parameter EOQ											
			Pricing; discount	Shortage	Emission Source			Legislation				Imperfect Product	Demand Type	
					Transport	Production	Inventory	Cap	C&T	Tax	Subsidies		Deterministic	Stochastic
30.	Phouratsamay and Cheng (2019)	<i>The single-item lot-sizing problem with two production modes, inventory bounds, and periodic carbon emissions capacity</i>	-	-	-	√	√	-	-	√	-	-	√	-
31.	Yassine (2020)	<i>A sustainable economic production model: effects of quality and emissions tax from transportation</i>	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-	√	-
32.	Wang and Choi (2020)	<i>Stochastic Green Production Planning with Lot Sizing</i>	-	-	-	√	√	-	-	-	√	-	√	-
33.	As'ad dkk (2020)	<i>Sustainable dynamic lot sizing models for cold products under carbon cap policy</i>	-	-	√	-	√	-	√	-	-	-	√	-
34.	Christata (2020)	<i>Pengembangan Model Persediaan Economic Order Quantity (EOQ) Dengan Memperhatikan Aspek Emisi Carbon, Imperfect Product, Pemberian Discount</i>	√	√	√	√	√	-	-	√	-	√	√	-

2.2. Dasar Teori

Sub Bab 2.2 menguraikan teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan penelitian.

2.2.2. Sistem Persediaan

Menurut Waters (2003), persediaan terdiri dari semua barang dan bahan yang disimpan oleh suatu organisasi atau toko barang yang disimpan untuk digunakan di masa depan.

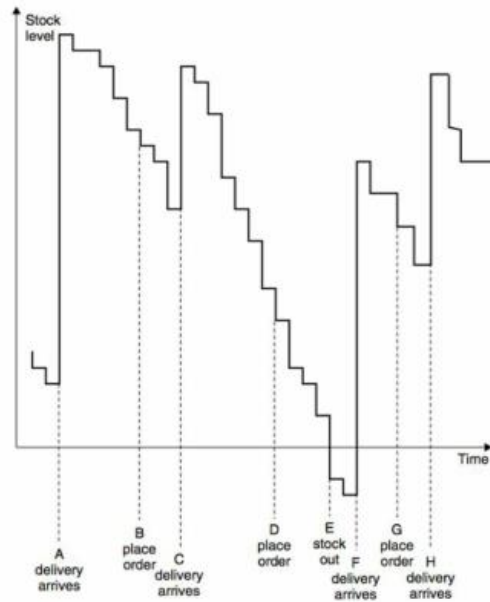
Menurut manfaatnya persediaan di klasifikasikan menjadi 3 antara lain:

- a. *Material* merupakan persediaan yang telah tiba dari pemasok dan disimpan sampai dibutuhkan untuk diproses.
- b. *Work In Process* merupakan unit yang sedang dikerjakan.
- c. *Finish good* merupakan persediaan yang sedang menunggu untuk dikirim ke pelanggan.

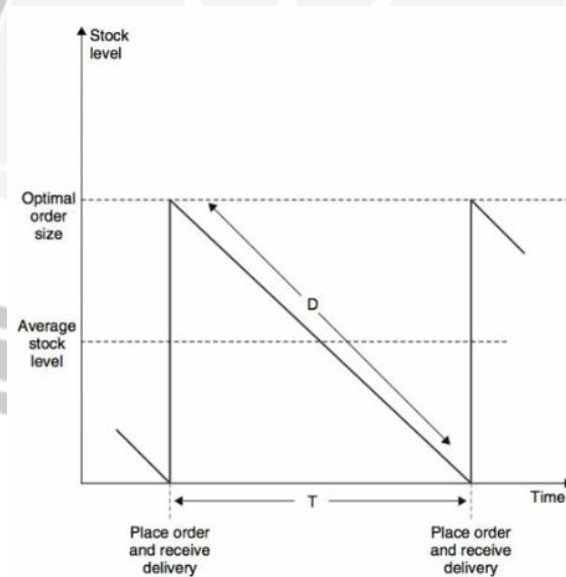
2.2.3. Model EOQ

Model EOQ adalah model pengambilan kebijakan dalam menentukan jumlah persediaan ideal dan menemukan ukuran pesanan tetap yang meminimalkan biaya. Model EOQ adalah dasar dari sebagian besar metode permintaan yang independen. Pendekatan model EOQ adalah membangun model sistem persediaan yang ideal dan menghitung kuantitas pesanan tetap yang meminimalkan total biaya. Ukuran pesanan optimal ini disebut kuantitas pesanan ekonomis (EOQ).

Perhitungan EOQ adalah analisis yang paling penting dari pengendalian persediaan, dan dapat dikatakan salah satu hasil paling penting yang diperoleh dalam bidang manajemen operasi. Model ini pertama kali dikemukakan oleh Harris (1913). Tingkat stok suatu barang bervariasi dari waktu ke waktu, dengan pola khas yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada titik tertentu, *A*, pengiriman tiba dan meningkatkan level stok. Kemudian stok menurun untuk memenuhi permintaan pelanggan.



Gambar 2.1. Pola dari Level Persediaan dalam Waktu
 Sumber: Waters (2003)



Gambar 2.2. Satu Siklus Persediaan
 Sumber: Waters (2003)

Asumsi yang terdapat pada model *Economic Order Quantity* antara lain:

- Demand permintaan diketahui dengan tepat, kontinu dan konstan sepanjang waktu;
- Semua biaya diketahui dengan tepat dan tidak bervariasi;
- Tidak ada kekurangan diizinkan

- d. Waktu tunggu nol jadi pengiriman dilakukan segera setelah pesanan dilakukan.

Sejumlah asumsi lain tersirat dalam model EOQ adalah:

- a. Dapat mempertimbangkan satu item secara terpisah, sehingga tidak dapat menghemat biaya dengan mengganti item lain atau mengelompokkan beberapa item menjadi satu pesanan tunggal.
- b. Harga beli dan biaya pemesanan ulang tidak berbeda dengan jumlah yang dipesan;
- c. Pengiriman tunggal dilakukan untuk setiap pesanan;
- d. Pengisian kembali dilakukan secara instan, sehingga semua pesanan tiba pada saat yang bersamaan dan dapat segera digunakan

Model persamaan EOQ dapat dilihat pada persamaan 1

$$Q^* = \sqrt{\frac{2 D S}{h}} \quad (1)$$

Keterangan :

- D = Jumlah permintaan (unit)
 S = Biaya pemesanan/*setup cost*
 h = Biaya penyimpanan/*holding cost*
 Q^* = Jumlah pemesanan optimal (unit)

2.2.4. Diskon

Diskon adalah pengurangan dari harga tercatat yang diberikan penjual kepada pembeli saat melakukan pembelian. Tujuan diberikannya diskon adalah untuk menguntungkan bagi perusahaan maupun pembeli. Tujuan pemberian diskon menurut Sutisna (2001) adalah:

- a. Mendorong agar pembeli melakukan pembelian dalam jumlah besar.
- b. Mendorong agar pembayaran dalam pembelian dilakukan dengan kontan atau waktu yang lebih pendek
- c. Mengikat pelanggan agar tidak berpindah ke *supplier* atau perusahaan lainnya.

Terdapat beberapa faktor mengapa diskon diberikan kepada pelanggan. Menurut Kotler dan Keller (2007) berpendapat bahwa diskon diberikan karena:

- a. Produk yang ada segera digantikan oleh model yang lebih baru

- b. Terdapat ketidakberesan produk yang ada sehingga mengalami kesulitan dalam aktivitas penjualan.
- c. Perusahaan sedang menghadapi masalah keuangan.
- d. Harga yang ada akan turun lebih jauh apabila produk tidak segera terjual
- e. Mutu produk ini oleh perusahaan diturunkan.

2.2.5. All Unit Quantity Discount

Pada kehidupan sehari-hari jenis diskon berbagai macam, salah satunya adalah *all unit quantity discount* (Gupta, 1988). *Quantity discount* adalah penurunan harga bagi pembeli dalam membeli jumlah yang besar. *Quantity discount* diberikan kepada customer untuk mendorong customer membeli dalam jumlah besar. Pemberian *quantity discount* diberikan oleh semua pembeli apabila membeli dengan jumlah tertentu. Sehingga, *quantity discount* diberikan oleh semua calon pembeli. Sebagai contoh supplier menjual produk dengan harga \$25 apabila customer membeli produk sebanyak 1 hingga 1000 unit, dan supplier akan memberikan harga \$23 apabila customer membeli produk lebih dari 1000 unit.

2.2.6. Emisi Karbon dan Carbon Tax

Emisi karbon adalah gas-gas yang dikeluarkan dari hasil pembakaran senyawa yang mengandung karbon, contoh CO₂ merupakan gas buangan dari pembakaran bahan bakar bensin, solar, kayu, dan lain sebagainya. Emisi karbon biasanya juga dikeluarkan oleh aktivitas perusahaan manufaktur, antara lain aktivitas transportasi, produksi, dan inventori.

Carbon tax atau pajak karbon adalah biaya yang dikenakan pada pembakaran bahan bakar berbasis karbon seperti batu bara, minyak, dan gas. Pajak karbon merupakan kebijakan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang pembakarannya dapat merusak iklim.

2.2.6. Uji Concavity

Uji *concavity* adalah uji yang digunakan untuk membuktikan model yang dihasilkan memiliki persamaan yang memberikan hasil yang optimal. Menurut Hillier dan Lieberman (1995), uji *concavity* dari suatu fungsi $f(x)$ yang memiliki turunan kedua untuk semua nilai x yang mungkin:

a. $f''(x) = \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \leq 0$, untuk semua nilai x yang mungkin maka $f(x)$ disebut *concave*

b. $f''(x) = \frac{d^2 f(x)}{dx^2} \geq 0$, untuk semua nilai x yang mungkin maka $f(x)$ disebut *convex*

Manfaat turunan kedua dalam uji *concavity* adalah untuk mengecek ada tidaknya persamaan yang membuat model itu optimal.

Uji *concavity* pada suatu fungsi dengan dua variabel dapat dinyatakan seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.2. Uji Concavity

Kuantitas	Convex	Convex sejati	Concave	Concave sejati
$\left(\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_1^2}\right)\left(\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_2^2}\right) - \left(\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_1 \partial x_2}\right)^2$	≥ 0	> 0	≥ 0	> 0
$\left(\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_1^2}\right)$	≥ 0	> 0	≤ 0	< 0
$\left(\frac{\partial^2 f(x_1, x_2)}{\partial x_2^2}\right)$	≥ 0	> 0	≤ 0	< 0
Nilai-nilai (x_1, x_2)	Semua nilai yang mungkin			

2.2.7. Maple17

Maple adalah suatu program aplikasi komputer untuk menyelesaikan permasalahan matematis. Maple dapat menyelesaikan model matematis seperti integral, diferensiasi, substitusi, matriks, pembuatan grafik, dan lain sebagainya. Dalam menyelesaikan suatu permasalahan matematis menggunakan aplikasi maple hanya perlu memasukan kode-kode. Berikut contoh kode pada Maple untuk menyelesaikan permasalahan matematis:

a. Input fungsi

Sebelum menyelesaikan permasalahan matematis, diperlukan langkah untuk memasukan fungsi pada aplikas. Input fungsi dapat menggunakan tanda “:”

Sebagai contoh, memasukan fungsi $f(x) = x^2 - 2x + 1$

$$> f := x \rightarrow x^2 - 2x + 1$$

b. Turunan

Dalam menyelesaikan masalah matematis dengan menggunakan turunan dapat menggunakan *code* "diff".

Sebagai contoh, turunan pertama dari fungsi $f(x) = x^2 - 2x + 1$ terhadap x

$$> \text{Diff} (f(x), x)$$

c. Simplify

Dalam menyelesaikan masalah matematis untuk mempermudah pengerjaan, dapat dilakukan penyederhanaan fungsi. Maple memiliki fitur untuk menyederhanakan fungsi, dengan menggunakan kode "simplify"

Sebagai contoh, menyederhanakan fungsi turunan pertama dari fungsi $f(x) = x^2 - 2x + 1$ terhadap x .

$$> \text{Simplify} (\text{diff} (f(x), x))$$

d. Substitusi

Substitusi bertujuan untuk menyelesaikan suatu persoalan dengan cara menggabungkan persamaan-persamaan yang telah diketahui. Maple memiliki fitur untuk mensubstitusi fungsi, dengan menggunakan kode "subs"

Sebagai contoh mensubstitusi fungsi $f(x) = x^2 - 2x + 1$ dengan mengubah $x = 3$

$$> \text{Subs} (x = 3, f(x))$$

2.2.8. Analisis Sensitivitas

Menurut Hillier dan Lieberman (1995), analisis sensitivitas bertujuan untuk mengidentifikasi parameter *sensitive*. Parameter *sensitive* adalah parameter yang perlu diperkirakan dengan untuk meminimalkan risiko memperoleh solusi optimal yang salah. Dilakukannya analisis sensitivitas untuk mengetahui akibat yang terjadi dari perubahan nilai parameter dapat diketahui dan dapat diantisipasi sebelumnya.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Pada model EOQ tanpa diskon mendapatkan hasil bahwa semakin besar *carbon tax* maka semakin kecil nilai profit (*ETPU*) dan semakin kecil total emisi karbon (*ETE*).
- b. Nilai total emisi karbon (*ETE*) memiliki sifat tidak sensitif terhadap pemberian diskon yang diberikan supplier. Namun, nilai total profit (*ETPU*) memiliki sifat sensitif terhadap pemberian diskon oleh supplier.
- c. Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa nilai *backorder quantity* (b^*), dan nilai y^* dapat mempengaruhi nilai *ETE*.

7.2. Saran

Pada penelitian pengembangan model EOQ yang telah dilakukan terdapat beberapa saran. Saran bagi perusahaan adalah perusahaan sebaiknya berinvestasi pada teknologi dengan menggunakan alat transportasi yang ramah lingkungan untuk mengurangi emisi karbon, sehingga mengurangi total biaya yang dikeluarkan. Beberapa topik utama kurang mendapat perhatian, oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan penelitian lebih lanjut tentang model EOQ berkelanjutan dengan mempertimbangkan pengaruh inflasi, kebijakan penerbitan persediaan, dan multi-gudang, pengaruh harga, multi item, metode pembayaran, pengerjaan ulang dan remanufaktur produk. Selain itu, ke depan juga diperlukan penelitian untuk model EOQ pada sistem rantai pasok multi eselon.

Penelitian selanjutnya juga dapat melakukan pengembangan model inventory dengan penerapan *big data*, seperti halnya menerapkan prediksi permintaan dimasa depan menggunakan beberapa jenis data dan melakukan perhitungan akurasi, serta melakukan klasifikasi data permintaan dari beberapa karakter konsumen untuk mendapatkan data yang lebih akurat menggunakan aplikasi tertentu seperti *R* atau lain sebagainya. Selain itu melakukan prediksi analisis lebih lanjut mengenai data *backorder*.

DAFTAR PUSTAKA

- As'ad, R., Hariga, M., Shamayleh, A., 2020. Sustainable dynamic lot sizing models for cold products under carbon cap policy. *Computers & Industrial Engineering*, 149, doi: /10.1016/j.cie.2020.106800.
- Bag, S., Wood, L.C., Xu, L., Dhamija, P., Kayikci, Y., 2020. Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. *Resource, Conservation & Recycling*, 153, 104559, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104559.
- Bertsimas, D., Kallus, N., Hussain, A., 2016. Inventory management in the era of big data. *Production and Operations Management*, 25, 12, 2002–2013.
- Bonney, M., Jaber, M.Y., 2011. Environmentally responsible inventory models: Non-classical models for a non-classical era. *International Journal of Production Economics*, 133, 43-53, doi:10.1016/j.ijpe.2009.10.033.
- Bouchery, Y., Jemal, Z., Ghaffarl, A., Dallery, Y., 2012. Including sustainability criteria into inventory models. *European Journal of Operation Research*, 222 (2), 229-240, doi:10.1016/j.ejor.2012.05.004.
- Bozorgi, A., 2016. Multi-product inventory model for cold items with cost and emission consideration. *International Journal of Production Economics*, 176, 123–142. doi:10.1016/j.ijpe.2016.03.011.
- Bozorgi, A., Pazour, J., Nazzal, D., 2014. A new inventory model for cold items that considers costs and emissions. *International Journal of Production Economics*, 155, 114–125. doi:10.1016/j.ijpe.2014.01.006.
- Cao, K., Xu, B., He, Y., Xu, Q., 2018. Optimal carbon reduction level and ordering quantity under financial constraints. *International Transactions in Operational Research*, 27 (5), 2270-2293, doi:10.1111/itor.12606.
- Chen, X., Benjaafar, S., Elomri, A., 2013. The carbon-constrained EOQ. *Operation Research Letters*, 41 (2), 172-179. doi: 10.1016/j.orl.2012.12.003.
- Evan, J.R., 2017. *Business analytics*, Global Edition, ed.2. England: Pearson.
- Gilbert, P., Wilson, P., Hodgson, P., 2017. The role of material efficiency to reduce CO₂emissions during ship manufacture: A life cycle approach. *Journal of Marine Policy*, 75, 227-237, doi:10.1016/j.marpol.2016.04.003.

- Guo, X., Liu, C., Xu., W., Yuan, H., Wang., M., 2014, A prediction-based inventory optimization using data mining models. *Seventh International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, 611-615, doi:10.1109/CSO.2014.118.
- Gupta, O.K., 1988. An improved procedure for economic order quantity with all-unit price discounts. *International Journal of Operations & Production Management*, 8 (4), 79 – 83, doi:10.1108/eb054836.
- Gurtu, A., Jaber, M.Y., Searcy, C., 2015. Impact of fuel price and emissions on inventory policies. *Applied Mathematical Modelling*, 39 (3-4), 1202-1216, doi: 10.1016/j.apm.2014.08.001.
- Hajek, P., Abedin, M.Z., 2020, A profit function-maximizing inventory backorder prediction system using big data analytics. *IEEE*, 8, 58982-58994, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2983118.
- Harris, F.H., 1913. How much stock to keep on hand. *Factory: The Magazine of Management*, 10 (3).
- He, P., Zhang, W., Xu, X., Bian, Y, 2015. Production lot-sizing and carbon emissions under cap-and-trade and carbon tax regulations. *Journal of Cleaner Production*, 103, 241–248, doi:10.1016/j.jclepro.2014.08.102.
- Hertini, E., Anggriani, N., Mianna, W., Supriatna, A.K., 2018. Economic order quantity (EOQ) optimal control considering selling price and salesman initiative cost. *IOP Conference Series Material Science and Engineering*, 332, 012013, doi: 10.1088/1757-899X/332/1/012013.
- Hillier, F.S., Liberman, G.J., 1995. *Introduction to operations research*. New York: McGraw-Hill.
- Hovelaque, V., Bironneau, L., 2015. The carbon-constrained EOQ model with carbon emission dependent demand. *International Journal of Production Economics*, 164, 285-291, doi: 10.1015/j.ijpe.2014.11.022.
- Hsu, J.T., Hsu, J.F., 2013. An EOQ model with imperfect quality items, inspection errors, shortage backordering, and sales returns. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 143 (1), 162–170, doi: 10.1016/j.ijpe.2012.12.025.

- Hua, G., Cheng, T.C.E., Wang, S. (2011). Managing carbon footprints in inventory management. *International Journal of Production Economics*, 132 (2), 178–185, doi:10.1016/j.ijpe.2011.03.024.
- Huang, Y.F., Chung, K.J., 2003. Optimal replenishment and payment polices in the EOQ model under cash discount and trade credit. *Asia Pacific Journal of Operational Research*, 20, 177-190.
- Jauhari, W.A., 2018. A collaborative inventory model for vendor-buyer system with stochastic demand, defective items and carbon emission cost. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 29 (2), 241-269, doi: 10.1504/IJLSM.2018.10009988.
- Kazemi, N., Ghazilla, R.A.R., Rashid, S.A., Zaroni, S., 2018. Economic order quantity models for items with imperfect quality and emission considerations. *International Journal of Systems Science: Operation & Logistics*, 5 (2), 99-115, doi: 10.1080/23302674.2016.1240254.
- Khurana, M., Kumar, D., 2017, The study of data analytics in inventory management. *International Conference on Infocom Technologies and Unmanned Systems*, 140-144. doi: 10.1109/ICTUS.2017.8285993.
- Kostic, K., 2009. Inventory control as a discrete system control for the fixed-order quantity system. *Applied Mathematical Modelling*, 33, 4201-4212, doi: 10.1016/j.apm.2009.03.004Get
- Kotler., P., Keller., K., 2007, *Manajemen pemasaran*, ed. 12. Jakarta: PT. Macanan Jaya Cemerlang.
- Lamba, K., Singh, S.P., 2018. Dynamic supplier selection and lot-sizing problem considering carbon emissions in a big data environment. *Technological Forecasting & Social Change*, 144, 573-584, doi: 10.1016/j.techfore.2018.03.020.
- Lamba, K., Singh, S.P., Mishra, N. 2019. Integrated decisions for supplier selection and lot-sizing considering different carbon emission regulations in big data environment. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 1052-1062, doi: 10.1016/j.cie.2018.04.028.

- Lee, J.-Y., 2019. Investing in carbon emissions reduction in the EOQ model. *Journal of the Operational Research Society*, doi:10.1080/01605682.2019.1609889.
- Lee, S.K., Yoo, S.H., Cheong, T., 2017. Sustainable EOQ under lead-time uncertainty and multi-modal transport. *Sustainability*, 9, 476, doi:10.3390/su9030476.
- Liao, H., Deng, Q., 2018. A carbon-constrained EOQ model with uncertain demand for remanufactured products. *Journal of Cleaner Production*, 199, 334–347. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.108.
- Lin, H., 2018. Investing in transportation emission cost reduction on environmentally sustainable EOQ models with partial backordering. *Journal of Applied Science and Engineering*, 21 (3), 291-303, doi: 10.6180/jase.201809_21(3).0001.
- Maddah, B., Jaber, M.Y., 2008. Economic order quantity for items with imperfect quality: Revisited. *International Journal of Production Economics*, 112, 808-815, doi: 10.1016/j.ijpe.2007.07.003.
- Pan, C., 2019. Big data logistic inventory control model based on error correction model. *11th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 332-336, doi: 10.1109/ICMTMA.2019.00080.
- Phouratsamay, S.L., Cheng, T.C.E., 2019. The single-item lot-sizing problem with two production modes, inventory bounds, and periodic carbon emissions capacity. *Operation Research Letters*, 47, 339-343, doi: 10.1016/j.orl.2019.06.003.
- Punia, S., Singh, S.P., Madaan, J.K., 2020. From predictive to prescriptive analytics: A data-driven multi-item newsvendor model. *Decision Support Systems*, 136, 1-11, doi: 10.1016/j.dss.2020.113340.
- Purohit, A.K., Shankar, R., Dey, P.K., Choudhary, A., 2016. Non-stationary stochastic inventory lot-sizing with emission and service level constraints in a carbon cap-and-trade system. *Journal of Cleaner Production*, 113, 654–661, doi:10.1016/j.jclepro.2015.11.004.
- Rangkuti, A., 2013. 7 model riset operasi & aplikasinya. Surabaya: Brillian Internasional.

- Saga, R.S., Jauhari, W.A., Laksono, P.W., Dwicahyani, A.R., 2019. Investigating carbon emissions in a production-inventory model under imperfect production, inspection errors and service-level constraint. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 34 (1), 29-55, doi : 10.1504/IJLSM.2019.102062.
- Sarkar, B., Ahmed, W., Choi, S., Tayya, M., 2018. Sustainable inventory management for environmental impact through partial backordering and multi-trade-credit-period. *Sustainability*, 10, 4761, doi:10.3390/su10124761.
- Seyedan, M., Mafakheri, F., 2020. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: Methods, applications, and research opportunities. *Journal of Big Data*, 7, 53, doi: 10.1186/s40537-020-00329-2.
- Shu, T., Wu, Q., Chen, S., Wang, S., Lai, K.K., Yang, H., 2017. Manufacturers'/remanufacturers' inventory control strategies with cap-and-trade regulation. *Journal of Cleaner Production*, 159, 11–25, doi:10.1016/j.jclepro.2017.05.021.
- Soleymanfar, V.R., Taleizadeh, A.A., Zia, N.P., 2015. A sustainable lot-sizing model with partial backordering. *International Journal of Advanced Operations Management*, 7 (2), 157-172. doi:10.1504/ijaom.2015.071479.
- Sutisna, 2001. *Perilaku konsumen dan komunikasi pemasaran*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Taleizadeh, A.A., Hazarkhan, B., Moon, I., 2020. Join pricing and inventory decisions with carbon emission considerations, partial backordering and planned discount. *Annals of Operations Research*, 290, 95-113., doi: 10.1007/s10479-018-2968-y.
- Tao, Z., Xu, J., 2019. Carbon-regulated EOQ models with consumers' low-carbon awareness. *Sustainability*, 11, 4100, doi:10.3390/su1104100.
- Teng, H.M., Hsu, P.H., 2013. Revisit economic ordering strategy for items with imperfect quality and backordering. *International Journal of Management and Enterprise Development*, 12 (3), 251-262, doi: 10.1504/IJMED.2013.054521.

- Tian, Z., Huo, L., Shen, G., 2014. Carbon footprint and order quantity in logistic. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 7 (2), 475 – 490, doi: 10.3926/jiem.1031.
- Toptal, A., Özlü, H., Konur, D., 2013. Joint decisions on inventory replenishment and emission reduction investment under different emission regulations. *International Journal of Production Research*, 52 (1), 243–269, doi:10.1080/00207543.2013.836615.
- Tsiliyannis, C.A. (2015). Sustainability by cyclic manufacturing: Assessment of resource preservation under uncertain growth and returns. *Resources, Conservation and Recycling*, 103, 155–170. doi:10.1016/j.resconrec.2015.07.001.
- Verma, K., Pandey R., Srivastava, N., 2017. Inventory supply & shelving through data analytics. *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 7, 356-361, doi: 10.1109/CSNT.2017.68.
- Wang, S., Ye, B., 2018. A comparison between just-in-time and economic order quantity models with carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*, 187, 662–671. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.218.
- Wang, X.J., Choi, S.H., (2020). Stochastic green production planning with lot sizing. *Engineering Letters*, 28 (2).
- Waters, D., 2003. *Inventory control and management*, ed. 2. England: Wiley.
- Wee, H.M., Daryanto, Y., 2020. Imperfect quality item inventory models considering carbon emissions. In Shah, N.H. dan Mittal, M. (eds.) *Optimization and Inventory Management*, 137-159, Singapore: Springer Nature, doi: 10.1007/978-981-13-9698-4_8.
- Wee H.M, Yu, J., Chen, M.C., 2007, Optimal inventory model for items with imperfect quality and shortage backordering. *Omega*, 35, 7-11, doi: 10.1016/j.omega.2005.01.019.
- Wu, P., Jin, Y., Shi, Y., Shyu, H., 2017. The impact of carbon emission costs on manufacturers' production and location decision. *International Journal of Production Economics*, 193, 193-206, doi:10.1016/j.ijpe.2017.07.005.
- Yassine, N., 2020. A sustainable economic production model: Effects of quality and emissions tax from transportation. *Annals of Operation Research*, 290, 73-94, doi: 10.1007/s10479-018-3069-7.

- Zadjafar, M.A., Gholamian, M.R., 2018. A sustainable inventory model by considering environmental ergonomics and environmental pollution, case study: Pulp and paper mills. *Journal of Cleaner Production*, 199, 444–458, doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.175.
- Zhang, R., Liu, Q., Wang, C., 2019. Inventory optimization of building materials under the constraints of carbon emissions and stochastic demand. *Systems Science & Control Engineering*, 7 (1), 146-157, doi: 10.1080/21642583.2019.1585301.
- Zhao, Y.C., Choi, S.H., Wang, X.J., Qiao, A., Wang, S.Y., 2017. Production and low-carbon investment analysis in make-to-stock supply chain. *Engineering Letters*, 25 (1), 80-89.
- Zhou, Q., Xia, B., Xu, W., Zeng, C., Han, R., Li, T., 2017, An advanced inventory data mining system for business intelligence, *IEEE Third International Conference on Big Data Computing Service and Applications*, 210-217, doi: 10.1109/BigDataService.2017.36

Lampiran 1. Perhitungan Analisis Sensitivitas Model EOQ dengan *Full Backordering* dan *All Unit Discount*

Contoh Numerik Model EOQ dengan *Full Backorder* dan *All Unit Discount* (Perubahan nilai C_p dengan kenaikan +20%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$; $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/\text{L}$; $a = 27$ L/ 100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon, penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar +20% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1. Ketentuan Pemberian Diskon

y	C_p
0 – 9999	\$30
10000 – 24999	\$28.8
25000 – 49999	\$27
50000 – 59999	\$25.2
60000 or more	\$24

Penyelesaian Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* dilakukan dengan menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.1. Prosedur penyelesaian untuk contoh numerik Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* adalah sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $Cp_5 = 24$ ($y \geq 60000$). Mulai dengan *minimum unit purchasing cost*, $Cp_5 = 24$; masukkan nilai Cp_5 ke persamaan (15), (16) dan hitung *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (10) dan persamaan (17). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 8.2. Dari hasil yang didapat $y < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak .

Tabel 8.2. Iterasi 1 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
60000 or more	\$24	1770,1	580,3	\$ 1.278.965	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = 24$ ($y = 60000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $y = 60000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$ 1.090.232$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.090.232$. Lanjut ke Langkah 3

Tabel 8.3. Iterasi 1 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
60000 or more	\$24	60000	19670,4	\$ 1.090.232	9,7988

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = 25,2$, ($50000 \leq y \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 8.4. Dari hasil yang didapat $y < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 8.4. Iterasi 2 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
50000 – 59999	\$25,2	1770,1	580,3	\$ 1.217.740	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = 25,2$ ($y = 50000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = 25,2$ yaitu $y = 50000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 50000$, adalah $ETPU_4 = \$ 1.062.369$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.062.369$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 8.5. Iterasi 2 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$25,2	50000	16392	\$ 1.062.369	8,1860

Langkah 3 Set $j = 3$ dan lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = 27$, ($25000 \leq y \leq 49999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = 27$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 8.6. Dari hasil yang didapat $y < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 8.6. Iterasi 3 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$27	1770,1	580,3	\$1.125.904	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = 27$ ($y = 25000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_3 = 27$ yaitu $y = 25000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 25000$ adalah $ETPU_3 = \$ 1.053.816$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.053.816$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 8.7. Iterasi 3 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$27	25000	8196,0	\$ 1.053.816	4,1641

Langkah 3 Set $j = 2$ and lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = 28,8$, ($10000 \leq y \leq 24999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = 28,8$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 8.8. Dari hasil yang didapat $y < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 8.8. Iterasi 4 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
10000 – 24999	\$28,8	1770,1	580,3	\$1.034.067	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = 28,8$ ($y = 10000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = 28,8$ yaitu $y = 10000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 10000$, dan $ETPU_2 = \$1.011.447$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.011.447$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 8.9. Iterasi 4 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
10000 – 24999	\$28,8	10000	3278,4	\$ 1.011.447	1,7923

Langkah 3 Set $j = 1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = 30$, ($0 \leq y \leq 9999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = 30$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 8.10. Dari hasil yang didapat $y > 0$, maka $ETPU_{max} = \$972.843$.

Tabel 8.10. Iterasi 5 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_1	y^*	b^*	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
0 – 9999	\$30	1770,1	580,3	\$972.843	0.8623

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 8.11. Tabel 8.11. menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 8.11. Hasil Model EOQ dengan Full Backorder dan All Unit Discount

<i>Parameter</i>	$C_t = \$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \$0/\text{tonCO}_2$
b^*	580,3 units	577,8 units
y^*	1770,1 units	1768,8 units
<i>ETPU</i>	\$ 972.843 per year	\$972.900 per year
<i>ETE</i>	0,7647 tonCO ₂ /year	0,7657 tonCO ₂ /year.



Contoh Numerik Model EOQ Dengan Full Backorder dan All Unit Discount (Perubahan nilai C_p dengan kenaikan +10%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_p = 25$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$; $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/\text{L}$; $a = 27$ L/100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon, penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar +10% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1. Ketentuan Pemberian Diskon

y	C_p
0 – 9999	\$27.50
10000 – 24999	\$26.40
25000 – 49999	\$24.75
50000 – 59999	\$23.10
60000 or more	\$22.00

Penyelesaian Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* dilakukan dengan menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.1. Prosedur penyelesaian untuk contoh numerik Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* adalah sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $C_{p5} = 22$ ($y \geq 60000$). Mulai dengan *minimum unit purchasing cost*, $C_{p5} = 22$; masukkan nilai C_{p5} ke persamaan (15), (16) dan hitung $ETPU$ dan EET dengan persamaan (10) dan persamaan

(17). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9.2. Dari hasil yang didapat $y < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak .

Tabel 9.2. Iterasi 1 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$22	1770,1	580,3	\$ 1.381.006	0,8616

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = 22$ ($y = 60000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $y = 60000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$ 1.192.273$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.192.273$. Lanjut ke Langkah 3

Tabel 9.3. Iterasi 1 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$22	60000	19670,4	\$ 1.192.273	9,7988

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = 23,1$, ($50000 \leq y \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 9.4. Dari hasil yang didapat $y < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 9.4. Iterasi 2 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$23,1	1770,1	580,3	\$ 1.324.883	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = 23,1$ ($y = 50000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = 23,1$ yaitu $y = 50000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 50000$,

adalah $ETPU_4 = \$ 1.169.512$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.169.512$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 9.5. Iterasi 2 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$23,1	50000	16392,0	\$ 1.169.512	8,1860

Langkah 3 Set $j = 3$ dan lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = 24,75$, ($25000 \leq y \leq 49999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = 24,75$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 9.6. Dari hasil yang didapat $y < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 9.6. Iterasi 3 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$24,75	1770,1	580,3	1.240.700	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = 24,75$ ($y = 25000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_3 = 24,75$ yaitu $y = 25000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 25000$ adalah $ETPU_3 = \$ 1.168.612$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.168.612$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 9.7. Iterasi 3 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$24,75	25000	8196,0	\$ 1.168.612	4,1641

Langkah 3 Set $j = 2$ and lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = 26,4$, ($10000 \leq y \leq 24999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = 26,4$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada

Tabel 9.8. Dari hasil yang didapat $y < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 9.8. Iterasi 4 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$26,4	1770,1	580,3	\$1.156.516	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = 26,4$ ($y = 10000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = 26,4$ yaitu $y = 10000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 10000$, dan $ETPU_2 = \$1.133.896$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.133.896$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 9.9. Iterasi 4 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$26,4	10000	3278,4	\$ 1.133.896	1,7923

Langkah 3 Set $j=1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = 27,5$, ($0 \leq y \leq 9999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = 27,5$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 9.10. Dari hasil yang didapat $y > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.100.394$.

Tabel 9.10. Iterasi 5 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_1	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
0 – 9999	\$27,5	1770,1	580,3	\$1.100.394	0,7647

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 9.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 9.11. Hasil Model EOQ dengan Full Backorder dan All Unit Discount

<i>Parameter</i>	$C_t = \\$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \\$0/\text{tonCO}_2$
b^*	580,3 units	577,8 units
y^*	1770,1 units	1768,8 units
<i>ETPU</i>	\$ 1.100.394 per year	\$1.228.002 per year
<i>ETE</i>	0,7647 tonCO ₂ /year	0,7657 tonCO ₂ /year.



Contoh Numerik Model EOQ Dengan Full Backorder dan All Unit Discount (Perubahan nilai C_p dengan penurunan -10%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_p = 25$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$; $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/\text{L}$; $a = 27$ L/100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon, penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar -10% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 10.1.

Tabel 10.1. Ketentuan Pemberian Diskon

y	C_p
0 – 9999	\$22.50
10000 – 24999	\$21.60
25000 – 49999	\$20.25
50000 – 59999	\$18.90
60000 or more	\$18.00

Penyelesaian Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* dilakukan dengan menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.1. Prosedur penyelesaian untuk contoh numerik Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* adalah sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $C_{p5} = 18$ ($y \geq 60000$). Mulai dengan *minimum unit purchasing cost*, $C_{p5} = 18$; masukkan nilai C_{p5} ke persamaan (15), (16) dan hitung $ETPU$ dan EET dengan persamaan (10) dan persamaan

(17). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 10.2. Dari hasil yang didapat $y < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak .

Tabel 10.2. Iterasi 1 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$18	1770,1	580,3	\$ 1.585.087	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = 18$ ($y = 60000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $y = 60000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$ 1.396.354$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.396.354$. Lanjut ke Langkah 3

Tabel 10.3. Iterasi 1 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$18	60000	19670,4	\$ 1.396.354	9,7988

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = 18,9$, ($50000 \leq y \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 10.4. Dari hasil yang didapat $y < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 10.4. Iterasi 2 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$18,9	1770,1	580,3	\$ 1.539.169	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = 18,9$ ($y = 50000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = 18,9$ yaitu $y = 50000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 50000$,

adalah $ETPU_4 = \$ 1.383.798$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.383.798$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 10.5. Iterasi 2 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$18,9	50000	16392,0	\$ 1.383.798	8,1860

Langkah 3 Set $j = 3$ dan lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = 20,25$, ($25000 \leq y \leq 49999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = 20,25$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 10.6. Dari hasil yang didapat $y < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 10.6. Iterasi 3 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$20,25	1770,1	580,3	1.470.291	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = 20,25$ ($y = 25000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_3 = 20,25$ yaitu $y = 25000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 25000$ adalah $ETPU_3 = \$ 1.398.204$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.398.204$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 10.7. Iterasi 3 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$20,25	25000	8196,0	\$ 1.398.204	4,1641

Langkah 3 Set $j = 2$ and lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = 21,6$, ($10000 \leq y \leq 24999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = 21,6$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada

Tabel 10.8. Dari hasil yang didapat $y < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 10.8. Iterasi 4 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$21,6	1770,1	580,3	\$1.401.414	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = 21,6$ ($y = 10000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = 21,6$ yaitu $y = 10000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 10000$, dan $ETPU_2 = \$1.378.794$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.378.794$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 10.9. Iterasi 4 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$21,6	10000	3278,4	\$ 1.378.794	1,7923

Langkah 3 Set $j=1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = 22,5$, ($0 \leq y \leq 9999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = 22,5$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 10.10. Dari hasil yang didapat $y > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.355.496$.

Tabel 10.10. Iterasi 5 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_1	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
0 – 9999	\$22,5	1770,1	580,3	\$1.355.496	0,7647

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 5.11. Hasil Model EOQ dengan Full Backorder dan All Unit Discount

<i>Parameter</i>	$C_t = \$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \$0/\text{tonCO}_2$
b^*	580,3 units	577,8 units
y^*	1770,1 units	1768,8 units
<i>ETPU</i>	\$ 1.355.496 per year	\$1.355.553 per year
<i>ETE</i>	0,7647 tonCO ₂ /year	0,7657 tonCO ₂ /year.



Contoh Numerik Model EOQ dengan Full Backorder dan All Unit Discount (Perubahan nilai C_p dengan penurunan -20%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$; $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/\text{L}$; $a = 27$ L/ 100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh;

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon, penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar -20% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 11.1.

Tabel 11.1. Ketentuan Pemberian Diskon

y	C_p
0 – 9999	\$20.00
10000 – 24999	\$19.20
25000 – 49999	\$18.00
50000 – 59999	\$16.80
60000 or more	\$16.00

Penyelesaian Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* dilakukan dengan menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.1. Prosedur penyelesaian untuk contoh numerik Model EOQ dengan *full backorder* dan *all unit discount* adalah sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $C_{p5} = 16$ ($y \geq 60000$). Mulai dengan *minimum unit purchasing cost*, $C_{p5} = 16$; masukkan nilai C_{p5} ke persamaan (15), (16) dan hitung $ETPU$ dan EET dengan persamaan (10) dan persamaan

(17). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 11.2. Dari hasil yang didapat $y < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak .

Tabel 11.2. Iterasi 1 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$16	1770.1	580,3	\$ 1.687.128	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = 16$ ($y = 60000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $y = 60000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$ 1.498.395$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.498.395$. Lanjut ke Langkah 3

Tabel 11.3. Iterasi 1 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$16	60000	19670,4	\$ 1.498.395	9,7988

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = 16,8$, ($50000 \leq y \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 11.4. Dari hasil yang didapat $y < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 11.4. Iterasi 2 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$16,8	1770,1	580,3	\$ 1.646.312	0,7647

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = 16,8$ ($y = 50000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = 16,8$ yaitu $y = 50000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 50000$,

adalah $ETPU_4 = \$ 1.490.941$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.490.941$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 11.5. Iterasi 2 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$16,8	50000	16392,0	\$ 1.490.941	8,1860

Langkah 3 Set $j = 3$ dan lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = 18$, ($25000 \leq y \leq 49999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = 18$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 11.6. Dari hasil yang didapat $y < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 11.6. Iterasi 3 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$18	1770,1	580,3	\$ 1.585.087	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = 18$ ($y = 25000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_3 = 18$ yaitu $y = 25000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 25000$ adalah $ETPU_3 = \$ 1.513.000$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.513.000$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 11.7. Iterasi 3 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$18	25000	8196,0	\$ 1.513.000	4,1641

Langkah 3 Set $j = 2$ and lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = 19,2$, ($10000 \leq y \leq 24999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = 19,2$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada

Tabel 11.8. Dari hasil yang didapat $y < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 11.8. Iterasi 4 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$19,2	1770,1	580,3	\$1.523.863	0,7647

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = 19,2$ ($y = 10000$). Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = 19,2$ yaitu $y = 10000$ ke persamaan (10) dan persamaan (17). Didapatkan hasil dengan tingkat, $y = 10000$, dan $ETPU_2 = \$1.501.243$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.501.243$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 11.9. Iterasi 4 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$19,2	10000	3278,4	\$ 1.501.243	1,7923

Langkah 3 Set $j=1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = 20$, ($0 \leq y \leq 9999$). Masukkan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = 20$ ke persamaan (15) dan (16) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (10) dan (17). Hasil dapat dilihat pada Tabel 11.10. Dari hasil yang didapat $y > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.483.047$.

Tabel 11.10. Iterasi 5 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_1	y^*	b^*	$ETPU$	ETE
0 – 9999	\$20	1770,1	580,3	\$1.483.047	0,7647

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 11.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 11.11. Hasil Model EOQ dengan Full Backorder Dan All Unit Discount

<i>Parameter</i>	$C_t = \$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \$0/\text{tonCO}_2$
b^*	580,3 units	577,8 units
y^*	1770,1 units	1768,8 units
<i>ETPU</i>	\$ 1.483.047 per year	\$1.483.104 per year
<i>ETE</i>	0,7647 tonCO ₂ /year	0,7657 tonCO ₂ /year.



Lampiran 2. Perhitungan Analisis Sensitivitas Model EOQ dengan *Partial Backordering* dan *All Unit Discount*

Contoh Numerik Model EOQ dengan *Partial Backordering* dan *All Unit Discount* (Perubahan nilai C_p dengan kenaikan +20%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50,000$; $d_2 = 30,000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_p = 25$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$ / $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/L$; $a = 27$ L/ 100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar +20% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 12.1.

Tabel 12.1. Ketentuan Pemberian Diskon

Q	C_p
0 – 9999	\$30
10000 – 24999	\$28.8
25000 – 49999	\$27
50000 – 59999	\$25.2
60000 or more	\$24

Penyelesaian model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.2.. Prosedur penyelesaian contoh numerik model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $Cp_5 = \$24$ ($Q \geq 60000$), mulai dengan minimum *unit purchasing cost*, $Cp_5 = \$24$; masukan nilai Cp_5 ke persamaan (40), (41) dan hitung *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan persamaan (32). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 12.2. Dari hasil yang didapat $Q < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak, maka dari itu $ETPU_{max} = 0$.

Tabel 12.2. Iterasi 1 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
60000 or more	\$24	1603.5	418,5	\$ 1.277.737	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = \$ 24$ ($Q = 60000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $Q = 60000$ ke persamaan (35), dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat $Q = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$1.046.452$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.046.452$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.3. Iterasi 1 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
60000 or more	\$24	60000	15659,4	\$1.046.452	14,4359

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = \$25,2$, ($50000 \leq Q \leq 59999$). Masukan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.4. Dari hasil yang didapat $Q < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 12.4. Iterasi 2 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
50000 – 59999	\$25,2	1603,5	418,5	\$ 1.216.513	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = \$25,2$ ($Q = 50000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = \$25,2$ yaitu $Q = 50000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q = 50000$, adalah $ETPU_4 = \$1.025.887$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.025.887$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.5. Iterasi 2 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	ETPU	ETE
50000 – 59999	\$25,2	50000	13049,5	\$1.025.887	12,0503

Langkah 3 Set $j=3$ dan Lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = \$27$, ($25000 \leq Q \leq 49999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = \$27$ ke persamaan (40) dan (31) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.6. Dari hasil yang didapat $Q < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 12.6. Iterasi 3 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	ETPU	ETE
25000 – 49999	\$27	1603,5	418,5	\$1.124.676	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = \$27$ ($y = 25000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya, $Cp_3 = \$27$ yaitu $Q = 25000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q = 25000$, adalah $ETPU_3 = \$1.035.575$. Karena $ETPU_3 > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.035.575$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.7. Iterasi 3 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	ETPU	ETE
25000 – 49999	\$27	25000	6524.7	\$1.035.575	6,0963

Langkah 3 Set $j = 2$ and Lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = \$28,8$, ($10000 \leq Q \leq 24999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = \$28,8$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.8. Dari hasil yang didapat $Q < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 12.8. Iterasi 4 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
10000 – 24999	\$28,8	1603,5	418,5	\$ 1.032.839	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = \$28,8$ ($Q = 10000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = \$28,8$ yaitu $Q = 10000$, ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q^* = 10000$, dan $ETPU_2 = \$ 1.004.150$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.004.150$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.9. Iterasi 4 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
10000 – 24999	\$28,8	10000	2609,9	\$ 1.004.150	2.5651

Langkah 3 Set $j = 1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = \$30$, ($0 \leq Q \leq 9999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = \$30$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.10. Dari hasil yang didapat $Q > 0$, maka $ETPU_{max} = \$971.615$.

Tabel 12.10. Iterasi 5 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_1	Q^*	s	<i>ETPU</i>	<i>ETE</i>
0 – 9999	\$30	1603.5	418.5	\$ 971.615	1,0097

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 12.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 12.11 Hasil Model EOQ dengan *Partial Backorder* dan *All Unit Discount*

Parameter	$C_t = \$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \$0/\text{tonCO}_2$
<i>s</i>	418.5 units	416.5 units
<i>b*</i>	292.9 units	291.5 units
<i>Lost sales</i>	125.5 units	124.9 units
<i>Q*</i>	1603.5 units	1602.9 units
<i>ETPU</i>	\$971.615 per year	\$971.683 per year
<i>ETE</i>	1,0097 tonCO ₂ /year.	1,0105 tonCO ₂ /year



Contoh Numerik Model EOQ dengan *Partial Backordering* dan *All Unit Discount* (Perubahan nilai C_p dengan kenaikan +10%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_p = 25$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$ / $l = 10$ km; $C_f = \$0.75/L$; $a = 27$ L/ 100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar +10% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 12.1.

Tabel 12.1. Ketentuan Pemberian Diskon

Q	C_p
0 – 9999	\$27,50
10000 – 24999	\$26,40
25000 – 49999	\$24,75
50000 – 59999	\$23,10
60000 or more	\$22,00

Penyelesaian model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.2.. Prosedur penyelesaian contoh numerik model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $C_{p5} = \$22$ ($Q \geq 60000$), mulai dengan minimum *unit purchasing cost*, $C_{p5} = \$22$; masukan nilai C_{p5} ke persamaan (40),

(41) dan hitung $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan persamaan (32). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 12.2. Dari hasil yang didapat $Q < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak, maka dari itu $ETPU_{max} = 0$.

Tabel 12.2. Iterasi 1 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$22	1603.5	418,5	\$ 1.379.778	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = \$ 22$ ($Q = 60000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $Q = 60000$ ke persamaan (35), dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat $y = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$1.148.493$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.148.493$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.3. Iterasi 1 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$22	60000	15659,4	\$1.148.493	14,4359

Langkah 3 Set $j=4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = \$23,1$, ($50000 \leq Q \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.4. Dari hasil yang didapat $Q < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 12.4. Iterasi 2 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$23,1	1603,5	418,5	\$ 1.323.655	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = \$23,1$ ($Q = 50000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = \$23,1$ yaitu $Q = 50000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q =$

50000, adalah $ETPU_4 = \$1.133.030$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{\max} = \$ 1.133.030$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.5. Iterasi 2 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$23,1	50000	13049,5	\$1.133.030	12,0503

Langkah 3 Set $j=3$ dan Lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = \$24,75$, ($25000 \leq Q \leq 49999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = \$24,75$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.6. Dari hasil yang didapat $Q < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 12.6. Iterasi 3 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$24,75	1603,5	418,5	\$1.239.472	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = \$24,75$ ($Q = 25000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya, $Cp_3 = \$24,75$ yaitu $Q = 25000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q = 25000$, adalah $ETPU_3 = \$1.150.371$. Karena $ETPU_3 > 0$, maka $ETPU_{\max} = \$1.150.371$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.7. Iterasi 3 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$24,75	25000	6524,7	\$1.150.371	6,0963

Langkah 3 Set $j = 2$ and Lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = \$26,4$, ($10000 \leq Q \leq 24999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = \$26,4$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada

Tabel 12.8. Dari hasil yang didapat $Q < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 12.8. Iterasi 4 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	ETPU	ETE
10000 – 24999	\$26,4	1603,5	418,5	\$ 1.155.528	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = \$26,4$ ($Q = 10000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = \$26,4$ yaitu $Q = 10000$, ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q^* = 10000$, dan $ETPU_2 = \$ 1.126.599$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.126.599$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 12.9. Iterasi 4 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	ETPU	ETE
10000 – 24999	\$28,8	10000	2609,9	\$ 1.126.599	2.5651

Langkah 3 Set $j = 1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = \$27,5$, ($0 \leq Q \leq 9999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = \$27,5$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 12.10. Dari hasil yang didapat $Q > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.099.166$.

Tabel 12.10. Iterasi 5 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_1	Q^*	s	ETPU	ETE
0 – 9999	\$27,5	1603,5	418,5	\$ 1.099.166	1,0097

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 12.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 12.11 Hasil Model *EOQ* dengan *Partial Backorder* dan *All Unit Discount*

Parameter	$C_t = \\$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \\$0/\text{tonCO}_2$
<i>s</i>	418,5 units	416,5 units
<i>b*</i>	292,9 units	291,5 units
<i>Lost sales</i>	125,5 units	124,9 units
<i>Q*</i>	1603,5 units	1602,9 units
<i>ETPU</i>	\$1.099.166 per year	\$ 1.099.234 per year
<i>ETE</i>	1,0097 tonCO ₂ /year.	1,0105 tonCO ₂ /year



Contoh Numerik Model EOQ dengan *Partial Backordering* dan *All Unit Discount* (Perubahan nilai C_p dengan penurunan -10%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0.01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_p = 25$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$ / $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/L$; $a = 27$ L/ 100km; $b = 0.57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar -10% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 13.1.

Tabel 13.1. Ketentuan Pemberian Diskon

Q	C_p
0 – 9999	\$22.50
10000 – 24999	\$21.60
25000 – 49999	\$20.25
50000 – 59999	\$18.90
60000 or more	\$18.00

Penyelesaian model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.2.. Prosedur penyelesaian contoh numerik model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $C_{p5} = \$18$ ($Q \geq 60000$), mulai dengan minimum *unit purchasing cost*, $C_{p5} = \$18$; masukan nilai C_{p5} ke persamaan (40),

(41) dan hitung $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan persamaan (32). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 13.2. Dari hasil yang didapat $Q < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak, maka dari itu $ETPU_{max} = 0$.

Tabel 13.2. Iterasi 1 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$18	1603.5	418,5	\$ 1.583.860	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = \$ 18$ ($Q = 60000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $Q = 60000$ ke persamaan (35), dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat $Q = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$1.352.575$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.352.575$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 13.3. Iterasi 1 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$18	60000	15659,4	\$1.352.575	14,4359

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = \$18,9$, ($50000 \leq Q \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 13.4. Dari hasil yang didapat $Q < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 13.4. Iterasi 2 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$18,9	1603,5	418,5	\$ 1.537.941	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = \$18,9$ ($Q = 50000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = \$18,9$ yaitu $Q = 50000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q =$

50000, adalah $ETPU_4 = \$1.347.315$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{\max} = \$ 1.347.315$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 13.5. Iterasi 2 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$18,9	50000	13049,5	\$1.347.315	12,0503

Langkah 3 Set $j = 3$ dan Lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = \$20,25$, ($25000 \leq Q \leq 49999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = \$20,25$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 13.6. Dari hasil yang didapat $Q < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 13.6. Iterasi 3 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$20,25	1603,5	418,5	\$1.469.064	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = \$20,25$ ($Q = 25000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya, $Cp_3 = \$20,25$ yaitu $Q = 25000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q = 25000$, adalah $ETPU_3 = \$1.379.962$. Karena $ETPU_3 > 0$, maka $ETPU_{\max} = \$1.379.962$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 13.7. Iterasi 3 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$20,25	25000	6524.7	\$1.379.962	6,0963

Langkah 3 Set $j = 2$ and Lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = \$21,6$, ($10000 \leq Q \leq 24999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = \$21,6$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada

Tabel 13.8. Dari hasil yang didapat $Q < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 13.8. Iterasi 4 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	S	ETPU	ETE
10000 – 24999	\$21,6	1603,5	418,5	\$ 1.400.186	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = \$21,6$ ($Q = 10000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = \$21,6$ yaitu $Q = 10000$, ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q^* = 10000$, dan $ETPU_2 = \$ 1.371.497$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.371.497$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 13.9. Iterasi 4 Langkah 2

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	ETPU	ETE
10000 – 24999	\$21,6	10000	2609,9	\$ 1.371.497	2.5651

Langkah 3 Set $j = 1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = \$22,5$, ($0 \leq Q \leq 9999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = \$22,5$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai *ETPU* dan *ETE* dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 13.10. Dari hasil yang didapat $Q > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.354.286$.

Tabel 13.10. Iterasi 5 Langkah 1

y (Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	ETPU	ETE
0 – 9999	\$22,5	1603,5	418,5	\$ 1.354.286.	1,0097

Langkah 4 Selesai

Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 13.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 13.11 Hasil Model *EOQ* dengan *Partial Backorder* dan *All Unit Discount*

Parameter	$C_t = \$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \$0/\text{tonCO}_2$
<i>s</i>	418,5 units	416,5 units
<i>b*</i>	292,9 units	291,5 units
<i>Lost sales</i>	125,5 units	124,9 units
<i>Q*</i>	1603,5 units	1602,9 units
<i>ETPU</i>	\$1.354.286.per year	\$ 1.354.336 per year
<i>ETE</i>	1,0097 tonCO ₂ /year.	1,0105 tonCO ₂ /year



Contoh Numerik Model EOQ dengan *Partial Backordering* dan *All Unit Discount* (Perubahan nilai C_p dengan penurunan -20%)

Pada penelitian ini data yang digunakan diadaptasi dari penelitian Teng dan Hsu (2013), dengan beberapa parameter transportasi dan emisi karbon tambahan dari penelitian Wee dan Daryanto (2020). Data yang digunakan sebagai berikut:

$d_1 = 50.000$; $d_2 = 30.000$; $P_p = 50$; $P_d = 40$; $i = 175.200$; $w = 0,01$ ton/unit; $C_o = 100$; $C_b = 20$, $C_{h1} = 10$; $C_{h2} = 8$; $C_i = 0,5$; $C_t = \$75/\text{tonCO}_2$; $C_d = \$100/\text{delivery}$ $l = 10$ km; $C_f = \$0,75/\text{L}$; $a = 27$ L/ 100km; $b = 0,57$ L/100km/ton; $c = 1,44$ kWh/unit; $F = 2,6 \times 10^{-3}$ tonCO₂/L; $E = 0,5 \times 10^3$ tonCO₂/kWh; $C_l = 25$, $\beta = 0,7$

Persentase item cacat α diasumsikan memiliki distribusi seragam dengan:

$$f(\alpha) = \begin{cases} 25, & 0 \leq \alpha \leq 0,04 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad E[\alpha] = 0,02$$

Pada bagian model pemberian diskon penelitian ini mengadaptasi data ketentuan diskon dari Gupta (1988) dengan menyamakan bentuk permintaan yang digunakan dalam penelitian. Ketentuan pemberian diskon pada analisis sensitivitas dengan perubahan nilai *purchasing cost* (C_p) sebesar -20% dari data sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 14.1.

Tabel 14.1. Ketentuan Pemberian Diskon

Q	C_p
0 – 9999	\$20.00
10000 – 24999	\$19.20
25000 – 49999	\$18.00
50000 – 59999	\$16.80
60000 or more	\$16.00

Penyelesaian model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* menggunakan prosedur yang telah diuraikan pada Sub Bab 5.2.. Prosedur penyelesaian contoh numerik model EOQ dengan *partial backorder* dan *all unit discount* sebagai berikut:

Langkah 0 Mulai

Set $j = 5$ dan $ETPU_{max} = 0$

Iterasi 1 $j = 5$

Langkah 1 Untuk $C_{p5} = \$16$ ($Q \geq 60000$), mulai dengan minimum *unit purchasing cost*, $C_{p5} = \$16$; masukan nilai C_{p5} ke persamaan (40),

(41) dan hitung $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan persamaan (32). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 14.2. Dari hasil yang didapat $Q < 60000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi pertama tidak layak, maka dari itu $ETPU_{\max} = 0$.

Tabel 14.2. Iterasi 1 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$16	1603,5	418,5	\$ 1.686.076	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2.

Langkah 2 Untuk $Cp_5 = \$ 16$ ($Q = 60000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya tersebut dan $Q = 60000$ ke persamaan (35), dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat $Q = 60000$ adalah $ETPU_5 = \$1.454.616$. Karena nilai $ETPU > 0$, maka $ETPU_{\max} = \$1.454.616$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 14.3. Iterasi 1 Langkah 2

Q(Ketentuan Pembelian)	Cp_5	Q^*	S	$ETPU$	ETE
60000 or more	\$16	60000	15659,4	\$1.454.616	14,4359

Langkah 3 Set $j = 4$ dan kembali ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 4$

Langkah 1 Untuk $Cp_4 = \$16,8$, ($50000 \leq Q \leq 59999$). Masukkan nilai *purchasing cost* Cp_4 ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 14.4. Dari hasil yang didapat $Q < 50000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi kedua tidak layak.

Tabel 14.4. Iterasi 2 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$16,8	1603,5	418,5	\$ 1.645.084	1,0097

Maka, lanjut ke Langkah 2

Langkah 2 Untuk $Cp_4 = \$16,8$ ($Q = 50000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_4 = \$16,8$ yaitu $Q = 50000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q =$

50000, adalah $ETPU_4 = \$1.347.315$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.347.315$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 14.5. Iterasi 2 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_4	Q^*	S	$ETPU$	ETE
50000 – 59999	\$16,8	50000	13049,5	\$1.454.458	12,0503

Langkah 3 Set $j=3$ dan Lanjutkan ke Langkah 1

Iterasi 3 $j = 3$

Langkah 1 Untuk $Cp_3 = \$18$, ($25000 \leq Q \leq 49999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_3 = \$18$ ke persamaan (40) dan (42) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 14.6. Dari hasil yang didapat $Q < 25000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 14.6. Iterasi 3 Langkah 1

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$18	1603,5	418,5	\$1.583.860	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_3 = \$18$ ($Q = 25000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya, $Cp_3 = \$18$ yaitu $Q = 25000$ ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q = 25000$, adalah $ETPU_3 = \$1.494.758$. Karena $ETPU_3 > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.494.758$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 14.7. Iterasi 3 Langkah 2

Q (Ketentuan Pembelian)	Cp_3	Q^*	S	$ETPU$	ETE
25000 – 49999	\$18	25000	6524,7	\$1.494.758	6,0963

Langkah 3 Set $j = 2$ and Lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 2$

Langkah 1 Untuk $Cp_2 = \$19,2$, ($10000 \leq Q \leq 24999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_2 = \$19,2$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 14.8. Dari hasil yang didapat $Q < 10000$, oleh sebab itu hasil untuk iterasi ketiga tidak layak.

Tabel 14.8. Iterasi 4 Langkah 1

Q(Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	S	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$19,2	1603,5	418,5	\$ 1.522.635	1,0097

Langkah 2 Untuk $Cp_2 = \$19,2$ ($Q = 10000$); Terapkan tingkat pemesanan minimum untuk biaya $Cp_2 = \$19,2$ yaitu $Q = 10000$, ke persamaan (35) dan persamaan (42). Didapatkan hasil dengan tingkat, $Q^* = 10000$, dan $ETPU_2 = \$ 1.493.496$. Karena $ETPU > 0$, maka $ETPU_{max} = \$ 1.493.496$. Lanjut ke Langkah 3.

Tabel 14.9. Iterasi 4 Langkah 2

Q(Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	$ETPU$	ETE
10000 – 24999	\$19,2	10000	2609,9	\$ 1.493.496	2.5651

Langkah 3 Set $j = 1$ dan lanjut ke Langkah 1

Iterasi 2 $j = 1$

Langkah 1 Untuk $Cp_1 = \$20$, ($0 \leq Q \leq 9999$), masukan nilai *purchasing cost* $Cp_1 = \$22,5$ ke persamaan (40) dan (41) lalu hitung nilai $ETPU$ dan ETE dengan persamaan (35) dan (42). Hasil dapat dilihat pada Tabel 14.10. Dari hasil yang didapat $Q > 0$, maka $ETPU_{max} = \$1.481.819$.

Tabel 14.10. Iterasi 5 Langkah 1

Q(Ketentuan Pembelian)	Cp_2	Q^*	s	$ETPU$	ETE
0 – 9999	\$20	1603.5	418.5	\$ 1.481.819	1,0097

Langkah 4 Selesai

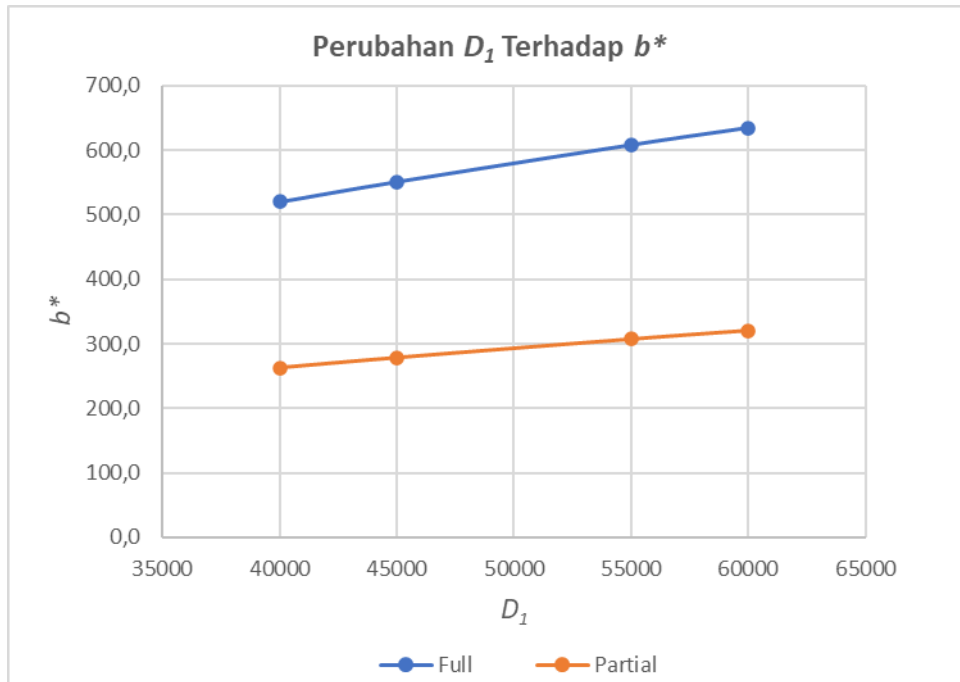
Hasil yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 14.11. Tabel menyajikan hasil perbandingan antara model yang memperhatikan *carbon tax* dan model yang tidak memperhatikan *carbon tax*.

Tabel 14.11 Hasil Model EOQ dengan *Partial Backorder* dan *All Unit Discount*

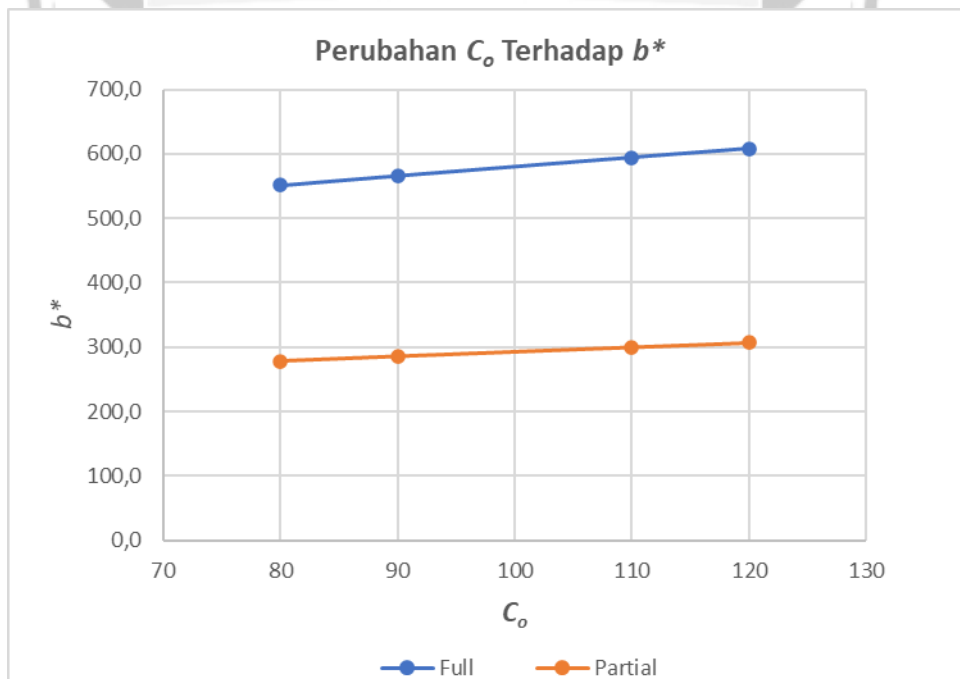
Parameter	$C_t = \$75/\text{tonCO}_2$	$C_t = \$0/\text{tonCO}_2$
<i>s</i>	418,5 units	416,5 units
<i>b*</i>	292,9 units	291,5 units
<i>Lost sales</i>	125,5 units	124,9 units
<i>Q*</i>	1603,5 units	1602,9 units
<i>ETPU</i>	\$1.481.819 per year	\$ 1.481.887 per year
<i>ETE</i>	1,0097 tonCO ₂ /year.	1,0105 tonCO ₂ /year



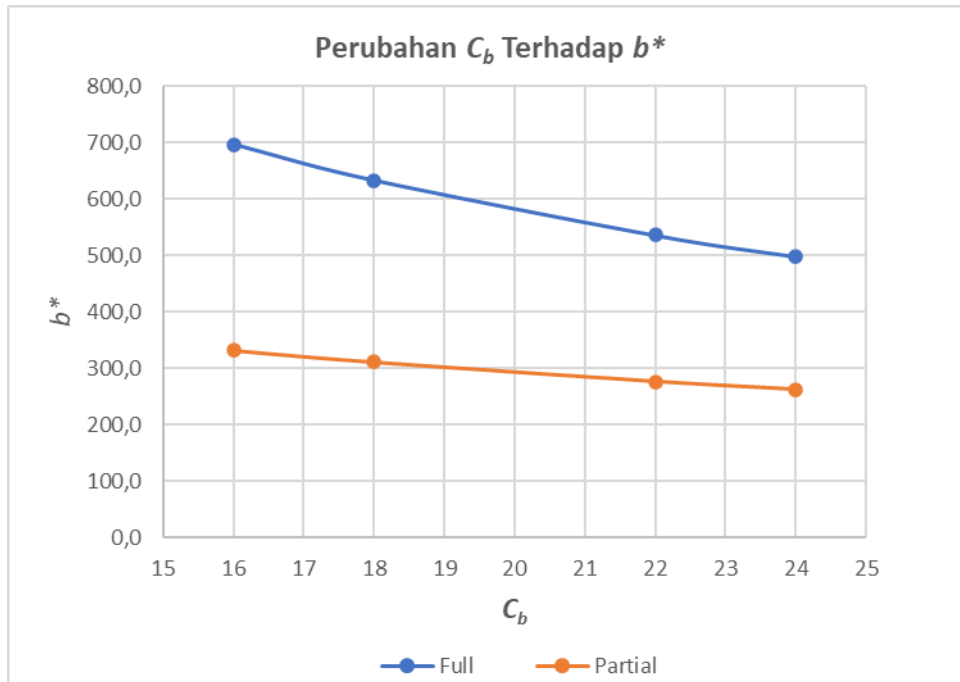
Lampiran 3. Grafik Analisis Sensitivitas model EOQ Tanpa Discount (*Full backorder* maupun *partial backorder*) untuk beberapa parameter



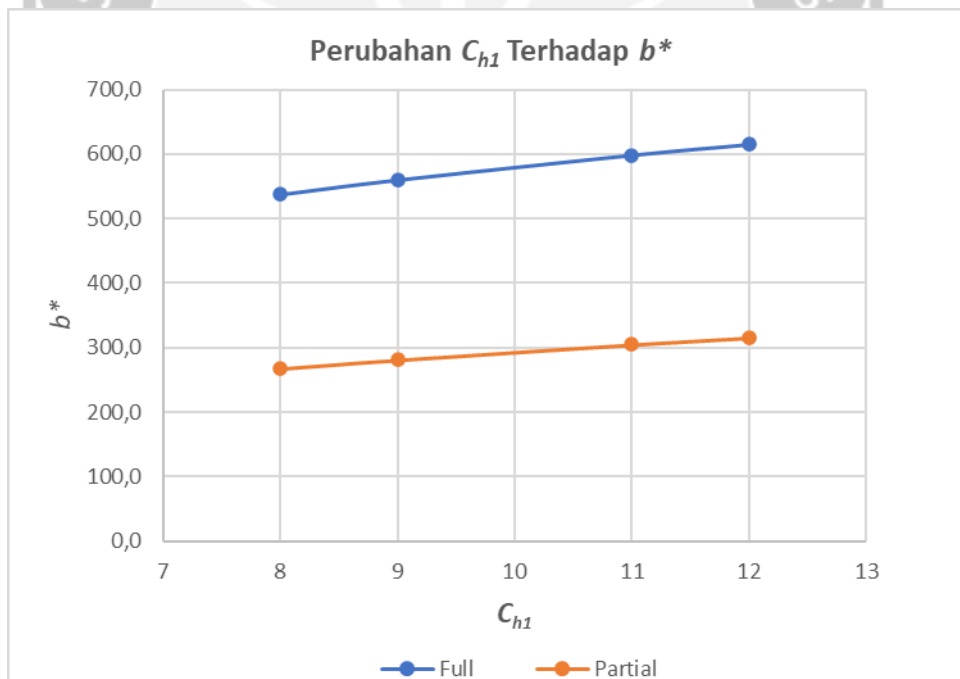
Gambar L3.1. Grafik perubahan D_1 terhadap b^*



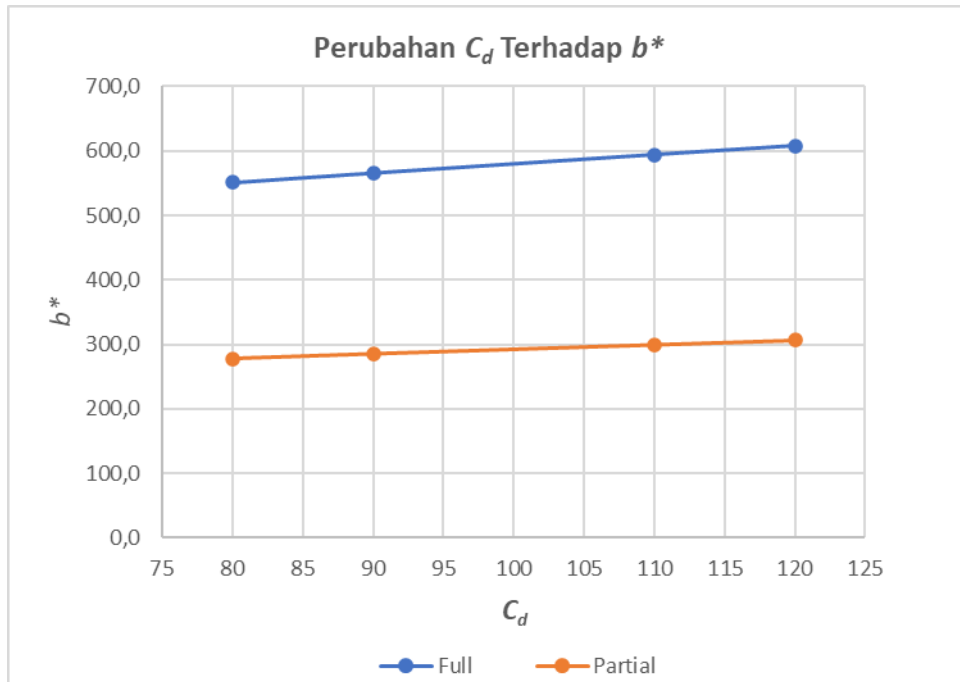
Gambar L3.2. Grafik perubahan C_o terhadap b^*



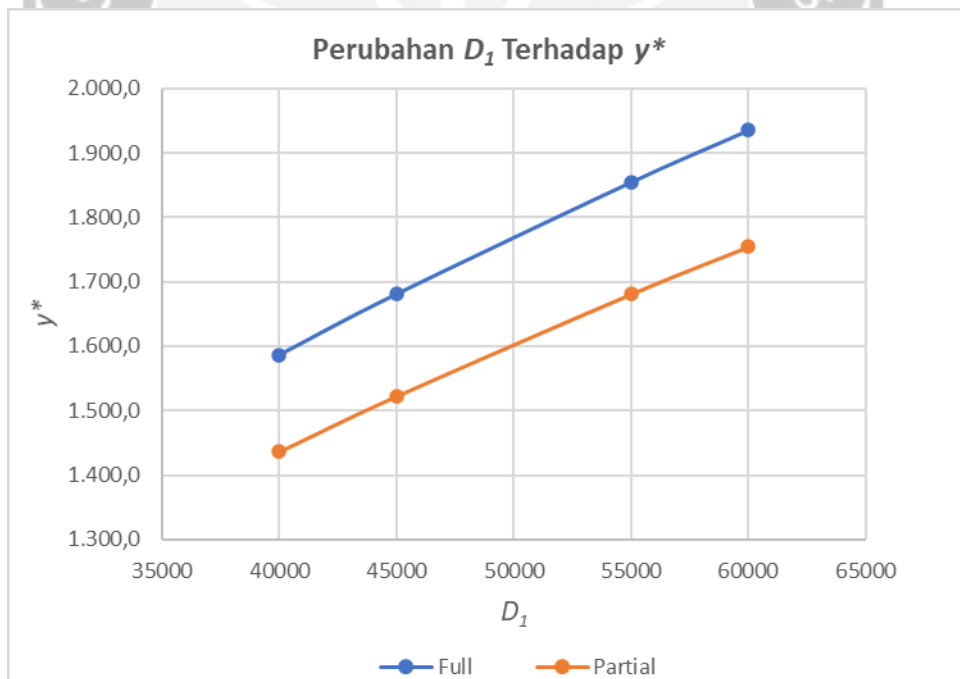
Gambar L3.3. Grafik perubahan C_b terhadap b^*



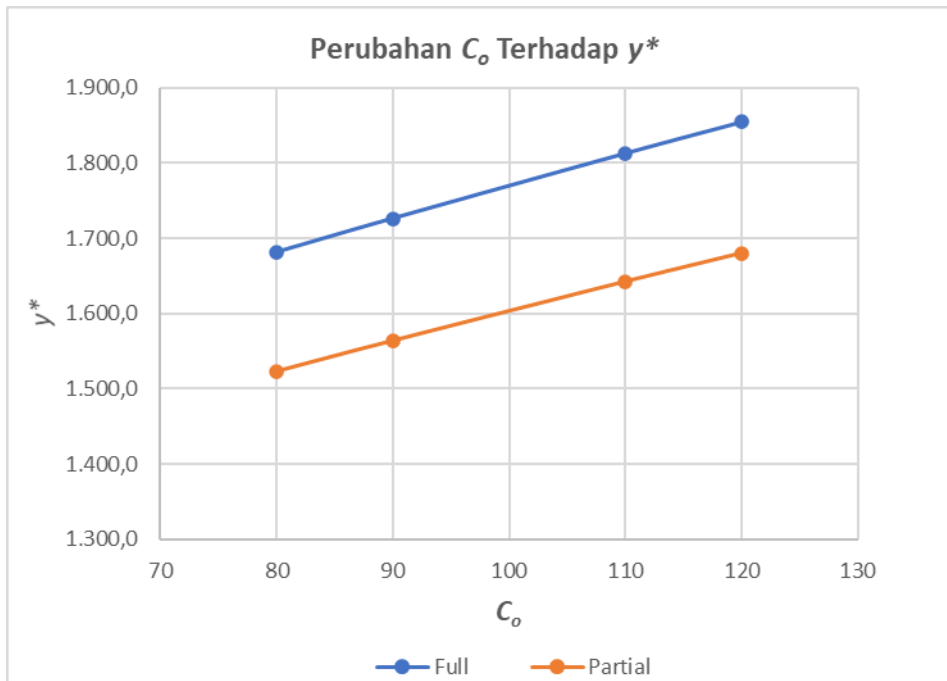
Gambar L3.4. Grafik perubahan C_{h1} terhadap b^*



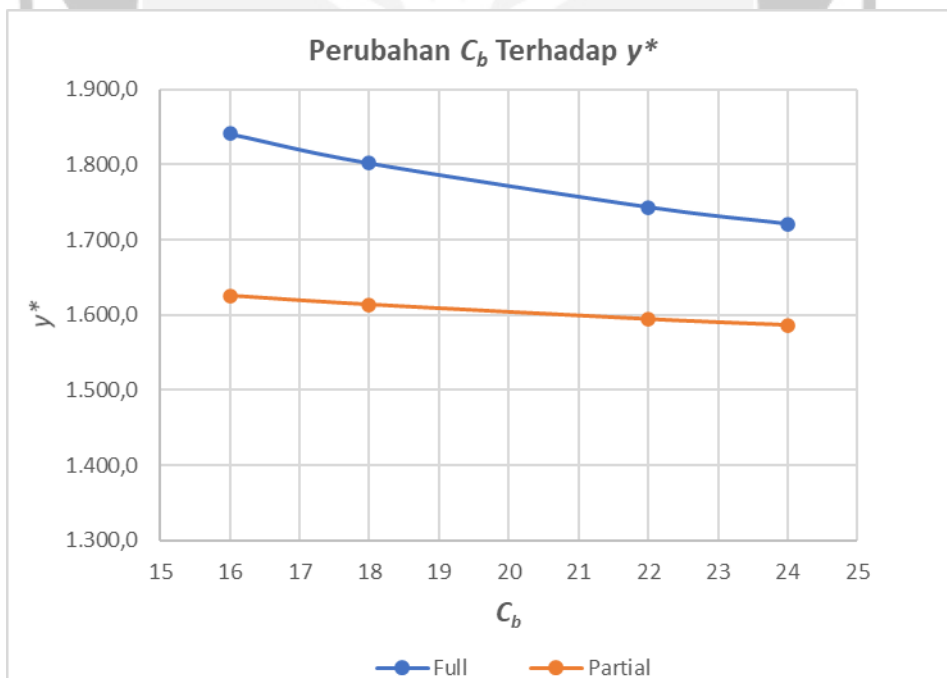
Gambar L3.5. Grafik perubahan C_d terhadap b^*



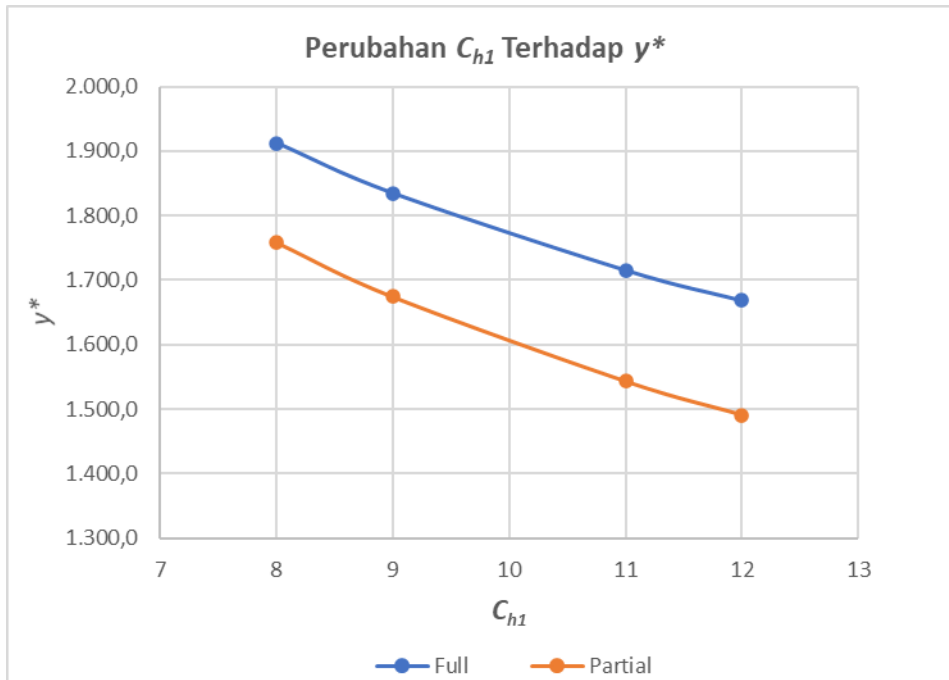
Gambar L3.6. Grafik perubahan D_1 terhadap y^*



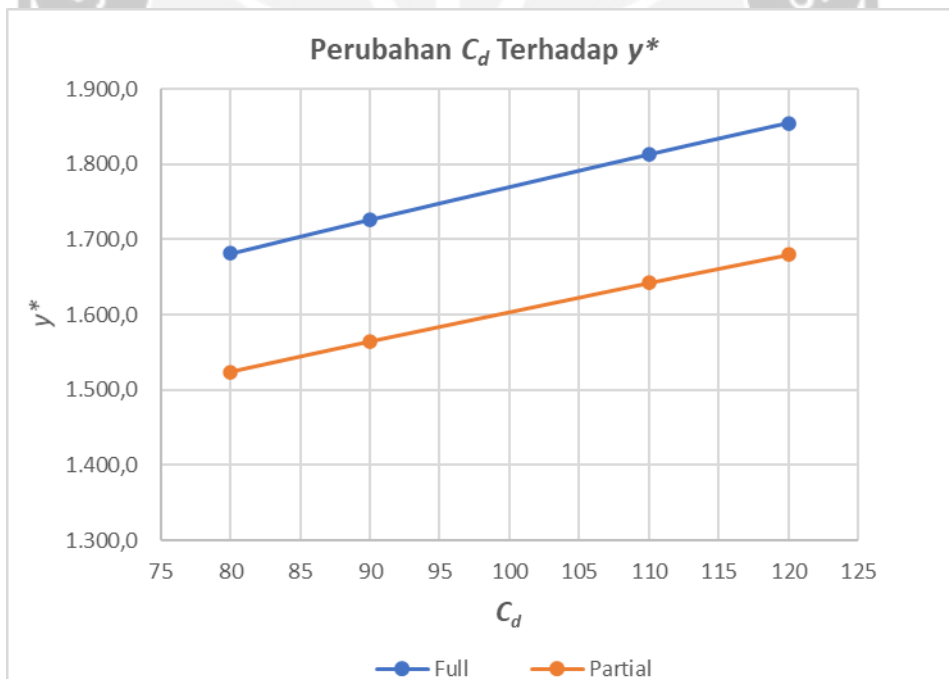
Gambar L3.7. Grafik perubahan C_o terhadap y^*



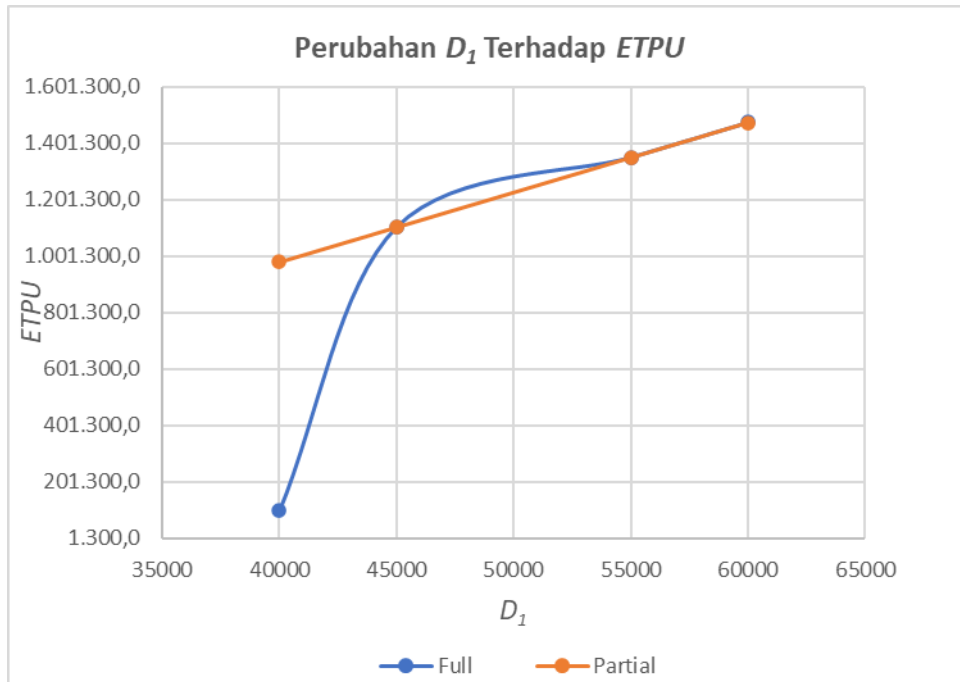
Gambar L3.8. Grafik perubahan C_b terhadap y^*



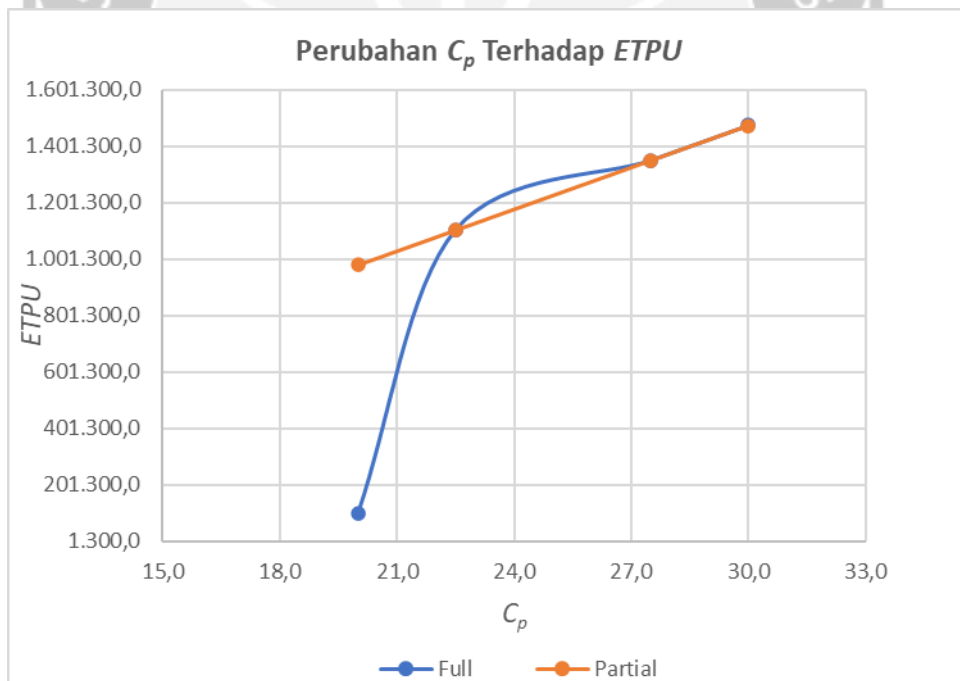
Gambar L3.9. Grafik perubahan C_{h1} terhadap y^*



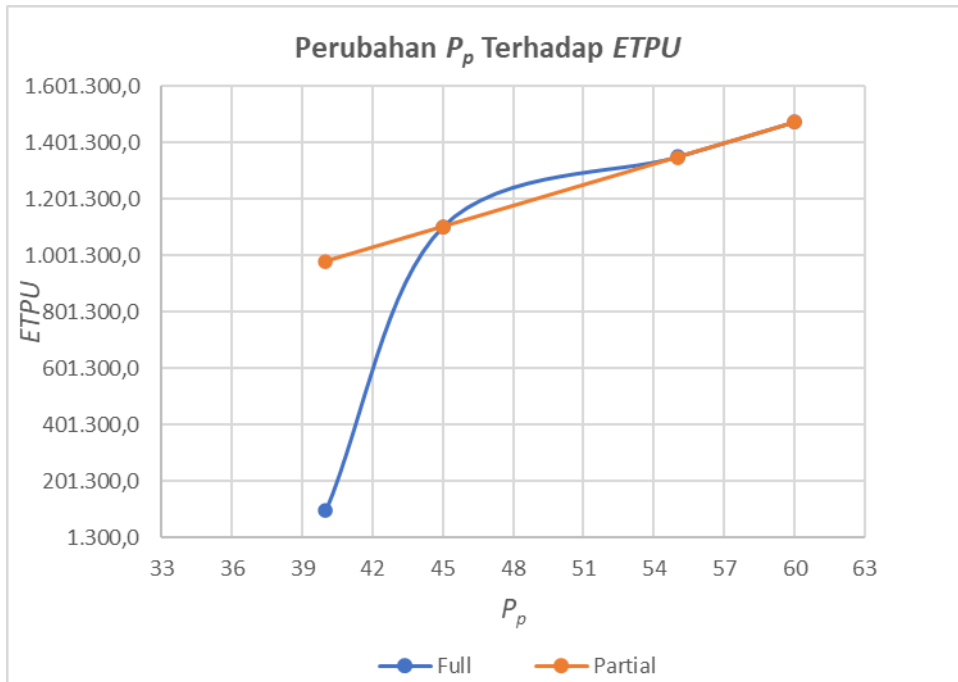
Gambar L3.10. Grafik perubahan C_d terhadap y^*



Gambar L3.11. Grafik perubahan D_1 terhadap ETPU



Gambar L3.12. Grafik perubahan C_p terhadap ETPU



Gambar L3.13. Grafik perubahan P_p terhadap ETPU

