

Budi Darma, ST., MM

Febi
UN-42
PRESS

PENDEKATAN MANAJEMEN SAINS

Untuk Pengambilan Keputusan



KATA PENGANTAR

Assalamulaikum wr. Wb

Puji dan syukur penulis ucapkan Kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan HidayahNya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan buku dengan judul **Pendekatan Manajemen Sains – Untuk Pengambilan Keputusan.**

Buku ini merupakan buku panduan untuk program studi Manajemen pada Fakultas Ekonomi dan Bisnis Islam Universitas Islam Negeri Sumatera Utara Medan, untuk matakuliah Pengantar Manajemen Sains. Manajemen Sains merupakan jembatan untuk para mahasiswa mengenali pendekatan secara holistik terhadap masalah untuk mendapatkan hasil secara sistemik baik melalui pendekatan kualitatif hingga kuantitatif. Buku ini juga memberikan representasi terhadap ilmu matematika sebagai alat bantu pemecahan masalah, walaupun penggunaannya masih didasarkan kebutuhan manajemen dalam melihat masalah.

Dalam penulisan buku ini, penulis telah banyak mendapat bimbingan serta saran dari berbagai pihak, termasuk berbagai literatur yang menjadi dasar penulis dalam membahas buku ini. Atas bimbingan serta saran yang telah penulis terima dalam menyelesaikan penulisan buku ini, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar - besarnya.

Penulis menyadari penulisan buku ini masih jauh dari sempurna, baik menyangkut isi, maupun penyajiannya, karena keterbatasan waktu dan wawasan penulis. Dalam kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun demi kesempurnaan Penulisan buku ini.

Akhir kata kesempurnaan hanya milih Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, dan semoga buku ini dapat memberi manfaat bagi saya secara pribadi dan bagi pembaca.

Medan, Agustus 2021
Penulis,

Budi Dharma

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB 1 <i>SYSTEM THINKING</i>	1
A Pengenalan <i>System Thinking</i>	1
B Konsep Sistem pada <i>System Thinking</i>	7
B.1 Subjektifitas saat Mendeskripsikan Sistem	8
B.2 Definisi dari Sistem	10
B.3 Batasan dari Sistem dan Lingkungan Relevan Sistem	13
B.4 Hirarki Sistem	14
B.5 Tingkah Laku Sistem	15
B.6 Jenis Sistem	17
C Permasalahan didalam Sistem.....	20
D Definisi Masalah dan Pemilihan Batasan Masalah.....	28
E. <i>Highligt System Thiking</i>	29
F. Studi Kasus	31
BAB 2 BIAYA RELEVAN.....	31
A. Konsep Dasar Biaya Relevan.....	31
B. Biaya Relevan dalam sudut pandang Manajemen Sains.	36
B.1 Biaya Eksplisit, Implisit, dan Tidak Berwujud	36
B.2 Biaya Eksplisit.....	39
B.3 Biaya Hangus.....	39
B.4 Biaya Peluang.....	40
B.5 Biaya Penggantian.....	42
B.6 Biaya dan Manfaat Masa Depan.....	42
B.7 Biaya Tidak Berwujud.....	43
C. Konsep Akuntansi Versus Ekonomi Biaya.....	44
D. Highlight Chapter Biaya Relevan	49
E. Studi Kasus	50
BAB 3 <i>DISCOUNTED CASHFLOW</i>.....	51
A. Konsep Arus Kas Terdiskonto (<i>Discounted Cashflow</i>)..	51

B.	<i>Time Value of Money</i>	53
B.1	<i>Coumpounding</i>	53
B.2	<i>Discounting</i>	54
B.3	Konsep biaya peluang dari tingkat diskonto	56
B.4	Nilai sekarang dari serangkaian arus kas.....	57
C.	Model <i>Discounted Cash Flow</i>	59
C.1	Model NPV (<i>Net Present Value</i>).....	63
C.2	Model IRR (<i>Internal Rate Of Return</i>)	65
D.	Highlight Arus Kas Terdiskonto	67
E.	Studi Kasus	68
BAB 4	MANAJEMEN PERSEDIAAN.....	71
A.	Elemen Manajemen Persediaan	71
A.1	Peran Persediaan.....	72
A.2	Permintaan / Demand	74
A.3	Biaya Persediaan	75
B.	Sistem Manajemen Persediaan	78
B.1	Sistem Kontinu	78
B.2	Sistem Periodik.....	80
C.	Model Matematis dalam Manajemen Persediaan	
C.1	Model EOQ (<i>Economic Order Quantity</i>).....	81
C.2	Titik Pesan Kembali	101
C3.	Stok Pengaman / <i>Safety Stock</i>	103
C4.	Kuantitas Pesanan untuk Sistem Persediaan	
Berkala.....		105
D.	<i>Highlight</i> Manajemen Persediaan.....	109
E.	Studi Kasus	109
BAB 5	ANALISIS MARJINAL	113
A.	Konsep “Marjinal”	113
B.	Konsep “Marjinal” dengan Biaya	115
B.1	Biaya Rata-Rata	116
B.2	Hubungan antara Biaya Marjinal dengan Biaya	
Rata-Rata		117
B.3	Pendapatan Total dan Pendapatan Marjinal	118
C.	Analisis “Titik Impas”	119
D.	Prinsip Dasar Analisis Marjinal	126
E.	Penggunaan Analisis Marjinal	127
E.1	Optimum EOQ.....	127
E.2	Analisis Marjinal pada Variabel Kontinu.....	129
F.	<i>Highlight</i> Analisis Marjinal	130
G.	Studi Kasus	131

	D. Highlight Manajemen Persediaan.....	109
	E. Studi Kasus.....	109
BAB 6	KETIDAKPASTIAN.....	132
	A. Konsep Ketidakpastian	132
	B. Peramalan dan Probabilitas	136
	B.1 Peramalan	136
	B.2 Metode Regresi.....	163
	B.3 Peluang	167
	C. Keriteria Keputusan didalam Ketidakpastian	178
	D. <i>Highlight</i> Ketidakpastian	181
	E. Studi Kasus	183
BAB 7	PENGAMBILAN KEPUTUSAN DENGAN BATASAN ...	185
	A. Pemrograman Linier	186
	A.1 Menentukan Variabel Keputusan	190
	A.2 Mendefinisikan Fungsi Objektif.....	191
	A.3 Menentukan Batasan Model.....	191
	A.4 Karakteristik Masalah Pemrograman Linier	215
	A.5 Properti didalam Pemrograman Linier	216
	B. Metode Simplex.....	217
	B1. Contoh Kasus Maksimasi Menggunakan Tabel Simpleks	218
	B2. Contoh Kasus Minimasi	233
	C. Masalah Pemrograman Linier yang Tidak Lazim	239
	C.1 Multi Solusi Optimal	239
	C.2 Masalah yang tidak memiliki Hasil.....	241
	C.3 Masalah Tanpa Batas.....	243
	C.4 Dual	244
	D. Analisis Sensitivitas.....	252
	E. Perubahan Nilai Kuantitas Kendala	257
	F. Soal Latihan	264
	DAFTAR PUSTAKA.....	266

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Bentuk Geometri.....	9
Gambar 1.2 Kerucut.....	10
Gambar 1.3 Komponen Sistem.....	11
Gambar 1.4 Hirarki Sistem	14
Gambar 1.5 Situasi Masalah	21
Gambar 1.6 <i>cognitive maps</i>	27
Gambar 4.1 Siklus Pesanan Persediaan	82
Gambar 4.2 Penggunaan Persediaan.....	84
Gambar 4.3 Level Q.....	85
Gambar 4.4 Rata – Rata Tahunan Persediaan.....	86
Gambar 4.5 Model Biaya EOQ.....	87
Gambar 4.6 Model EOQ dengan Penerimaan Non-Instan.....	92
Gambar 4.7 Model EOQ dengan <i>Shortages</i>	97
Gambar 4.8 Model Biaya dengan <i>Shortages</i>	98
Gambar 4.9. Titik Pemesanan Kembali dan <i>Lead Time</i>	101
Gambar 4.10. Model Persediaan dengan Permintaan yang Tidak Pasti ...	102
Gambar 4.11. Model Persediaan dengan <i>Safety Stock</i>	103
Gambar 4.12 Titik Pemesanan Ulang pada sebuah tingkat pelayanan	105
Gambar 6.1 Bentuk-Bentuk Pergerakan Pamalan: (a) Tren, (b) Siklus, (c) Pola Musiman, dan (d) Tren dengan Pola Musiman.....	138
Gambar 6.2 <i>Moving Average</i>	146
Gambar 6.3 Perkiraan <i>Exponential Smoothing</i>	150
Gambar 6.4 Perkiraan <i>Adjusted Exponential Smoothing</i>	153
Gambar 6.5 Perkiraan dengan Garis Linier	156
Gambar 6.6 Pohon Probabilitas dari Pelemparan Koin	173
Gambar 6.7 Peluang Lemparan Koin.....	176
Gambar 6.8 Digaram Pohon Peluang Lemparan	176
Gambar 7.1 Rich Picture Kasus Maksimasi	190
Gambar 7.2 Contoh Grafik Awal.....	195
Gambar 7.3 Plot Garis Menghubungkan Koordinat X dan Y.....	196
Gambar 7. 4 Pemeriksaan Titik didalam Area Kendala	197
Gambar 7.5 Area dalam Batas	198
Gambar 7.6 Menghubungkan Garis Kendala.....	198

Gambar 7.7 Area Solusi Feasible.....	199
Gambar 7.8 Pengecekan Alternatif Solusi	200
Gambar 7.9 Penentuan Titik Optimal	201
Gambar 7.10 Refleksi Titik Solusi.....	202
Gambar 7.11 Nilai Slack pada Titik Area Solusi.....	205
Gambar 7.12 Rich Picture Kasus Mininimasi.....	206
Gambar 7.13 Grafik Batasan pada Studi Kasus Minimasi	208
Gambar 7.14 Area Solusi pada Studi Kasus Minimasi.....	209
Gambar 7.15 Titik Solusi pada Studi Kasus Minimasi.....	210
Gambar 7.16 Nilai Slack pada Studi Kasus Minimasi.....	211
Gambar 7.17 Garis Batasan pada Contoh Kasus	213
Gambar 7.18 Area Solusi pada Contoh Kasus.....	213
Gambar 7.19 Titik Solusi pada Contoh Kasus.....	214
Gambar 7.20 Pergerakan Sumbu x dan y dalam Proses Mencari Solusi ..	226
Gambar 7.21 Pergerakan Titik Solusi.....	227
Gambar 7.22 Solusi Titik Berada di Luar Area Solusi	234
Gambar 7.23 Pergerakan Garis didalam Area Solusi	240
Gambar 7.24 Area Solusi dengan Masalah yang Tidak Memiliki Hasil ..	242
Gambar 7.25 Area Solusi Masalah Tanpa Batas	244
Gambar 7.26 Hubungan Model Primal dan Dual	247
Gambar 7.27 Area Solusi Perubahan Koefisien Fungsi Tujuan	253
Gambar 7.28 Area Solusi Perubahan Nilai Kendala.....	258

BAB 1

SYSTEM THINKING

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami definisi *system thinking*
- b. Memahami definisi dan konsep dari sistem
- c. Memahami apa yang dimaksud dengan keluasan sistem, hirarki sistem, perilaku sistem dan berbagai macam sistem.
- d. Memahami apa yang dimaksud dengan permasalahan dalam ruang lingkup *system thinking*
- e. Mampu mendeskripsikan sistem dalam ruang lingkup *system thinking* dengan pemodelan sistem

A. Pengenalan *System Thinking*

Manajemen Sains secara sederhana didefinisikan sebagai ilmu yang menangani secara efektif terhadap kompleksitas yang terjadi pada sistem dan bertujuan untuk pengambilan keputusan dalam sistem tersebut. Manajemen sains diperkirakan mulai berkembang sejak sekitar tahun 1940, dimana pada tahun tersebut mulai dikenal pola berfikir '*system thinking*'. '*System thinking*' didefinisikan sebagai ilmu / proses melihat bahwa **sesuatu** sebagai keseluruhan dimana bagian – bagian penyusun **sesuatu** tersebut saling berhubungan dan keterkaitan satu dengan yang lainnya.¹

¹ Daellenbach, Hans G. dan Donald C. Mc Nickle. (1995). *Management Science: Decision making through system thinking*. John Willey and Son. H.5

Pada perkembangannya, tahun 1970 dikenal pendekatan *hard OR/hard system approach*, yang dilengkapi dengan pendekatan non-kuantitatif. Pendekatan yang dilakukan pada masa itu didasarkan pada hal – hal yang bersifat formal, yaitu pendekatan proses “yang biasanya” dilakukan atau yang telah terbukti berhasil dalam menyelesaikan beberapa masalah tertentu. Proses pengambilan keputusan dilakukan dengan cara mengeksplorasi kompleksitas masalah, proses tersebut bertujuan menghasilkan penyelesaian masalah yang dapat diterima dengan baik, selain itu diharapkan dapat menjelaskan beberapa pertanyaan yang mungkin muncul seperti 'bagaimana jika', atau "apa solusi terbaik apabila terjadi perubahan biaya secara signifikan?" atau “Apakah ketidakpastian berpengaruh sebagai aspek yang kritis?”. Akan tetapi, pengetahuan terhadap informasi dan wawasan yang berguna tentang masalah adalah dasar utama pengambilan keputusan, daripada dipengaruhi oleh intuisi, emosional, atau pertimbangan saja.²

Hampir keseluruhan proses pengambilan keputusan yang ada di dunia nyata saat ini berurusan dengan permasalahan, situasi dan kondisi yang kompleks. Masalah sering samar, dan terkadang tujuan penyelesaian yang saling bertentangan, hal ini merupakan bagian dari sebuah kompleksitas, tetapi yang perlu digarisbawahi adalah bahwa situasi dari permasalahan tersebut berada dalam sebuah sistem. Dimana hampir seluruh sistem itu dibuat dan dikontrol oleh manusia. Maka, elemen **manusia** tersebut tidak dapat dikecualikan dalam proses pengambilan keputusan.

Walaupun manusia mendapat berkah atas kemampuan berpikir yang luar biasa dan wawasan yang luas, kebanyakan manusia tidak dapat mengatasi lebih dari beberapa faktor secara bersamaan waktu. Hal yang harus kita sadari

² Cooke, Steve dan Slack, Nigel. (1991). *Making Management Decisions*. Prentice Hall, Englewood Cliffs N. Relevant chapters: 1–5, 8–10

bahwa tanpa penggunaan komputer, kemampuan komputasi kita lambat dan terbatas. Kita mengalami kesulitan saat memproses dan mencerna informasi dan perhitungan dalam jumlah besar, memproses hubungan timbal balik yang bertautan terhadap interaksi antar berbagai faktor atau elemen.³ Oleh karena itu, semakin penting mengetahui bahwa pengambilan keputusan perlu dibantu oleh ilmu / metode yang tersistematis dan komprehensif sehingga dapat membantu manusia dalam memanfaatkan secara efektif daya nalarnya yang luas tetapi masih terbatas. Ilmu yang sistematis dan komprehensif tersebut kita kenal dengan **Manajemen Sains**.⁴

1. Kompleksitas pada *System Thinking*

W.R. Ashby, bapak pemikiran sistem modern, mendefinisikan bahwa kompleksitas merupakan total data atau informasi yang diperlukan yang digunakan untuk menggambarkan **sesuatu**. Ini termasuk jumlah bagian dan keterkaitannya yang membentuk **sesuatu** tersebut. Contoh sederhananya, seorang tukang daging akan memandang otak dari sapi adalah komponen dari sapi yang tersedia untuk dijual, lain halnya seorang dokter saraf yang akan memandang otak tersebut sebagai sebuah sistem saraf yang sangat penting. Dari contoh tersebut kita menyadari semakin kita mengetahui tentang **sesuatu**, maka dipastikan semakin kompleks kita melihatnya. Hal yang sama berlaku pada saat membuat keputusan.

2. Efisiensi dan Efektif pada *System Thinking*

Efisiensi fokus dalam menjelaskan seberapa baik sumber daya digunakan dalam aktivitas tertentu. Semakin tinggi efisiensi teknis

³ Ackoff, R.L. (1979). The Future of OR is Past. *OR Society*. H: 93–104

⁴ Checkland, P. (1999). *Systems Thinking, Systems Practice, includes a 30-year retrospective*. Chichester: Wiley.

dapat diketahui dari semakin tinggi hasil yang dicapai dari sebuah sumber daya tertentu atau, semakin kecil sumber daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk pada tingkat tertentu.

Contoh sederhananya pada saat mengendarai mobil, memaksimalkan rasio jarak tempuh terhadap konsumsi bahan bakar secara teknis disebut efisien. Lainhal, jika kendaraan tersebut memiliki tujuan komersial, contohnya truk, mode mengemudi seperti contoh sebelumnya dapat menjadi tidak efisien secara ekonomi, karena tidak memperhatikan komponen upah pengemudi. Sehingga kita dapat mengetahui bahwa dalam efisiensi ekonomi, untuk tujuan memaksimalkan perbedaan antara pendapatan dan total biaya, kendaraan sering kali harus dikemudikan dengan tidak efisien secara teknis. Potensi keuntungan yang berasal dari pendapatan tambahan mungkin lebih besar daripada peningkatan biaya secara teknis operasi.

Efektif fokus dalam melihat seberapa baik tujuan atau sasaran entitas atau aktivitas tercapai. Kita ambil contoh, layanan bus yang mungkin merupakan bagian dari sistem transportasi umum sebuah kota. Tujuannya mungkin untuk menyediakan transportasi yang nyaman tetapi hemat biaya. Pengoperasian setiap kendaraan yang efisien secara ekonomi hanya salah satu bagian dari aspek sistem operasi. Terdapat beberapa variabel lain yang dapat menentukan tingkat efektivitas transportasi dalam hal penentuan besaran tarif seperti alternatif rute, jumlah layanan di berbagai waktu dalam sehari, dan jenis kendaraan yang digunakan serta cara perawatannya.

Sistem memiliki kendala sumber daya dan proses dalam mencapai tujuannya . Pertukaran antara variabel-variabel pada sistem tersebut akan mempengaruhi efektivitas sistem secara keseluruhan.

Terdapat kesan bahwa efisiensi adalah musuh efektivitas. Pada dasarnya didalam *system thinking*, efisiensi sejati hanya dapat diketahui dari tujuan objektifnya. Maka pembuat keputusan perlu meningkatkan ektivitas dari keputusan dan kebijakan yang diambil. Secara umum tujuan objektif dari sebuah organisasi dapat dicapai dengan meminimalisasi biaya, optimalisasi penggunaan sumber daya, atau dengan memperbanyak output. Efisien dan efektif dalam konsep *system thinking* adalah saling melengkapi, dimana efektivitas berkaitan dengan 'melakukan hal yang benar' dan efisiensi dengan 'melakukan sesuatu dengan benar'.

3. Pola pikir sebab – akibat dan reduksionisme

Dalam beberapa kasus, pola pengambilan keputusan yang bias akita lakukan selalu kelihatan seperti linier, dimana untuk mendapatkan hasil tertentu (Y) maka diperlukan beberapa tindakan (X). Russell L. Ackoff memberikan gambaran teori yang berkenaan dengan praduga linieritas tersebut, dimana fundamental model pemikiran ilmiah secara tradisional terdiri dari 2 (dua) ide utama.

Ide pertama adalah reduksionisme, yaitu sebuah keyakinan bahwa segala yang ada didunia serta pengalamannya dapat diurai menjadi bagian yang paling kecil (dan tidak dapat dibagi lagi). Hal ini mendefinisikan bahwa perilaku bagian tersebut dan penjumlahannya diasumsikan mencukupi untuk manusia memahami dan menjelaskan perilaku sistem yang lebih besar. Ide kedua adalah bahwasanya seluruh fenomena yang ada didasarkan dari sebuah hubungan sebab yang menyebabkan sebuah akibat. Dimana jika X adalah penyebab Y, dan jika X dibutuhkan dan penting bagi Y, maka

dapat disimpulkan bahwa “sebab X” cukup untuk menjelaskan “efek Y”.

Kedua pola pikir tersebut menjadi tidak relevan untuk saat ini, dimana terdapat kemungkinan munculnya hubungan baru akibat dari hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya (kemudian disebut *emergant property*), beberapa diantara hubungan tersebut dapat direncanakan tetapi dapat juga tidak dapat diprediksi. Kita kemudian dapat menyimpulkan bahwasanya hubungan kausal mungkin tidak hanya satu arah tapi dapat secara timbal balik.

4. Latihan Contoh kasus:

Sebuah perusahaan sedang mengadakan rapat dengan tema penghematan listrik. Berikut adalah argumen dalam rapat:

- a. Penghematan dapat dilakukan dengan mematikan lampu, sehingga seluruh staf diharapkan mematikan lampu jika keluar dari ruangan atau koridor jalan didalam gedung.
- b. Dengan mematikan lampu kita memang dapat berhemat, tetapi semakin sering mematikan lampu maka akan semakin cepat lampu putus, selain itu area yang padam akan berpotensi menimbulkan kecelakaan hingga potensi kejahatan.

Berdasarkan diskusi tersebut, lakukan pendekatan efisien dan efektif untuk dapat memberikan keputusan yang terbaik dengan tujuan penghematan listrik.

Kesimpulan yang dapat diambil pada subbab ini:

- a) Kehadiran teknologi dan kemajuan peradaban modern menyebabkan sudut pandang manusia terhadap berfikir menjadi lebih kompleks.

- b) Pemikiran rasional tradisional didasarkan pada reduksionisme dan hubungan kausalitas. Pemikiran seperti ini mungkin tidak dapat mengatasi kompleksitas, dimana dibutuhkan pengambilan keputusan yang terfragmentasi dan intensif yang mungkin menjadi tidak efektif bila menggunakan pemikiran tersebut.
- c) Sebaliknya, pemikiran sistem menggunakan pandangan yang lebih lengkap, berfokus pada keseluruhan, dan mencoba menjelaskan peran atau perilaku bagian dari sudut pandang keseluruhan. Hal ini menyebabkan berpikir sistem berfokus pada efisiensi keseluruhan sistem, bukan hanya efektivitas.
- d) Sistem tidak hanya menampilkan hasil yang direncanakan dan diinginkan, tetapi juga hasil yang tidak direncanakan dan seringkali tidak diinginkan, sehingga memungkinkan hasil berlawanan dengan intuisi.

B. Konsep Sistem pada *System Thinking*

Sistem dapat didefinisikan sebagai sekumpulan entitas atau variabel yang memiliki keterkaitan satu sama lain dengan cara tertentu, cara tersebut diatur sedemikian rupa sehingga mengikuti aturan tertentu dalam berinteraksi. Secara kolektif, mereka (entitas atau variabel) memiliki tujuan untuk mencapai atau menghasilkan suatu dan terdapat kenyataan bahwa mereka secara individual (secara masing – masing) tidak dapat melakukannya (menghasilkan tujuan tersebut).

Sistem pada dunia nyata tidak mampu menciptakan diri mereka sendiri secara spontan, siap pakai untuk kita temukan. Sistem adalah penemuan manusia. Kita membayangkan atau memandang sesuatu sebagai suatu sistem untuk hajat kita sendiri dan ini adalah poin utama dalam memahami sistem.

Fakta bahwa konsep sistem adalah konseptualisasi dari manusia, hal tersebut didorong atas fakta dimana pada saat kita menggunakan sistem untuk menganalisis sesuatu, analisis kita bukanlah pandangan personal kita terhadap gabungan komponen-komponen di dunia nyata. Melainkan dari hal-hal yang mungkin belum ada, hal-hal yang kita rencanakan untuk diwujudkan, perubahan besar dari perencanaan sebelumnya, hingga yang mungkin masih akan diimplementasikan. Terkadang visi ini adalah idealisasi dari apa yang ingin kita lihat, idealisasi yang kita tahu tidak akan pernah sepenuhnya menjadi kenyataan, tetapi yang kita perjuangkan.

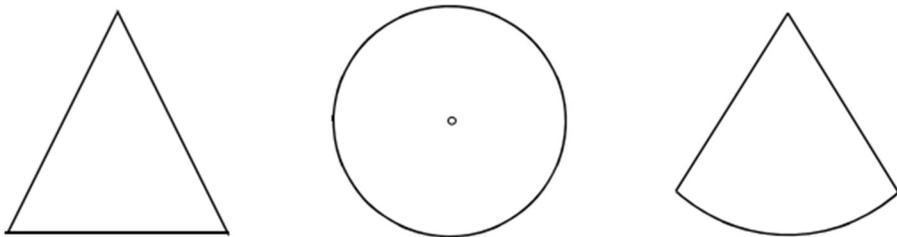
B.1 Subjektivitas saat Mendeskripsikan Sistem

Cara personal melihat sesuatu sebagai suatu sistem sangat tergantung pada kepentingan pribadi personal tersebut sebagai pengamat. Secara personal menganggap komponen-komponen tersebut terakumulasi dan terorganisir menjadi sebuah sistem akan menentukan jenis sistem yang terlihat. Akan tetapi, jika ada dua orang atau lebih yang melihat hal yang sama dan situasi yang sama dengan tujuan yang sama dalam pikiran pribadi masing-masing personal mungkin sangat berbeda konseptualisasi dan perakitan terorganisirnya. Alasan untuk ini adalah bahwa cara individu memandang suatu situasi dipengaruhi oleh faktor-faktor yang sangat pribadi oleh individu tersebut — sehingga memungkinkan aspek-aspek yang bahkan mungkin tidak disadari sepenuhnya oleh pribadi orang tersebut.

Faktor yang menyebabkan perbedaan pendapat pribadi dapat berupa pendidikan, latar belakang budaya dan sosial, pendidikan, pengalaman praktis, hingga nilai-nilai atau keyakinan pribadi individu. Oleh karena itu, salah satu keterampilan yang harus dipelajari oleh semua ilmuwan

manajemen pemula adalah kemampuan melihat situasi melalui perspektif dan sudut pandang orang lain.

Sebenarnya, Realitas itu lebih beragam dan lebih membingungkan. *partial knowledge* (didefinisikan sebagai tahap peralihan antara sesuatu yang tidak diketahui dan sesuatu yang sangat dipahami) atau interpretasi apriori, atau apa yang kita ketahui tentang sesuatu (dapat berupa informasi dari orang lain) akan mempengaruhi bagaimana kita mengamati. Mari kita lihat gambar berikut:

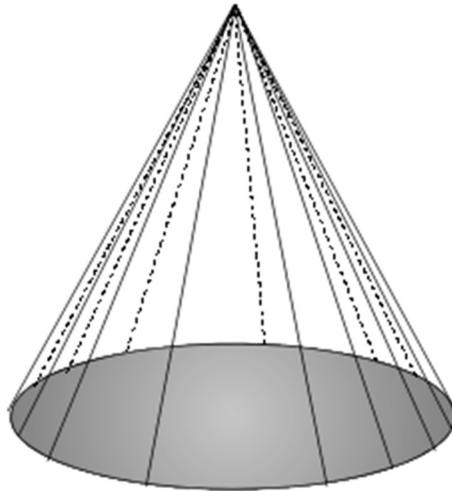


Gambar 1.1 bentuk geometri

Pengetahuan kita saat ini akan mendefinisikan Gambar 1.1 sebagai sebuah segitiga, lingkaran dan sebagian dari sebuah lingkaran. Jelas bahwa pandangan Sebagian kita atas masing – masing gambar membuat hambatan kita untuk berfikir lebih jauh dan komprehensif. Definisi awal tersebut, tidk sepenuhnya keliru tetapi apabila kita mencoba untuk melihat hal lain dan mencoba menghubungkan gambar yang disediakan mungkin kita akan mendapatkan gambaran lain seperti yang terlihat pada Gambar 1.2.

Ketika kita melihat sebuah sistem, maka subjektifitas tidak bisa lepas darinya, sehingga sebenarnya saat kita menganalisis sebuah sistem maka kita akan mencoba melihat sistem tersbut dengan memperbesar

subjektifitasnya. Sehingga penting untuk mengetahui ketika orang lain melihat sistem yang sama, terdapat kemungkinan terjadi perbedaan definisi, tidak hanya pada atribut sistem tetapi juga dapat aspek dan ruang lingkupnya. Oleh karena itu menjadi penting untuk tidak melabeli sistem tersebut sebagai “benar” atau “salah”. Keputusan yang tepat hanya dapat diketahui dari seberapa efektif definisi yang dibuat atas mengapa kita butuh mendefinisikan sistem tersebut. Sehingga kita dapat simpulkan bahwa berfikir sistemik itu bukan masalah benar atau salah saja tetapi dapat berarti diantara benar dan salah tersebut.



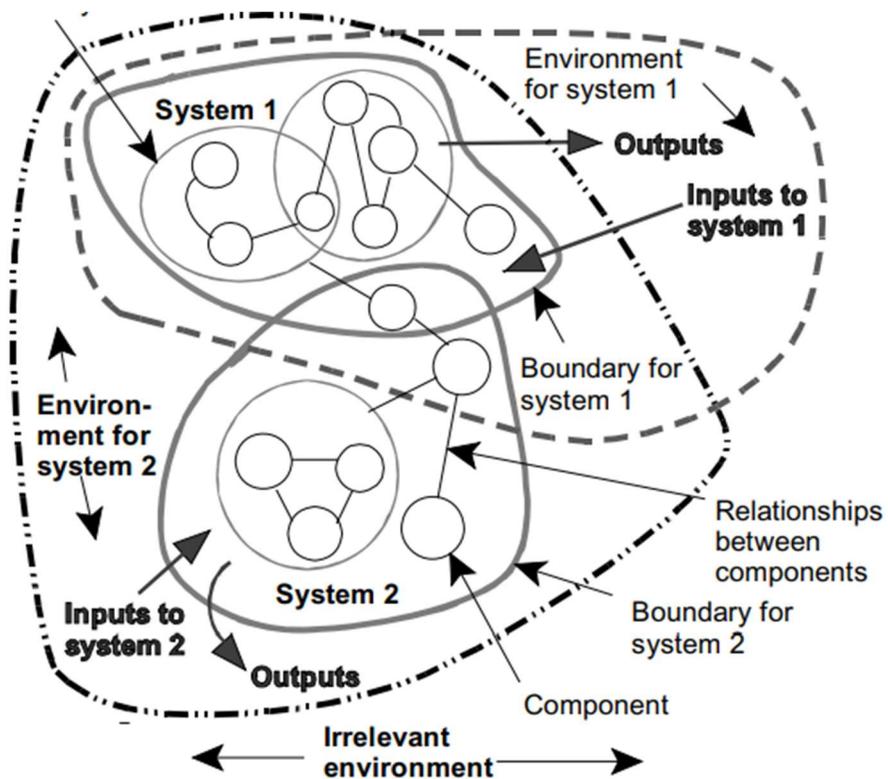
Gambar 1.2 Kerucut

B.2 Definisi dari Sistem

Kita dapat mendefinisikan sistem sebagai berikut:

- a) Sistem adalah pengkoorganisasian pemasangan komponen. Makna 'Terorganisir' berarti terdapat hubungan khusus antara komponen.

- b) Sistem melakukan sesuatu sehingga terdapat tingkah laku yang unik yang menjadi pembeda antar sistem.
- c) Setiap komponen dalam sistem memiliki kontribusi atas tingkah laku sistem tersebut, tidak dimungkinkan bahwa ada komponen yang bersifat independen didalam sistem, sehingga sifat dan tingkah laku sistem akan berubah bila ada komponen yang hilang atau berubah.
- d) Komponen – komponen dalam sistem dapat membentuk kelompok yang kemudian kita kenal dengan sub sistem.
- e) Sistem memiliki sebuah lingkungan diluarnya (diluar sistem tersebut), yang menyediakan inputan sistem dan menerima output dari sistem.
- f) Sistem diidentifikasi perorangan berdasarkan ketertarikan perorangan terhadap kebutuhannya pada sistem tersebut.



Gambar 1.3 Komponen Sistem

Bahan baku penyusun sistem diidentifikasi sebagai **komponen** sistem, **hubungan** antar komponen tersebut, **sifat / tingkah laku** atau **aktifitas** sistem tersebut, dengan sistem tersebut sehingga akan muncul **inputan** dari lingkungan dan **output** yang diterima oleh lingkungan, dan ketertarikan / **kepentingan khusus dari pengamat** sistem tersebut.

Pada dasarnya ketertarikan kita sebagai pengamat atau analis atau penentu keputusan pada sebuah sistem terletak pada apa sebenarnya **aktifitas** dari sistem tersebut. Kegiatan tersebut kita identifikasikan sebagai **proses transformasi**, yaitu **perubahan input** yang berasal dari lingkungan yang kemudian berproses menjadi output bagi lingkungannya. **Lingkungan yang berhubungan** terdiri atas inputan yang mempengaruhi sistem dan aspek yang terpengaruh oleh sistem tersebut. Mari kita lihat input dan output yang berhubungan dengan lingkungan pada sistem:

- a) Input: terdiri dari *controlled* dan *uncontrolled*. Input *uncontrolled* (atau diasumsikan begitu) berjumlah cukup banyak tetapi pada dasarnya input ini bersifat *given* dan tidak dapat dipengaruhi oleh pembuat keputusan. Sebaliknya input *controlled*, merupakan inputan yang dapat dipengaruhi / dikendalikan oleh pembuat keputusan, proses pengendalian tersebut dapat berarti menjadi variabel keputusan, pemilihan salah satu dari serangkaian proses yang dapat diambil, keputusan penggunaan sumberdaya dalam jumlah tertentu, atau dapat berupa keputusan yang kemudian diikuti perubahan perilaku sistem yang menunjukkan sebuah kondisi yang dituju oleh pembuat keputusan.

b) Output:

Merupakan sesuatu yang dihasilkan dari sistem atau diberikan oleh sistem, seperti produk / layanan, informasi, data hingga limbah. Sesuatu tersebut memiliki **ukuran performansi** atau bisa didentikkan sebagai indikator dari perilaku sistem. Sehingga sebenarnya tujuan dalam mempelajari suatu sistem, menjadi penentu sistem mana yang sebenarnya ingin diukur oleh pengamat / pemilik keputusan.

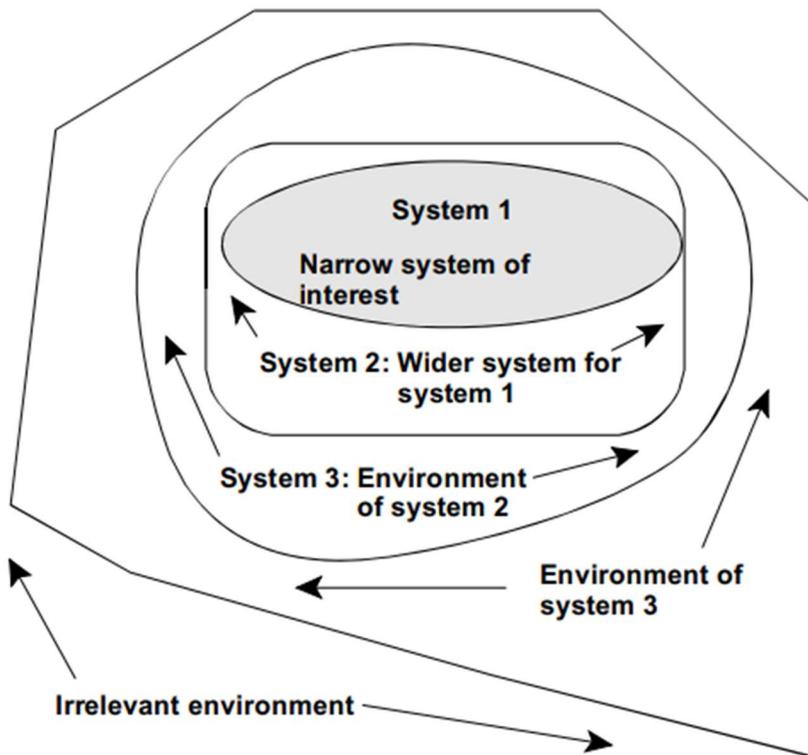
B.3 Batasan dari Sistem dan Lingkungan Relevan Sistem

Batasan yang dimaksud adalah batasan antara sistem dan lingkungannya. Sehingga, **membuat batasan tersebut juga merupakan aspek kritis dari sebuah *system thinking***. Batasan yang dibuat ini akan menentukan bagaimana proses transformasi pada sistem yang menghasilkan output secara natural, dan juga menentukan siapa yang akan mendapat keuntungan atau akan mendapat kerugian sebagai dampak dari hasil transformasi sistem tersebut. Kesimpulannya, ***boundary judgements*** / penilaian batasan sistem, yaitu mempertimbangkan alternatif batasan yang akan yang dibuat dalam hal konsekuensinya dan menilai kembali saat kita belajar lebih banyak tentang sistem.

Menentukan lingkungan yang relevan dan tidak relevan juga menjadi salah satu bagian kritis dalam menentukan batasan sistem. Untuk setiap pilihan batasan sistem, analisis harus waspada terhadap asumsi implisit atau penilaian batas. Sebuah sistem **untuk operasi masa depan suatu entitas atau bagian dari entitas**, kita lihat perusahaan yang menggunakan masa lalu data untuk memperkirakan input mengandung beberapa asumsi implisit:

- i. perilaku masa depan lingkungan akan serupa dengan perilaku masa lalu (misalnya permintaan untuk produk atau layanan akan tetap stasioner, yaitu sama atau tren saat ini akan terus);
- ii. perubahan dalam output sistem tidak akan berpengaruh pada input yang relevan ke dalam sistem
- iii. dan sistem tidak memiliki kendali atas aspek-aspek ini, padahal sebenarnya kendali tersebut mungkin (misalnya permintaan untuk produk atau layanan entitas dapat dipengaruhi melalui promosi).

B.4 Hirarki Sistem



Gambar 1.4 Hirarki Sistem

Pengendalian terhadap suatu sistem dapat berupa menetapkan tujuan dari *contained system*, melihat seberapa baik sistem dapat mencapai tujuan tersebut, dan memiliki kendali atas sumber daya penting yang dibutuhkan oleh *contained system*. Pengendalian sistem ini kemudian dapat dianalogikan sebagai sistem yang lebih luas, sehingga menjadi sistem kepentingan yang sempit. Semakin luas sistem (termasuk lingkungan relevannya sendiri) dengan demikian menjadi lingkungan yang relevan dari sistem yang lebih dangkal yang kemudian sebagai sistem yang kita analisis. Misalnya, jika sistem pengurangan biaya pada sistem penggajian kayu sebagai *contained system*, maka sistem pemaksimalan keuntungan penggajian kayu dan lingkungannya adalah sistem yang lebih luas. Keuntungan melihat dua sistem dalam hierarki sistem yang sempit dan sistem yang lebih luas adalah bahwa hubungan mereka ditampilkan dalam konteks yang benar. Ini mungkin menunjukkan bahwa perbaikan dalam kinerja sistem sempit membutuhkan tindakan yang harus diambil dalam sistem yang lebih luas.

B.5 Tingkah Laku Sistem

System State

Bagaimana kita menggambarkan perilaku suatu sistem? Kami menunjukkan betapa beragamnya karakteristik, sifat, atau atribut dari setiap komponen berubah. Mari kita perhatikan sistem lalu lintas. Perilaku sistem lalu lintas selama interval waktu yang singkat diketahui jika kita mencatat dengan tepat untuk awal dan akhir waktu interval segmen jalan dan sambungan jalan mana yang terbuka untuk perjalanan dan di mana setiap kendaraan berada dan ke mana arah dan kecepatannya. Atribut dari kepentingan untuk setiap segmen jalan dan interkoneksi jalan adalah apakah itu terbuka atau tutup. Atribut mobil terdiri dari lokasi, arah

perjalanan, dan kecepatan perjalanan. Kemudian kita menyebut atribut tersebut sebagai **variabel status**. Kapan saja dalam waktu setiap variabel negara bagian memiliki nilai numerik tertentu (misalnya "kecepatan" dan "koordinat geografis" untuk setiap mobil) atau nilai kategorikal ("terbuka" atau "tertutup" untuk segmen jalan). Himpunan nilai yang diasumsikan oleh semua variabel keadaan pada titik tertentu dalam waktu disebut sebagai **keadaan sistem pada saat itu**. Perilaku sebuah sistem sepenuhnya dapat diketahui jika kita dapat mengetahui bagaimana keadaan sistem berubah dalam waktu tertentu.

Ketika kita mulai mengamati sistem, nilai awal dari variabel keadaan ini adalah input (baik yang diamati atau yang ditugaskan secara sewenang-wenang). Nilai tersebut berubah dengan cara:

- 1) Perubahan *state variabel* adalah hasil dari input yang diberikan oleh orang yang memiliki sarana untuk mempengaruhi perilaku sistem tersebut.
- 2) Perubahan komponen *state variabel* merupakan akibat dari aktivitas komponen itu sendiri atau hubungan dengan komponen lain.

Berbagai Perilaku Sistem

Perilaku sistem dapat sangat bervariasi, bahkan untuk sistem yang sangat sederhana. Dalam studi sistem kehidupan nyata kita jarang tertarik pada detail kecil dari perilaku sistem. Ini akan dengan cepat melampaui kemampuan kognitif kita. Kekhawatiran kita dengan perilaku sistem agregat atau rata-rata. Mari kita lihat pada sistem lalu lintas, analis hampir tidak tertarik dengan pergerakan setiap kendaraan, tetapi lebih ketertarikan dengan rata-rata 15 menit atau setengah jam dari penggunaan

kapasitas atau arus lalu lintas sepanjang lintasan jalan dan persimpangan jalan tertentu selama hari tertentu. Atau analis ingin mengumpulkan informasi tentang jumlah perjalanan yang dilakukan dari pinggiran kota tertentu ke berbagai bagian lain kota untuk perencanaan kebutuhan jalan di masa depan. Hasil dari contoh tersebut memberi informasi bahwa hanya beberapa **variabel sistem penting yang dilacak secara rinci**, dan mereka biasanya dibentuk ukuran ringkasan untuk semua variabel keadaan dari kelas atau subkelompok komponen tertentu, seperti jumlah kendaraan yang melewati lokasi tertentu di jalan jaringan dalam selang waktu tertentu. Kinerja sistem secara keseluruhan atau dari berbagai subsistem dievaluasi berdasarkan keadaan agregat atau ringkasan variabel.

Berbagai macam perilaku sistem adalah dimensi lain yang menambah kompleksitas sistem tersebut untuk pengambilan keputusan.

B.6 Jenis Sistem

1. Sistem Diskrit

Sistem diskrit mengubah keadaannya pada titik-titik diskrit didalam waktu, diantara waktu-waktu tersebut keadaan sistem tetap dan tidak berubah. Berikut adalah beberapa contoh lain dari sistem diskrit:

- a) Jumlah saluran telepon atau nomor telepon operator sibuk adalah dua dari variabel keadaan penting. Masing-masing hanya dapat berupa bilangan bulat.
- b) Dalam sistem pemangsa/mangsa, keadaan digambarkan dengan jumlah pemangsa dan jumlah mangsa yang hidup setiap saat. Keduanya adalah variabel diskrit.

- c) Sistem perbaikan alat tenun, dua variabel keadaan yang menjadi perhatian utama adalah jumlah mesin operasi dan jumlah mesin yang rusak pada suatu titik waktu tertentu merupakan variabel diskrit.

2. Sistem Kontinu

Sebaliknya, pada sistem lalu lintas yang sama, beberapa variabel keadaan sistem jaringan jalan (seperti lokasi dan kecepatan setiap kendaraan, atau kepadatan arus lalu lintas pada segmen jalan tertentu) berubah terus menerus dari waktu ke waktu saat kendaraan bergerak di sepanjang segmen jalan atau melalui persimpangan. Oleh karena itu keadaan sistem juga berubah terus menerus. Sehingga kemudian kita menyebut variabel tersebut adalah variabel kontinu, dimana jumlah kemungkinan keadaan sangat besar, bahkan jika setiap variabel dapat dibatasi pada rentang nilai yang kecil.

Sistem kontinu dapat berubah terus menerus, sehingga didalam praktiknya analisis keadaannya dengan cara mengamati dan mencatat titik-titik waktu tertentu yang teratur, katakanlah, setiap beberapa menit. **Semakin dekat rekaman berurutan tepat waktu, semakin akurat perilaku sistem yang sebenarnya diperkirakan.**

Banyak sistem memiliki variabel keadaan diskrit dan kontinu yang dapat mengubah nilainya secara terus menerus atau hanya pada titik waktu diskrit. Selanjutnya, 'pengamat' sistem mungkin karena alasan kesederhanaan mendekati variabel keadaan kontinu sebagai diskrit atau variabel diskrit sebagai kontinu.

3. Sistem Deterministik dan Stokastik

Sistem Deterministik diindikasikan jika perilaku suatu sistem dapat diprediksi dalam setiap detail. Misalnya, untuk sebagian besar

studi tata surya dipandang sebagai sistem deterministik. Lintasan setiap planet dapat diprediksi hampir dengan tepat. Neon animasi tanda-tanda iklan yang melalui pola reguler dapat dilihat sebagai deterministik sistem. Urutan lampu lalu lintas di sepanjang jalan satu arah diatur pada pola yang tetap pada jam-jam tertentu dalam sehari sehingga menghasilkan gelombang hijau. Mengingat kondisi awal yang sama, sistem deterministik akan selalu menunjukkan perilaku yang persis sama, yaitu melalui urutan perubahan keadaan sistem yang sama.

Sistem stokastik diindikasikan jika beberapa perilaku mungkin dipengaruhi oleh variabel input yang acak atau stokastik. Sistem seperti ini disebut sistem stokastik. ('Stochastic' berasal dari bahasa Yunani *stochos*, yang berarti 'menebak').

Tetapi apabila variasi perilaku sistem bernilai kecil, kita masih dapat memperkirakannya dengan sistem deterministik.

4. Sistem Terbuka dan Tertutup

Konsep sistem tertutup dan sistem terbuka diperkenalkan oleh Ludwig von Bertalanffy. Sebuah **sistem tertutup** tidak memiliki interaksi dengan lingkungan hidup, tidak terdapat inputan dan tidak ada output, bahkan tidak memiliki lingkungan. Sebaliknya, **sistem terbuka** berinteraksi dengan lingkungan, dengan menerima input dan memberikan output pada lingkungan tersebut.

Dalam kehidupan nyata tidak ada sistem yang benar-benar tertutup. Setiap sistem kehidupan nyata memiliki lingkungan yang berinteraksi dengannya, meskipun hanya dengan cara kecil. Jadi, konsep sistem tertutup adalah konsep teoritis. Tanpa interaksi dengan lingkungan, perilaku diatur sepenuhnya oleh interaksi di antara

komponen-komponen sistem dan kondisi awal atau awal. Ini menentukan hingga detail terakhir bagaimana sistem berperilaku. Oleh karena itu, sistem tersebut harus bersifat deterministik.

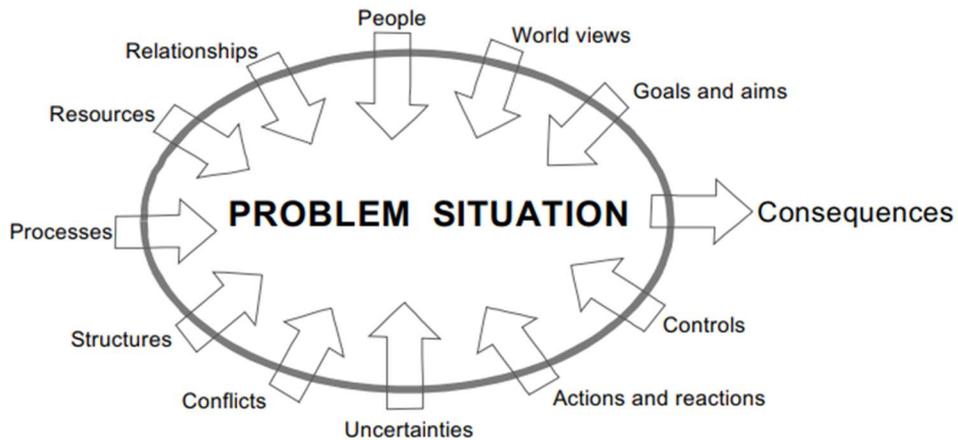
Sistem yang ditetapkan untuk tujuan pengambilan keputusan selalu merupakan sistem terbuka, karena dengan definisi keputusan atau aturan pengambilan keputusan adalah masukan ke dalam sistem. Sistem stokastik juga merupakan sistem terbuka, karena faktor yang menyebabkan keacakan dalam perilaku adalah hasil dari gaya atau peristiwa yang tidak termasuk di dalam sistem, biasanya karena penyebab keacakan mereka tidak sepenuhnya dipahami.

C. Permasalahan di Dalam Sistem

Semenjak batasan sistem merupakan hal kritis, maka kita perlu mengetahui faktor yang mempengaruhi pemenuhan batasan tersebut, salah satunya adalah tentang situasi masalah, situasi masalah “*problem situation*” merupakan faktor yang akan mempersempit sistem menjadi *narrow system*, kemudian menghubungkannya dengan lingkungannya yang relevan atau sistem kepentingan yang lebih luas hal ini diperlukan untuk pembuatan keputusan.

Situasi masalah didefinisikan sebagai konteks di mana masalah itu terjadi. **Situasi masalah** adalah jumlah atau agregat dari semua aspek yang dapat atau dapat mempengaruhi atau membentuk masalah atau isu yang menjadi perhatian peneliti. Situasi masalah merupakan hubungan yang kompleks berasal dari orang-orang yang terlibat, sudut pandang yang terlibat, dan tujuan serta sasaran hubungan tersebut, hubungan fisik dan kendala yang berdampak pada situasi, struktur dan proses yang digunakan atau berpotensi tersedia yang mengatur perilaku, kontrol dan tindakan yang dimungkinkan oleh sumber daya, ketidakpastian yang terkait dengan salah satu dari mereka,

dan yang terakhir, namun tidak kalah pentingnya adalah konsekuensi yang berasal dari interaksi mereka untuk semua yang terlibat, atau secara langsung dan terpengaruh secara tidak langsung.



Gambar 1.5 Situasi Masalah

Jadi, apakah itu “masalah”, mari kita lihat determinasinya berdasarkan sudut pandang **pemilik masalah**:

- a) Adanya ketidakpuasan terhadap keadaan saat ini (dalam konteks kehidupan nyata), atau terdapat kebutuhan saat ini atau masa depan yang tidak terpenuhi, yaitu memiliki beberapa tujuan atau sasaran yang ingin dicapai atau target yang ingin dicapai.
- b) mampu menilai kapan tujuan, sasaran, atau target ini telah tercapai dengan derajat yang memuaskan.
- c) memiliki kendali atas beberapa aspek dari situasi masalah yang mempengaruhi sejauh mana tujuan, sasaran, atau target mana yang dapat dicapai.

Dari definisi diatas kita mengetahui terdapat enam elemen **masalah** sbb:

- 1) Pengambil keputusan,
- 2) Tujuan dari Pengambil keputusan
- 3) Keterkaitan kriteria keputusan,
- 4) Ukuran kinerja,
- 5) input yang mengendalikan atau tindakan alternatif,
- 6) konteks di mana masalah itu terjadi.

Kriteria alternatif dari keputusan dapat berupa '**memaksimalkan keuntungan** tahunan', dengan **tingkat keuntungan** tahunan menjadi **ukuran kinerja**. Pada konteks tersebut, ketika kita telah mendapatkan cara untuk mendapatkan keuntungan yang tertinggi maka dapat disebutkan kinerja memuaskan.

Konteks masalah adalah semua aspek yang secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi ukuran kinerja, dimana pengambil keputusan tidak memiliki kendali langsung atau dapat dianggap sebagai 'input pemberian', seperti lokasi perusahaan saat ini, potensinya sumber bahan baku, dan permintaan produknya.

Perbedaan *Objective* (tujuan/sasaran) dengan Kriteria Keputusan

Objective (tujuan/sasaran) didefinisikan sebagai 'akhir ke arah mana upaya diarahkan, tujuan, sasaran, atau akhir dari tindakan'. Kriteria didefinisikan sebagai 'prinsip atau standar yang menjadi dasar penilaian' atau keputusan didasarkan, baik 'prinsip' dan 'standar' menyiratkan aturan. Sehingga sebuah kriteria merupakan aturan yang digunakan untuk menilai apakah atau seberapa baik tujuan telah dicapai. Mungkin hanya ada satu kriteria yang relevan untuk mengevaluasi seberapa baik tujuan telah tercapai,

seperti 'memaksimalkan keuntungan' untuk tujuan 'mencapai keuntungan tertinggi'. Sehingga kemudian dapat kita simpulkan kriteria dan tujuan itu bertepatan/berhimpit/bersamaan.

Didalam ruang lingkup “masalah” terdapat pemangku kepentingan, yaitu:

1) Pemilik masalah,

Diidentifikasi sebagai orang-orang yang melakukan kontrol atas aspek-aspek tertentu dari situasi masalah, khususnya atas pilihan tindakan yang akan diambil. Pemilik masalah biasanya bertindak sebagai pembuat keputusan. Terdapat beberapa tingkat pemilik masalah, seperti: seseorang yang memiliki kekuasaan tertinggi atas semua aspek yang dapat dikendalikan dalam sistem dengan derajat kepentingan yang lebih luas, dan pada tingkat tertentu terhadap sumber daya yang dapat dikendalikan, tetapi mungkin telah mendelegasikan sebagian kekuasaan itu kepada orang lain, dan mereka yang diberi kekuasaan terbatas untuk membuat keputusan dan memulai perubahan dalam sistem kepentingan yang sempit atau beberapa subsistem.

2) Pengguna masalah,

Diidentifikasi sebagai pengguna solusi dan/atau melaksanakan keputusan yang disetujui oleh pemilik masalah. Mereka tidak memiliki wewenang untuk mengubah keputusan atau memulai tindakan baru.

3) *Problem consumer*

Diidentifikasi sebagai pihak yang diuntungkan atau dirugikan dari menggunakan solusi.

4) Penyelesai masalah

Diidentifikasi sebagai pihak yang menganalisis masalah dan mengembangkan solusi untuk disetujui oleh pemilik masalah.

Rangkuman Situasi Masalah

Memperoleh pemahaman yang cukup lengkap dan rinci tentang situasi masalah adalah kondisi yang diperlukan untuk intervensi sistem yang sukses. Analisis harus 'merasa' secara menyeluruh untuk apa pun yang dapat berdampak pada hasil. Berikut adalah metode yang digunakan untuk merangkum situasi dari permasalahan pada sistem:

1) *Mind Maps*,

Mind maps berisikan memikirkan fenomena, dan masalah, atau beberapa pemikiran muncul di benak analis. Hal tersebut termasuk, aspek dan konsep, termasuk ketakutan dan tujuan, data dan fakta, dan kemungkinan tindakan dan reaksi oleh diri sendiri atau orang lain atau entitas yang terlibat dan konsekuensinya, direncanakan dan tidak direncanakan, diinginkan dan tidak diinginkan, yang dihasilkan dari tindakan tersebut, termasuk konteks atau lingkungan yang lebih luas dari itu semua. Hal-hal tersebut diatur dalam cara yang bermakna dengan menunjukkan aspek-aspek yang terkait erat dalam kelompok, dengan garis yang menghubungkan hal-hal yang terkait, dan dengan panah yang menunjukkan hubungan kausal antar item. Tidak ada ketentuan formal yang digunakan dalam *mind maps*.

2) *Rich Picture Diagrams*

P. Checkland [1993/99] merekomendasikan cara mendeskripsikan sistem dapat dilakukan dengan *rich picture* (ringkasan bergambar) dari segala sesuatu (atau hampir secara keseluruhan) *point of view* dari pengamat, untuk mengetahui bagaimana perilaku terhadap situasi sistem yang dipelajari. Istilah '*Rich picture*' hanya istilah yang lebih berwarna untuk ringkasan

situasi, dengan representasinya seperti gambar interaktif atau boleh jadi bentuk kartun. Gambar tersebut menunjukkan beberapa jenis item dan simbol yang umum digunakan. Meskipun perhatian utama mungkin hanya pada aspek situasi tertentu, ada baiknya untuk mendeskripsikan situasi tersebut dengan gambar. Dikarenakan gambar tersebut memiliki jaminan untuk tidak melewatkan interaksi dan hubungan yang bisa menjadi penting untuk hal tertentu masalah yang ingin dianalisis secara rinci, sehingga disarankan untuk menggambarkan semua aspek secara sadar dari pengenalan terhadap situasi.

Mind maps dan *rich picture* memiliki komponen utama yaitu:

- 1) Elemen struktur: seluruh aspek atau komponen dari situasi masalah yang relatif stabil atau hanya berubah sangat lambat dalam kerangka waktu tertentu yang tersirat dalam situasi. Hal tersebut mencakup semua aspek fisik, seperti struktur fisik, bangunan dan peralatan, dan produk yang terlibat, tetapi juga logis, fungsional, atau aspek struktural intelektual dan sifat-sifatnya, kemungkinan alternatif, keunggulan atau ketidakunggulan, informasi dan data, aturan bagaimana sesuatu dapat terjadi atau kebutuhan terhadap pelayanan.
- 2) Unsur proses: Semua aspek dinamis yang mengalami perubahan atau sedang dalam keadaan mengalir, seperti aktivitas yang berlangsung di dalam struktur, aliran, dan pemrosesan materi atau informasi, dan setiap pengambilan keputusan yang berlangsung.
- 3) Hubungan antara elemen struktur dengan proses dan antara proses – proses: hal ini menjawab
 - a) apakah struktur mempengaruhi atau mengkondisikan proses?

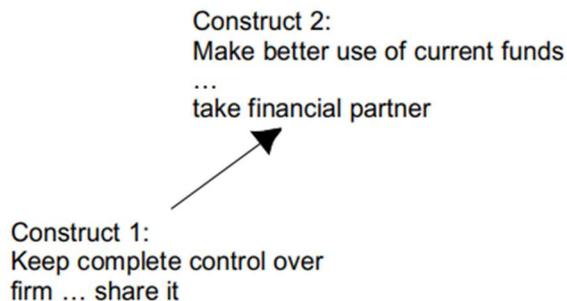
- b) Bagaimana satu proses mempengaruhi atau mengkondisikan proses lainnya?
- c) Hal atau aspek apa yang merupakan hasil langsung atau tidak langsung dari hubungan seperti yang dibentuk? Misalnya, jika semua informasi tentang jadwal penerbangan pesawat dan reservasi disimpan di bank data komputer masing-masing maskapai penerbangan (struktur), lalu memesan penerbangan (suatu proses) mengharuskan pelanggan menangani melalui agen perjalanan yang memiliki akses ke semua bank data ini dan bukan hanya beberapa, atau pilihan penerbangan dapat dikurangi secara drastis.

Ingat: *Mind maps* dan *rich picture* **harus terlihat** seperti **flowchart** yang harus menggambarkan dan mendeskripsikan aliran dokumen, informasi, atau materi, atau diagram prioritas tentang bagaimana kegiatan harus dilakukan dieksekusi atau seperti diagram alir dari proses keputusan.

3) *Cognitive Maps*,

Cognitive maps adalah alat yang ditemukan C.L. Eden [1983] diadaptasi dari G.A. Kelly (1955) teori konstruksi pribadi. Berbeda dengan peta *mind maps* dan *rich picture*, yang cocok untuk mewakili persepsi agregat pribadi dan kelompok. Berangkat dari situasi masalah, *cognitive maps* hanya menangkap persepsi subjektif pribadi dari seorang individu. Hal tersebut mengambil bentuk jaringan pernyataan, mengekspresikan konsep — ide, tujuan, perhatian, preferensi, tindakan — dan kontras atau kebalikannya. Konsep-konsep tersebut dihubungkan bersama oleh panah, yang menunjukkan arah koneksi,

yaitu konsep mana yang mengarah secara logis ke konsep lain mana. Berikut adalah contoh *cognitive maps*:



Gambar 1.6 *Cognitive Maps*

Teori konstruk pribadi adalah model yang menjelaskan bagaimana individu memahami dunia mereka - atribut makna peristiwa dan pengalaman, mengembangkan dan memahami hubungan antara pengalaman, melalui konsep terkait disebut konstruksi. Kecuali kita bertindak atau bereaksi secara naluriah, kita dipandu oleh kerangka konstruksi untuk mengantisipasi konsekuensi dari setiap tindakan yang berpotensi tersedia untuk dianalisis.

Apa yang mungkin tampak sebagai perilaku irasional dapat dipahami sebagai rasional dalam kerangka subjektif. Selain itu, kerangka kerja tidak konteks-independen. Pengalaman dalam situasi yang berbeda dapat menghasilkan dan menimbulkan set konstruksi yang berbeda, dan pengalaman baru dapat mengubahnya dengan cara yang sama seperti mereka dapat mengubah pandangan dunia seseorang. Konstruksi biasanya terdiri dari dua kutub. Kutub pertama atau pilihan mengungkapkan konsep yang diinginkan (ide, makna, tujuan, atau tindakan) dan kutub kedua atau kutub yang tidak diinginkan menunjukkan kontras atau berlawanan. Kebalikannya belum tentu kontradiksi logis, tetapi kontras subjektif yang dirasakan.

D. Definisi Masalah dan Pemilihan Batasan Masalah

Tujuan untuk mendapatkan pemahaman yang cukup tentang situasi masalah adalah untuk menggambarkan masalah yang akan dianalisis. Ini tidak hanya berarti mengidentifikasi masalah yang benar yang menjadi perhatian, tetapi juga ruang lingkup, bentuk, dan tingkat detail atau kedalamannya. Ini semua harus sesuai untuk menghasilkan wawasan dan jawaban yang berguna untuk pengambilan keputusan atau pemecahan masalah. Hal tersebut melibatkan evaluasi kritis dari aspek mana dari situasi masalah harus dimasukkan dalam analisis dan aspek mana yang dapat diabaikan. Mereka yang termasuk baik menjadi bagian dari sistem kepentingan yang sempit atau lingkungan Hidup. Dengan kata lain, kita harus memilih batas untuk keduanya dalam pandangan sistem yang memiliki kepentingan lebih sempit dan lingkungannya yang relevan.

Pemilihan batasan masalah adalah aspek yang paling kritis dari pemikiran sistem. Sistem kritis heuristic dikembangkan oleh W. Ulrich pada tahun 1983 [Ulrich, 1996], **Sistem kritis** ini merupakan kerangka kerja yang komprehensif dan sistematis untuk menundukkan pemilihan batas yang terawasi oleh analis.

Beberapa metode penataan masalah mencurahkan upaya yang cukup besar untuk menilai aspek mana yang harus dipertimbangkan dan mana yang yang dapat diabaikan selama fase tertentu dalam analisis. Pemilihan batasan masalah sebagian besar akan memperbaiki ruang lingkup, arah, dan fokus semua analisis selanjutnya. Tidak hanya menentukan input mana yang dianggap dapat dikontrol, tetapi juga yang manfaat dan biayanya termasuk dalam ukuran kinerja, dan dalam khususnya pemangku kepentingan potensial yang direduksi menjadi pelanggan bermasalah. Pemilihan batasan masalah yang tidak tepat sering berarti bahwa manfaat atau keuntungan yang diperoleh

untuk sistem sempit bunga sebagian atau seluruhnya dinegasikan oleh kerugian atau kerugian dalam arti yang lebih luas sistem.

E. *Highligt System Thinking*

Pemilik masalah dan/atau analis memandang situasi masalah terhadap *fair degree of arbitrariness*. Hal ini sangat dipengaruhi oleh tujuan dari analisis yang dilakukan, pandangan dunia analis dan/atau pemilik masalah, dan sumber daya (waktu, dana, orang) yang tersedia untuk pekerjaan itu. Karena itu situasi masalah secara berbeda dan mungkin tidak setuju tentang masalah mana yang perlu dipelajari terlebih dahulu. Disparitas pandangan seperti itu sudah bisa dilupakan. Tidak ada pemandangan yang dapat dikesampingkan sebagai tidak valid, kecuali jika tidak memiliki logika internal atau tidak sesuai dengan pandangan dunia orang itu sendiri. Namun, ini tidak berarti bahwa ringkasan semua situasi masalah sama-sama berguna, jika mereka tidak lengkap atau fokus terutama bias mereka.

Ringkasan situasi masalah tidak boleh dalam bentuk deskripsi sistem, karena ini mungkin: tanpa struktur tertentu yang mungkin lagi bias analisis. Pada tahap ini, sangat penting untuk menjaga pikiran terbuka. Namun demikian, apresiasi bersama yang memadai terhadap berbagai pandangan diperlukan untuk mencapai konvensi parsial pada situasi masalah. Hanya dengan begitu mungkin bahwa kesepakatan akan muncul untuk masalah mana yang akan dipelajari dan bagaimana

- a) Situasi masalah adalah konteks di mana masalah tertanam. Situasi masalah melibatkan kumpulan masalah yang saling berhubungan, yang masing-masing dapat menjadi fokus analisis. Melihat masalah dalam konteks penuhnya adalah penting untuk mendefinisikan masalah dengan benar.

- b) Mengidentifikasi masalah berarti mendefinisikan pembuat keputusan, tujuannya, kriteria untuk menilai ketika tujuan telah tercapai, kinerja ukuran untuk menilai tingkat pencapaian terhadap tujuan, tindakan alternatif, dan konteks atau lingkungan yang relevan di mana masalah ada.
- c) Pemangku kepentingan adalah berbagai peran yang diambil oleh orang atau entitas ketika mereka dalam satu atau lain cara terhubung dengan masalah, baik sebagai orang memiliki atau memiliki masalah dan mengendalikan aspek-aspek penting dari masalah, orang yang akan menggunakan hasil analisis, orang yang akan menganalisis masalah, atau mereka yang terpengaruh oleh hasil dan mungkin atau mungkin untuk mengetahui pengaruh langsung atau tidak langsung atas tindakan yang diambil. Karena pemangku kepentingan adalah peran, seseorang dapat mengambil lebih dari satu peran pada waktu yang sama.
- d) Peta pikiran, gambar kaya, dan peta kognitif adalah kendaraan yang berguna untuk mewakili ringkasan situasi masalah. Mereka berfungsi sebagai dasar untuk diskusi dengan orang lain orang yang memiliki andil dalam masalah tersebut. Mereka menunjukkan masalah dalam konteks penuhnya dan membantu mengidentifikasi dan mendefinisikan isu atau masalah yang akan dianalisis, para pemangku kepentingan, dan memfasilitasi pemilihan batas-batas analisis yang tepat.

F. Studi Kasus

Berikut adalah studi kasus yang dapat digunakan sebagai latihan untuk memperdalam konsep pada bab ini:

- 1) Pertimbangkan universitas sebagai suatu sistem. Identifikasi kemungkinan pandangan dunia yang relevan dari pengamat, proses transformasi sistem, misi atau tujuan sistem dan apa aspek sistem digunakan untuk mengukur kinerja sistem, input ke dalam sistem,

termasuk input kontrol, dan output dari sistem, dan sistem utama komponen, termasuk kemungkinan subsistem, dari sudut pandang berikut:

- (a) Seorang mahasiswa yang menghadiri universitas untuk memperoleh pelatihan teoretis dan praktis untuk seorang profesional.
 - (b) Seorang anggota staf akademik yang melihat universitas sebagai sistem untuk keuntungan yang menyenangkan pekerjaan.
 - (c) Kepala eksekutif universitas yang melihat peran utama universitas sebagai: salah satu kemajuan ilmu
- 2) Menggunakan soal sebelumnya, selesaikan:
- (a) Gambarlah peta pikiran untuk keseimbangan pendidikan tinggi Anda berdasarkan jenis pekerjaan karir yang Anda bayangkan untuk diri sendiri dan kemungkinan hambatan untuk itu.
 - (b) identifikasi berbagai pemangku kepentingan dari masalah tersebut.
 - (c) Sebutkan enam elemen masalah pada kasus tersebut.

BAB 2

BIAYA RELEVAN

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami definisi konsep biaya relevan pada manajemen sains.
- b. Memahami pengaplikasian biaya relevan dalam proses pengambilan keputusan diruang lingkup manajemen sains.
- c. Memahami perbedangan cara pandang ekonom dengan akuntan terhadap biaya, dan dampaknya pada aplikasi manajemen sains.

A. Konsep Dasar Biaya Relevan

Biaya (*cost*) adalah seluruh pengorbanan (dalam bentuk satuan moneter) yang harus dikeluarkan untuk suatu proses produksi atau untuk mendapatkan manfaat tertentu. Jika dilihat dari pandangan Hansen dan Mowen (2006), biaya memiliki arti kas atau nilai ekuivalen kas yang dikorbankan untuk mendapatkan barang atau jasa yang diharapkan dapat memberikan manfaat saat ini atau di masa datang bagi organisasi.⁵ Pendekatan pengambilan keputusan taktis yang baru saja dijelaskan menekankan pentingnya pengidentifikasian dan penggunaan biaya yang relevan.⁶ Namun, bagaimana kita bisa mengidentifikasi dan menentukan biaya-biaya yang mempengaruhi keputusan?

⁵ Daellenbach, H.G. (2001). *Systems Thinking and Decision Making*. REA Publications.

⁶ Checkland, P. dan Scholes, J. (1999). *Soft Systems Methodology in Action, includes a 30-year retrospective*. Chichester: Wiley.

Biaya relevan merupakan biaya masa depan yang berbeda pada setiap alternatif. Semua keputusan berhubungan dengan masa depan sehingga hanya biaya masa depanlah yang menjadi relevan dalam pengambilan keputusan. Untuk mengidentifikasi apakah suatu data atau informasi tersebut relevan atau tidak, maka ada 2 karakteristik didalam konteks biaya relevan tersebut, yaitu:⁷

1. Biaya-biaya tersebut merupakan *expected future cost*, yaitu biaya-biaya yang diharapkan akan terjadi selama jangka waktu pengambilan keputusan tersebut atau suatu revenue merupakan *expected future revenue*, yaitu pendapatan yang diharapkan akan terjadi pada masa yang akan datang.
2. Biaya-biaya tersebut berbeda di antara alternatif yang ada, yaitu biaya-biaya yang terjadi dengan adanya alternatif tersebut adalah harus berbeda atau adanya *differential revenue*.

Biaya-biaya atau pendapatan-pendapatan yang tidak memenuhi karakteristik relevan disebut dengan "*Irrelevant*". Dalam pembahasan biaya relevan lebih lanjut, kita harus memahami dulu beberapa istilah penting yang berkaitan dengan biaya relevan yaitu:⁸

1. Biaya Masa Depan (*Fututre Cost*)

Pengambilan keputusan merupakan pemilihan berbagai macam alternatif untuk masa yang akan datang, oleh karena itu data biaya yang diperlukan adalah data biaya yang akan datang. Dengan demikian future cost adalah biaya yang diperkirakan akan terjadi di dalam waktu yang akan datang. Oleh karena biaya ini merupakan yang diharapkan

⁷ Jackson, M.C. (2000). A comprehensive and critical review of all systems methodologies based on systems thinking. *Systems Approaches to Management*. New York: Kluwer/Plenum..

⁸ Mingers, J.C. dan Gill, A. (1997). *Multimethodology — The Theory and Practice of Combining Management Science Methodologies*. Chichester: Wiley.

akan terjadi maka kenyataan terjadinya merupakan perkiraan, sedangkan pengukurannya suatu estimasi.

2. Biaya Variabel (*Variable Cost*)

Suatu anggapan yang keliru jika biaya variabel selalu dianggap sebagai biaya yang relevan. Memang benar bahwa biaya variabel merupakan biaya yang berubah secara proporsional seiring dengan perubahan tingkat kegiatan atau akan terpengaruh oleh biaya suatu keputusan yang akan menyebabkan perubahan tingkat kegiatan tersebut. Suatu keputusan yang akan diambil mungkin mempunyai hubungan dengan biaya variabel tersebut, misalnya, suatu pengambilan keputusan pemilihan di antara berbagai metode pengangkutan dan penyimpanannya. Metode apapun yang akhirnya dipilih tidak akan berpengaruh terhadap biaya bahan itu sendiri, meskipun biaya bahan selalu dianggap biaya variabel.

3. Biaya Tetap (*Fixed Cost*)

Biaya tetap merupakan biaya yang dalam batas-batas tertentu secara total tidak berubah dengan adanya perubahan tingkat kegiatan. Dalam pengambilan keputusan jangka pendek, biaya tetap mempunyai kemungkinan menjadi biaya relevan atau tidak relevan. Jika suatu biaya tetap seluruhnya dapat ditelesuri jejaknya dalam suatu keputusan khusus dan akan terjadi bila keputusan tersebut dilakukan, maka biaya tersebut merupakan biaya relevan. Misalnya, pembukaan cabang untuk daerah pemasaran yang baru tentunya akan memerlukan gaji pemimpin yang baru, biaya gaji tersebut merupakan biaya tetap dan biaya tersebut merupakan biaya yang relevan.

4. Biaya Depresiasi

Biaya depresiasi merupakan alokasi secara periodik harga perolehan aktiva tetap yang diperoleh pada waktu lampau. Depresiasi berasal dari keputusan investasi jangka panjang, jika keputusan investasi telah dilaksanakan dan aktiva tetap telah dibeli, biaya depresiasi yang kemudian terjadi ditetapkan dengan memperhatikan umur ekonomis aktiva tetap tersebut dan metode depresiasi yang ditentukan oleh manajemen. Depresiasi berhubungan erat dengan pengambilan keputusan jangka pendek, biaya depresiasi tidak relevan dan dapat diabaikan.

5. Biaya *Incremental (Incremental Cost)*

Atau biaya tambahan suatu alternatif dalam pengambilan keputusan adalah tambahan biaya yang akan terjadi jika alternatif itu dipilih. Oleh karena biaya tambahan ini merupakan tambahan biaya yang berhubungan dengan alternatif tertentu, maka biaya ini sesungguhnya berasal dari pengertian biaya relevan. Biaya tambahan merupakan jumlah semua biaya relevan yang berhubungan dengan suatu alternatif.

Jika biaya tambahan dihubungkan dengan suatu alternatif tindakan yang kemungkinan akan dilaksanakan atau mungkin juga tidak dilaksanakan oleh manajemen, biaya tambahan mungkin dapat terjadi atau mungkin tidak. Jika alternatif yang diusulkan bukan merupakan penambahan kegiatan melainkan berupa peniadaan (penghapusan) suatu kegiatan yang ada sekarang, maka biaya tertentu yang ada sekarang dapat dihindari.

Biaya terhindarkan (*Avoidable Cost*), yaitu biaya yang tidak akan terjadi jika suatu alternatif dipilih. Sesungguhnya biaya tersebut

merupakan variasi dari biaya tambahan (*incremental cost*). Oleh karena itu, seringkali disebut dengan istilah penghematan biaya tambahan (*incremental cost saving*).

6. Biaya Opportunity (*Opportunity Cost*)

Opportunity cost adalah pendapatan/keuntungan atau penghematan biaya yang dikorbankan sebagai akibat dipilihnya suatu alternatif tertentu.

B. Biaya Relevan dalam Sudut Pandang Manajemen Sains

Jika kata 'sistem' digunakan dalam berbagai cara yang berbeda, kata 'biaya' memiliki penggunaan yang lebih bervariasi dalam bahasa kita, dan masing-masing mungkin menyiratkan penilaian nilai yang berbeda. Pelaku bisnis berbicara tentang harga barang dan bahan yang dibeli untuk produksi atau dijual kembali, biaya peralatan, biaya pengoperasian peralatan, dan biaya pekerja dan karyawan – mengacu pada upah dan gaji yang dibayarkan. Relatif mudah untuk memberikan angka moneter yang tepat untuk masing-masingnya.⁹ Tetapi pebisnis juga berbicara tentang biaya pengiriman barang terlambat ke pelanggan, biaya mogok, baik dalam organisasi mereka sendiri atau pemasok atau pelanggan besar, atau biaya penjadwalan ulang produksi untuk memenuhi pekerjaan yang terburu-buru. Biasanya tidak mungkin untuk menilai pasti jumlah bahwa peristiwa semacam itu 'membebani' perusahaan.

Dalam bahasa sehari-hari, penggunaan kata 'biaya' menjadi lebih kabur: pertimbangkan biaya sosial dari pengangguran dalam hal keputusan, harga diri yang rendah, tingkat bunuh diri yang meningkat, kejahatan yang meningkat, perpisahan keluarga yang meningkat atau biaya pencemaran

⁹ Rosenhead, J. dan Mingers, J.C. (2000). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. Chichester: Wiley.

lingkungan; atau biaya tersembunyi dari tindakan dan kebijakan pemerintah; atau hanya biaya dari kesempatan yang terlewat. Kemungkinan ambiguitas diperparah oleh perbedaan penggunaan dan klasifikasi biaya oleh profesi utama yang berhubungan dengan biaya, yaitu akuntan dan ekonomi.

Dalam pemodelan MS / OR, kita memperhatikan bagaimana biaya dan manfaat berubah sebagai respons terhadap perubahan kebijakan atau mode operasi. Karenanya, seperti manajerial ekonom, ilmuwan manajemen tertarik pada perubahan bertahap dalam biaya dan manfaat.

B.1 Biaya Eksplisit, Implisit, dan Tidak Berwujud

Beberapa ambiguitas ketika berurusan dengan konsep biaya muncul dari fakta bahwa sekitar lain tidak. Yang pertama disebut biaya eksplisit, yang kedua biaya implisit. Pembayaran oleh perusahaan untuk barang atau peralatan yang dibeli dari pemasok adalah biaya eksplisit. Pengurangan tahunan dalam nilai peralatan, yang disebut depresiasi, dicatat oleh akuntan, adalah contoh biaya implisit. Tidak ada dana yang berpindah tangan.

Ini hanyalah sebuah konvensi yang digunakan oleh akuntan untuk mencerminkan fakta bahwa melalui penggunaan dan penuaan sebuah peralatan telah kehilangan sebagian dari nilai aslinya. Pada saat perusahaan membuang peralatan ini, 'nilai buku' yang tercatat dalam akun diharapkan telah diturunkan dari harga pembelian awal menjadi nilai pelepasan saat ini, katakanlah sebagai mesin bekas atau bekas.

Beberapa contoh biaya yang disebutkan dalam pendahuluan, seperti biaya keterlambatan pengiriman, biaya penurunan produktivitas dan gangguan yang disebabkan oleh penjadwalan ulang produksi sebagai respons terhadap keadaan darurat, biaya sosial pengangguran, dll., merupakan juga contoh biaya

implisit. Perbedaan antara contoh-contoh ini dan depresiasi adalah relatif mudah untuk menentukan angka pasti tentang jumlah depresiasi, sementara biasanya sangat sulit untuk menilai 'biaya' dari keterlambatan pengiriman. Jika keterlambatan pengiriman adalah sangat luar biasa kejadian yang, terjadi karena alasan di luar kendali perusahaan, dan pelanggan telah diberitahu sebelum tanggal jatuh tempo pengiriman, mungkin tidak ada biaya. Namun, jika keterlambatan pengiriman terjadi beberapa kali untuk pelanggan yang sama, perusahaan berisiko tinggi kehilangan pelanggan tersebut. 'Biaya' untuk perusahaan adalah kemungkinan hilangnya keuntungan yang dapat dihasilkan oleh penjualan di masa depan kepada pelanggan tersebut. Potensi keuntungan masa depan melalui penjualan juga disebut goodwill. Jadi perusahaan mungkin menderita kerugian goodwill dengan dampak keuangan yang diakibatkannya. Biaya tersebut juga disebut sebagai biaya tidak berwujud. Penilaian seringkali didasarkan pada dugaan dan oleh karena itu sangat subjektif bagi penilai.

Jumlah depresiasi yang dinilai pada sebuah peralatan biasanya tidak akan berpengaruh pada pengambilan keputusan, kecuali sejauh hal itu mempengaruhi waktu pembayaran pajak (mengingat depresiasi mengurangi pendapatan kena pajak). Di sisi lain, biaya tidak berwujud jelas harus diperhitungkan dalam pengambilan keputusan.

Akuntan memiliki jenis biaya tidak berwujud mereka sendiri, yaitu niat baik, dan cadangan untuk piutang tak tertagih (pelanggan kredit yang benar-benar menunggak pembayaran mereka). Item neraca 'goodwill' biasanya muncul dari akuisisi kelangsungan usaha di mana harga pembelian melebihi nilai bersih dari asset yang diperoleh. Kelebihan ini dipandang mewakili pertumbuhan pendapatan potensial perusahaan. Itu dicatat sebagai aset. Ini disusutkan dengan cara yang sama seperti kebanyakan tetap aset. Demikian

pula, cadangan piutang tak tertagih dicatat sebagai bentuk pengurangan nilai aset atau kewajiban di neraca. Meskipun akuntan mengacu pada item ini sebagai aset tidak berwujud atau biaya tidak berwujud, penggunaan istilah 'tidak berwujud' agak berbeda dari Manajemen Sains.

B.2 Biaya Eksplisit

Biaya eksplisit dikeluarkan oleh suatu pilihan keputusan, seperti pemilihan keputusan apakah tetap investasi modal atau variabel, dengan tingkat output adalah biaya yang relevan. Namun, hal tersebut tidak memberi informasi dengan baik kepada kita seperti cara apa yang benar untuk memasukkan biaya eksplisit. Setiap biaya eksplisit, yang dikeluarkan terlepas dari pilihan keputusan, tidak menjadi relevan. Tapi bagaimana dengan biaya yang dikeluarkan di masa lalu dan jelas terkait dengan proyek atau kegiatan yang bersangkutan? Hal tersebut masih dapat disimpulkan sebagai biaya relevan.

B.3 Biaya Hangus

Biaya hangus terkadang disembunyikan dalam data biaya yang berasal dari catatan akuntansi. Biaya penyusutan pada mesin termasuk dalam biaya produksi per unit untuk item tertentu sebagai contoh kasusnya. Jika biaya penyusutan tahunan hanya sebesar nilai yang dimasukkan kedalam laporan akuntansi yang dibuat untuk mengurangi biaya pembelian awal menjadi nol selama umur mesin produktif (dan untuk mengurangi timbulnya pajak atas laba), maka item tersebut menjadi biaya yang tidak relevan. Harga pembelian awal mesin adalah biaya hangus dan karenanya tidak relevan. Namun, jika mencerminkan kerugian nilai karena penggunaannya, seperti keausan dan kerusakan misalnya, maka itu adalah item biaya yang relevan. (Perhatikan

bahwa kerugian nilai jual kembali mesin karena penuaan mungkin relevan untuk keputusan yang berbeda, seperti apakah akan mempertahankan atau tidak mesin untuk waktu yang lebih lama mengingat potensi penghasilannya atau untuk membuangnya sekarang juga dan menggantinya dengan mesin yang lebih efisien).

Ini bukan untuk menyangkal bahwa, dalam jangka panjang, kelangsungan hidup perusahaan tergantung tentang apakah itu dapat menghasilkan dana yang cukup untuk mengganti semua peralatan yang ada dan bangunan pada akhir masa produktifnya. Karenanya bahkan kehilangan nilai karena penuaan menjadi biaya yang harus dipulihkan dari penjualan produk atau jasa diproduksi. Seperti yang sering terjadi di pendekatan manajemen sains, jawaban tidak jelas, tetapi tergantung pada keadaan dan tujuan analisis. Ini mengingatkan kita pada perusahaan yang mengiklankan untuk peneliti operasi 'satu tangan'. Ketika kepala eksekutif ditanya mengapa perusahaan menginginkan peneliti operasi 'satu tangan', dia menjawab bahwa dia sakit dan lelah diberitahu oleh mereka bahwa 'di satu sisi, Anda harus melakukan ini; di sisi lain tangan mungkin menguntungkan untuk melakukan itu'.

B.4 Biaya Peluang

Perusahaan memiliki atau mengendalikan banyak sumber daya, seperti bahan mentah, mesin, bangunan, dan dana. Sumber daya ini mungkin telah dibeli atau dibuat oleh perusahaan operasi sendiri. Mereka dapat digunakan saat ini untuk beberapa tujuan atau perusahaan mungkin sering menempatkan mereka untuk penggunaan alternatif. Dalam kedua kasus, bagaimana seharusnya ini sumber daya dihargai? Berapa 'biaya' penggunaannya? Ini

adalah pertanyaan-pertanyaan penting. Jawaban mereka yang benar akan menentukan apakah sumber daya ini digunakan sebaik mungkin atau tidak.

Asumsikan perusahaan memiliki peluang investasi alternatif, seperti akuisisi saham dari perusahaan lain yang memperoleh pengembalian tinggi atau pembelian mesin yang dapat menghasilkan produk yang sangat berharga dan menguntungkan, sehingga meningkatkan keuntungan perusahaan. Menggunakan dana untuk investasi barang jadi berarti dana yang sama ini tidak dapat digunakan untuk yang terbaik dari investasi alternatif ini. Oleh karena itu perusahaan mengorbankan pengembalian atas kerugian ini peluang. Pengembalian yang hilang menjadi biaya riil penggunaan dana ini untuk investasi dalam barang jadi.

Karena penilaian biaya ini didasarkan pada peluang alternatif terbaik sebelumnya, itu disebut biaya peluang. Semua sumber daya yang tersedia untuk perusahaan atau, untuk hal itu, untuk setiap organisasi harus selalu dinilai dengan biaya peluang mereka. Ini akan memastikan bahwa sumber daya ini digunakan secara efisien.

Seperti halnya penggunaan dana, item ini relevan untuk dinilai biaya menyimpan barang dalam persediaan untuk dijual di masa depan. Akuntan biaya akan mengklaim bahwa biaya ruang gudang sama dengan total biaya pemeliharaan yang dikeluarkan untuk gudang, biaya operasi, seperti listrik, pembersihan, dan pemanas, penyusutan gudang, dan biaya dana yang awalnya diinvestasikan dalam konstruksinya. Biaya peluang, di sisi lain, tergantung pada pengembalian yang mungkin terjadi diperoleh untuk alternatif penggunaan gudang yang terbaik. Biaya ini tidak dicatat dalam catatan akuntansi, yang hanya menunjukkan biaya historis. Yang terakhir mungkin lebih besar atau lebih kecil dari biaya peluang.

B.5 Biaya Penggantian

Biaya historis yang dibayarkan untuk sumber daya atau barang bukanlah ukuran yang relevan untuk nilainya sumber daya ini atau barang-barang ini. Sebaliknya, itu adalah biaya penggantian yang relevan. Untuk Misalnya, produsen kabel membeli sejumlah besar kawat tembaga dengan harga Rp1,63juts perkilogram. Beberapa minggu kemudian, harga kawat tembaga naik menjadi Rp.1,84juta. Itu akan menjadi salah untuk menilai kawat tembaga yang masih dalam persediaan dengan harga pembelian aslinya sebesar Rp.1,63juta. Setiap kawat tembaga yang habis harus diganti sekarang dengan nilai yang lebih tinggi dari Rp.1,84juta. Selain itu, tembaga menjadi komoditas dunia, stok apa pun yang ada mungkin bisa dijual juga dengan harga baru yang lebih tinggi yaitu Rp.1,84juta/kg. Biaya penggantian dengan demikian merupakan jenis dari biaya peluang.

B.6 Biaya dan Manfaat Masa Depan

Biaya peluang bisa dalam bentuk nilai sumber daya untuk digunakan di beberapa titik waktu di masa depan. Biaya masa depan mungkin, bagaimanapun, sering terjadi dalam bentuk: biaya eksplisit. Misalnya, pada akhir masa produktif suatu peralatan, sebidang tanah yang digunakan untuk pertambangan, atau fasilitas yang dibangun di atas tanah sewaan, penghapusan, pembuangan, atau biaya restorasi mungkin harus dikeluarkan. Biaya langsung merupakan konsekuensi dari pilihan keputusan dan karenanya merupakan biaya yang relevan. Biaya dekomisioning yang besar dari pembangkit listrik tenaga nuklir adalah contohnya. Kebalikannya juga bisa benar, yaitu sumber daya memiliki beberapa nilai sisa pada akhir dari cakrawala perencanaan untuk proyek yang bersangkutan. Hal ini terutama

berlaku untuk tanah dan bangunan, tetapi juga untuk peralatan, jika memiliki pembuangan atau sisa yang positif nilai.

B.7 Biaya Tidak Berwujud

Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, biaya tidak berwujud dapat secara signifikan mengurangi nilai atau efektivitas alternatif keputusan. Misalnya, dalam hal biaya eksplisit (upah, dll.) saja, jelas jauh lebih murah bagi sebuah toko untuk memiliki beberapa kasir untuk melayani pelanggan. Tetapi waktu tunggu yang berlebihan untuk pelanggan pada akhirnya dapat menyebabkan beberapa pelanggan untuk beralih ke toko lain. Potensi kerugian bisnis masa depan ini mungkin jauh lebih mahal dalam jangka panjang daripada biaya kasir tambahan. Keputusan tentang yang terbaik jumlah kasir yang harus bertugas harus memperhitungkan kemungkinan kejadian dari biaya tidak berwujud.

Mengingat kesulitan dan ambiguitas dalam menilai biaya tidak berwujud, analis mungkin tergoda untuk mengabaikan mereka. Ini tidak dianjurkan. Setiap upaya harus dilakukan untuk menentukan ekuivalen moneter yang valid untuk biaya-biaya ini. Jika ini tidak memungkinkan, analis harus melakukan analisis sensitivitas ekstensif untuk memastikan cara terbaik keputusan berubah karena nilai (diasumsikan) dari biaya tidak berwujud bervariasi. Jika tidak berwujud biaya telah diabaikan, fakta ini harus dinyatakan dengan jelas dalam setiap laporan proyek. Ini akan memperingatkan pembuat keputusan bahwa kesimpulan akhirnya harus diambil kemungkinan adanya faktor-faktor tak berwujud yang diperhitungkan secara kualitatif. Berbekal analisis sensitivitas yang luas, pembuat keputusan akan menemukan bahwa tugas ini sangat difasilitasi.

C. Konsep Akuntansi Versus Ekonomi Biaya

Pandangan akuntan Secara umum, akuntan adalah sejarawan. Mereka mencatat biaya dalam hal jumlah uang yang dikeluarkan untuk memperoleh barang dan jasa, seperti bahan mentah dan persediaan yang diperlukan untuk operasi manufaktur, barang untuk dijual kembali, waktu karyawan, peralatan dan fasilitas, dan sumber dana. Hal ini kemudian memungkinkan mereka untuk menentukan posisi keuangan perusahaan pada titik waktu tertentu, yaitu apa yang dimiliki perusahaan dalam bentuk berbagai aset, dan apa yang perusahaan hutangkan kepada kreditornya. Perbedaan antara keduanya mewakili posisi ekuitas pemiliknya. Ketiga aspek ini dirangkum dalam neraca. Selain itu, akuntan mencatat secara rinci bagaimana posisi ekuitas berubah dari waktu ke waktu, biasanya selama periode 12 bulan. Ini memunculkan laporan untung-rugi. Neraca dan laporan laba-rugi memungkinkan saat ini dan calon investor investor di perusahaan untuk menilai seberapa baik investasi saat ini di perusahaan lakukan. Memproduksi kedua dokumen ini juga merupakan persyaratan hukum untuk semua perusahaan, untuk penilaian pajak serta untuk perlindungan kreditor perusahaan. Inilah tujuan utama akuntansi keuangan.

Untuk membantu manajemen dalam keputusan penetapan harga, dan pemantauan dan pengendalian biaya, akuntan telah memperluas konsep biaya ke gagasan standar biaya- ukuran yang menunjukkan berapa biaya rata-rata untuk menghasilkan barang atau jasa tertentu dalam operasi normal. kondisi. Biaya historis yang sebenarnya bervariasi dari biaya standar dalam jangka pendek karena kejadian tak terduga, seperti fluktuasi harga mentah bahan atau produktivitas tenaga kerja yang bervariasi. Penyimpangan yang signifikan (atau apa yang disebut akuntan biaya 'varians') dari biaya standar ditandai dan menjadi perhatian manajemen. Dengan tidak adanya inflasi atau deflasi rata -

rata aktual biaya historis akan mendekati biaya standar dalam jangka panjang, karena biaya historis sebenarnya berasal dari biaya sebelumnya.

Pandangan ekonom sebaliknya, ekonom mengukur biaya suatu sumber daya dalam kaitannya dengan kekuatan mendapatkan penghasilan atau peluang yang hilang dengan tidak menerapkan sumber daya tersebut ke beberapa penggunaan lainnya. Potensial tersedia - pada kenyataannya, penggunaan alternatif terbaik dari sumber daya tersebut. Oleh karena itu, para ekonom berpendapat bahwa biaya implisit dari suatu sumber daya sama dengan apa yang dapat diperolehnya jika digunakan untuk aktivitas alternatif terbaik yang tersedia sekarang atau di masa mendatang. Biaya ini disebut biaya peluang sumber daya. Menjadi biaya implisit, tidak ada dana yang berpindah tangan. Untuk sumber daya yang sudah dimiliki oleh perusahaan, bukan biaya asli untuk memperoleh sumber daya yang relevan lagi, tetapi pengembalian atas alternatif terbaik penggunaannya yang diperhitungkan.

Teori ekonomi menunjukkan bahwa penerapan prinsip ini secara konsisten akan mengarah, dalam teori, pada penggunaan yang optimal dari semua sumber daya yang tersedia untuk perusahaan dan dengan demikian menghasilkannya yang maksimal keuntungan. Jika semua perusahaan berperilaku seperti ini, sekali lagi dalam teori, hal ini akan mengarah pada alokasi sumber daya yang optimal untuk perekonomian secara keseluruhan. Dalam praktiknya, dunia tidak sesederhana itu. Individu dan perusahaan tidak membayar biaya sebenarnya dari penggunaan dari banyak sumber daya, terutama untuk apa yang disebut 'barang gratis' seperti lingkungan (udara, air, tanah), dengan mencemari, dan untuk 'barang publik', seperti jaringan jalan (kerusakan permukaan jalan oleh truk yang melebihi pajak jalan kendaraan berat), atau kesehatan masyarakat sistem (biaya kesehatan akibat alkohol atau merokok jauh melebihi penerimaan pajak atas barang-barang tersebut).

Penerapan konsep biaya peluang yang paling umum menyangkut situasi di mana sumber daya menikmati beberapa potensi penggunaan pada titik waktu yang sama. Menggunakan sumber daya untuk satu tujuan menghalangi penggunaannya untuk tujuan lain apa pun.

Klasifikasi Biaya Menurut Ekonom

Akuntan mengklasifikasikan biaya baik dengan identifikasi produk atau variabilitas. Dalam pertama klasifikasi (dengan identifikasi produk), biaya dikelompokkan menjadi biaya utama atau biaya langsung biaya dan overhead atau tidak langsung. Biaya utama adalah biaya yang dapat langsung diidentifikasi dengan produk akhir atau layanan tertentu. Ini termasuk biaya pembelian barang atau bahan yang digunakan dalam proses produksi dan biaya semua tenaga kerja yang secara langsung dapat diatribusikan ke produksi produk atau jasa tersebut. Biaya utama cenderung naik atau turun (seringkali secara proporsional, tetapi tidak harus demikian) dengan volume output. Jelas terlihat bahwa jika tingkat keluaran berlipat ganda, jumlah bahan yang dibutuhkan untuk memproduksi barang juga berlipat ganda. Demikian pula, menggandakan tingkat layanan yang ditawarkan dalam banyak kasus juga akan menggandakan input tenaga kerja dan biayanya.

Biaya tambahan mencakup biaya semua aktivitas dukungan yang tidak secara langsung dikaitkan dengan produk atau layanan tertentu atau yang digunakan bersama oleh semua atau sekelompok produk atau layanan.

Contohnya adalah gaji dan tunjangan eksekutif, manajer, supervisor, dan berbagai staf pendukung, seperti pemeliharaan, personel, dan layanan administrasi lainnya, termasuk liburan dan pembayaran liburan untuk karyawan ini. Biaya dana pinjaman, seperti pinjaman atau hipotek, juga

merupakan biaya overhead. Sebagian besar overhead, tetapi tidak semua, tetap pada berbagai level output.

Sebagai contoh, staf pendukung administratif yang sama mungkin diperlukan bahkan jika output perusahaan menurun atau meningkat dalam kisaran yang cukup luas di sekitar level saat ini. Hanya perubahan tingkat keluaran di luar kisaran tersebut yang dapat mengakibatkan perubahan biaya overhead, misalnya dengan membutuhkan lebih banyak staf atau fasilitas produksi bersama tambahan. Biaya bunga pinjaman yang digunakan untuk membiayai pembelian pabrik dan peralatan harus dibayar terlepas dari tingkat output pabrik. Untuk tujuan penetapan biaya produk, semua biaya tambahan pada akhirnya akan dialokasikan atas dasar yang sesuai untuk produk atau layanan individual.

Alokasi ini menurut kebutuhan melibatkan tingkat kesewenang-wenangan yang berbeda-beda. Dasar yang paling umum digunakan untuk mengalokasikan biaya *overhead* adalah sebanding dengan jumlah atau biaya tenaga kerja langsung yang terlibat dalam memproduksi setiap produk atau layanan. Perbedaan antara biaya utama dan biaya overhead seringkali tidak jelas, terutama jika biaya tidak bervariasi secara proporsional dengan keluaran. Lebih lanjut, beberapa biayadapat diklasifikasikan sebagai biaya overhead karena upaya atau 'biaya' untuk mengidentifikasimana bagian yang secara langsung dapat diatribusikan ke setiap produk atau layanan mungkin berlebihan, sekaligus meningkatkan keakuratan biaya unitnya hanya dengan cara yang kecil.

Klasifikasi utama yang digunakan oleh para ekonom adalah biaya tetap dan biaya variabel, di satu sisi, dan biaya jangka pendek dan biaya jangka panjang di sisi lain. Biaya tetap adalah biaya yang tidak terpengaruh oleh perubahan tingkat output, berbeda dengan biaya variabel. Dengan demikian

ada beberapa analogi antara perbedaan akuntan dari biaya langsung dan overhead dan perbedaan ekonom dari biaya variabel dan biaya tetap. Namun, analoginya jauh dari sempurna.

Biaya langsung dapat mencakup biaya yang dapat langsung dikaitkan dengan produk tertentu, tetapi pada dasarnya bersifat tetap. Misalnya, mesin tertentu mungkin secara eksklusif didedikasikan untuk produksi satu produk atau kantor hanya dapat digunakan untuk menyediakan layanan tertentu.

Biaya salah satunya mungkin tetap konstan pada berbagai tingkat keluaran. Biaya yang terkait dengan penggunaannya (penyusutan atau penurunan nilai pelepasan untuk mesin, sewasebenarnya atau yang diperhitungkan kantor yang) mungkin konstan per periode (katakanlah satu tahun).

Biaya tersebut diklasifikasikan sebagai langsung biaya oleh akuntan, tetapi sebagai biaya tetap oleh ekonom. Dalam jangka pendek, investasi pada barang modal, seperti peralatan, bangunan, dan tanah, dianggap sebagai pemberian. Mereka tidak mudah berubah tanpa adanya baru yang investasi dan besar. Mereka membatasi output perusahaan pada kisaran tertentu. Oleh karena itu, biaya penggunaan sumber daya ini tetap. Di sisi lain, aspek lain dari perusahaan operasi, seperti jumlah bahan mentah dan tenaga kerja yang digunakan, biasanya bervariasi sesuai dengan tingkat output.

Oleh karena itu, hal tersebut kita sebut dengan biaya variabel. Namun, dalam jangka panjang, komposisi semua input ke dalam operasi perusahaan dapat diubah. Jumlah dan jenis mesin, jumlah dan ukuran fasilitas, dan sebagainya, dapat diubah. Karenanya, dalam jangka panjang semua biaya menjadi variabel.

Secara umum, ekonom menggunakan biaya untuk mendapatkan pernyataan normatif tentang bagaimana perusahaan harus beroperasi dalam kondisi pasar. Pandangan para ekonom tentang biaya dengan demikian lebih mirip dengan fokus preskriptif dari ilmuwan manajemen. Karenanya, kami akan menemukan para klasifikasi biaya oleh ekonom lebih berguna untuk pengambilan keputusan.

D. *Highlight* Chapter Biaya Relevan

Praktik akuntansi tradisional mencatat kinerja keuangan historis suatu perusahaan organisasi. Pengendalian biaya akuntansi berfokus pada pengalokasian semua biaya, variabel dan tetap, untuk masing-masing produk atau jasa dalam rangka menentukan biaya rata-rata atau yang disebut biaya standar. Ini dapat digunakan untuk keputusan penetapan harga dan untuk menilai kinerja saat ini dengan asumsi tidak ada perubahan dalam tingkat aktivitas atau operasi.¹⁰

Dalam manajemen sains, kita hanya tertarik pada biaya dan manfaat yang berubah, untuk organisasi secara keseluruhan, jika mode operasi atau tingkat kegiatan mengubah. Seringkali biaya tetap tetap tidak terpengaruh dan tidak relevan. Jika mereka berubah mereka perlu diperhitungkan sebagai total daripada dalam bentuk rata-rata per output unit, biasanya sebagai bagian dari evaluasi proyek keuangan.

Data akuntansi biaya standar mungkin tidak sesuai. Lebih-lebih lagi, catatan akuntansi tidak menunjukkan biaya peluang, tetapi termasuk biaya hangus yang tidak relevan untuk pengambilan keputusan.

¹⁰ Naughton, J. (1984). *Soft Systems Analysis: An Introductory Guide, Technology Course T301: Block 4*. Milton Keynes: The Open University Press.

E. Studi Kasus

Berikut ini adalah beberapa Latihan kasus untuk memperdalam materi di chapter ini:

- 1) Bandingkan biaya peluang dan biaya tidak berwujud dan diskusikan perbedaannya dan kesamaan, jika ada.
- 2) Diskusikan mengapa biaya peluang merupakan bentuk biaya implisit.
- 3) Mengapa biaya peluang relevan untuk pengambilan keputusan?
- 4) Berikan contoh biaya eksplisit, biaya implisit, biaya tetap, biaya variabel, biaya peluang, biaya hangus, dan biaya tidak berwujud untuk masing-masing jenis entitas berikut:
 - (a) Perusahaan industri, seperti produsen peralatan rumah tangga.
 - (b) Perusahaan dagang, seperti department store.
 - (c) Perusahaan industri jasa, seperti restoran.
 - (d) Organisasi pelayanan publik, seperti rumah sakit.
 - (e) Instansi pemerintah daerah, seperti otoritas penyediaan air minum

BAB 3

DISCOUNTED CASHFLOW

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami definisi konsep biaya, biaya relevan dan benefit
- b. Memahami definisi dan konsep *time value of money*
- c. Memahami konsep dan model matematis *discounted cashflow*
- d. Mampu menganalisis model matematis *discounted cashflow*, beserta penerapannya didalam ruang lingkup manajemen sains.

A. Konsep Arus Kas Terdiskonto (*Discounted Cash Flow*)

Discounted Cash Flow atau biasa disingkat DCF adalah salah satu metode untuk menghitung prospek pertumbuhan suatu instrumen investasi dalam beberapa waktu ke depan. Konsep DCF ini didasarkan pada pemikiran bahwa jika anda menginvestasikan sejumlah dana, maka dana tersebut akan tumbuh sebesar sekian persen atau mungkin sekian kali lipat setelah beberapa waktu tertentu.¹¹

Disebut '*discounted cash flow*' atau dalam bahasa Indonesia ' arus kas yang terdiskon', karena cara menghitungnya adalah dengan mengestimasi arus dana dimasa mendatang untuk kemudian di potong dan menghasilkan nilai dana tersebut pada masa kini. *Discounted cash flow* kemudian dapat juga disebut sebagai sebuah metode evaluasi yang digunakan untuk

¹¹ Silver, E.A., Pyke, D.F. dan Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: Wiley.

memperkirakan nilai aset investasi berdasarkan arus kas yang diharapkan di masa depan. Analisisnya mencoba untuk mengetahui nilai investasi hari ini berdasarkan perkiraan berapa banyak uang yang akan dihasilkan di masa depan.

Biasanya, seorang investor ingin mengetahui bahwa jika dia menginvestasikan sejumlah dana pada satu instrumen investasi tertentu, maka setelah kurun waktu tertentu (misalnya setahun), dana tersebut akan tumbuh menjadi berapa. Untuk menghitungnya, maka digunakanlah *discounted cash flow*.

Analisis *discounted cash flow* (DCF) adalah teknik pembuatan model keuangan yang didasarkan pada sumsi mengenai prospek pendapatan dan biaya atas suatu property atau usaha. Pembuatan asumsi tersebut berkaitan dengan kuantitas, kualitas, variabilitas, waktu serta durasi arus kas masuk dan arus kas keluar yang didiskontokan ke nilai kini. Analisis DCF yang dilakukan dengan data serta tingkat diskonto yang tepat dan mendukung adalah salah satu metode penilaian yang dapat diterima dalam pendekatan pendapatan. Penerapan analisis DCF secara luas antara lain disebabkan oleh kemajuan teknologi komputer.¹²

Analisis DCF dapat digunakan dalam penilaian perhitungan aset, bisnis dan aktiva tidak berwujud; dalam analisis investasi; dan sebagai prosedur akuntansi untuk mengestimasi nilai dalam penggunaan. Penggunaan analisis DCF telah meningkat terutama dalam sektor penilaian institusi, investasi dan bisnis dan sering dipersyaratkan oleh pemberi tugas, penjamin emisi, penasehat dan pengelola keuangan, dan manajer portofolio investasi. Penilaian DCF seperti penilaian berdasarkan pendapatan lainnya, didasarkan

¹² Goodwin, P. dan Wright, G. (1999). *Decision Analysis for Management Judgement*. New York: Wiley.

pada analisis data historis dan aumsi mengenai kondisi pasar di masa yang akan datang terhadap penawaran (supply), permintaan (demand), pendapatan, biaya, dan potensi resiko. Asumsi ini mempertimbangkan kemampuan penghasilan dari properti atau usaha di mana pendapatan dan pengeluarannya.

B. *Time Value of Money*

B.1 *Compounding*

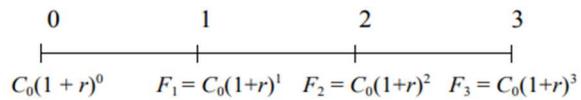
Dalam kondisi ekonomi normal, uang dalam rekening tabungan akan mendapatkan penambahan nilai yang bias akita kenal sebagai *rate*. Misalkan *rate* saat ini adalah $r = 8\%$ per tahun. Kemudian memasukkan kita memasukkan Rp.1.000.000,- ke rekening tabungan dan meninggalkannya di sana untuk setahun penuh, kita akan mendapatkan 8% dari Rp. 1.000.000 tersebut senilai Rp.80.000. sehingga setelah satu tahun saldo akun tabungan akan menjadi 1.080.000. Jika kita meninggalkan ini di akun untuk tahun kedua, maka akan mendapatkan bunga 8% lagi dari Rp.1.080.000 yaitu sebesar Rp.86.400. Sehingga pada saldo awal kita senilai Rp.1.000.000 akan meningkat menjadi Rp.1.166.400 pada akhir tahun kedua.

Sangat berguna untuk melihat proses ini secara matematis. Misalkan “*r*” dinyatakan sebagai pecahan desimal — dalam kasus kita sebelumnya $r = 0,08$. Kemudian pada akhir tahun ke-1, investasi tersebut memiliki tumbuh menjadi $100 (1 + 0,08) = 108$. Pada akhir tahun 2, kemudian berkembang menjadi $108 (1 + 0,08) = 116,64$. Mengganti $100(1,08)$ untuk 108, hasil di akhir tahun kedua menjadi $[100(1,08)](1,08) = 100(1,08^2)$.

Proses pertumbuhan investasi awal ini, ketika bunga ditambahkan ke dalamnya, disebut ***compounding***. Investasi awal C_0 pada waktu 0, dimajemukkan pada tingkat r per periode, akan tumbuh pada akhir n periode ke nilai masa depan F_n dari

$$F_n = C_0 (1 + r)^n$$

Proses matematis contoh sebelumnya digambarkan secara grafis pada Gambar berikut. (Ingat bahwa nomor apa pun untuk kekuatan 0 sama dengan 1. Jadi $1,08^0=1$). Periode apapun lamanya dapat bernilai 1 tahun, 6 bulan, 1 bulan, atau bahkan 1 hari. Nilai *compound* “r” hanya perlu disesuaikan. Misalnya, jika tingkat tahunan sama dengan $i = 0,08$, maka tingkat r dikurangi menjadi $i/2$ atau $0,04$ untuk periode setengah tahun dan menjadi $i/12$ atau $0,00667$ untuk periode satu bulan.



Contohnya untuk $r = 0,08$

$100(1,08^0)$	$100(1,08^1)$	$100(1,08^2)$	$100(1,08^3)$
$100(1)$	$100(1,08)$	$100(1,166)$	$100(1,26)$
100	108	116,64	125,97

B.2 Discounting

Asumsikan bahwa anda memenangkan hadiah uang tunai sebesar Rp.1.080.000. Masalahnya adalah anda mendapatkan uang itu satu tahun yang akan datang. Kemudian disisi lain ada teman anda memiliki uang tabungan Rp.1.000.000 dimana dia ingin berinvestasi setidaknya selama satu tahun dengan *rate* investasi tahunan sebesar 8%. Jika anda memintanya untuk bertukaran, dimana teman anda memberikan anda uang tunai yang dia miliki dan sebagai imbalan dia menerima uang hadiah yang anda dapatkan senilai Rp.1.080.000 satu tahun dari sekarang. Kemudian jika anda menginvestasikan uang hasil bertukaran itu senilai Rp.1.000.000 dengan tingkat bunga 8% selama setahun. Maka dalam 1 tahun di masa yang akan datang uang yang diinvestasikan akan menjadi Rp.1.080.000. Jadi kita dapat menyimpulkan bahwa uang Rp.1.080.000 yang akan diterima dalam satu tahun adalah benar, bagi teman anda yang

memiliki uang sebesar Rp.1.000.000,- sekarang dan menginvestasikannya kepada anda (dengan catatan mengharapkan *rate* investasi sebesar 8% selama 1 tahun dari sekarang).

Proses mengubah nilai masa depan menjadi nilainya saat ini — saat ini nilai — disebut diskonto / *discounting*. Ini adalah kebalikan dari *compound*. *Rate* di mana nilai masa depan berkurang / menurun kita sebut dengan **rate diskonto**. Dalam contoh tahunan sebelumnya *rate* diskonto tahunan adalah $r = 0,08$ atau 8%. Secara umum, nilai sekarang, PV, dari pembayaran, C_n , diterima pada akhir n periode, persamaan diskontok pada tingkat r per periode sbb:

$$PV = \frac{C_n}{(1 + r)^n}$$

Dimana faktor $(1 + r)^n$ mengalikan C_n sesuai rumus *compound*, sehingga mendapatkan persamaan model diatas. Kita bisa simpulkan, model yang terakhir adalah kebalikan dari model yang pertama. Adapun dalam *compound*, tingkat diskonto r dapat mengacu pada periode berapa pun panjangnya, bukan eksklusif untuk periode tahunan. Ukurannya hanya disesuaikan secara proporsional. Namun, jika tidak ditentukan secara spesifik, diasumsikan sebagai *rate* diskonto tahunan.

Perhatikan rumus model terakhir. Rasio $1/(1 + r)$ adalah representative atau disebut sebagai **faktor diskon**, sering dilambangkan dengan huruf Yunani α . “ α ” mewakili nilai sekarang (*present value*) dari satu rupiah yang diterima pada akhir n periode. Jadi ketika $PV = \alpha^n C_n$. Tabel berikut menunjukkan konsep-konsep ini dan kemudian menunjukkan hasil diskon nilai 100 yang diterima di akhir n tahun:

Akhir tahun n	1	2	3	8
Faktor diskon	$1/(1+r)^1$	$1/(1+r)^2$	$1/(1+r)^3$	$1/(1+r)^8$
atau untuk $\alpha=1/(1+r)$	α^1	α^2	α^3	α^8
contoh r = 0,08 (8%)					
$\alpha=1/(1,08)$	0,9259 ¹	0,9259 ²	0,9259 ³	...,	0,9259 ⁸
senilai	0,9259	0,8573	0,7938	...,	0,5402
PV dari 100 ditahun ke-n	92,59	85,73	79,38	...,	54,03

Jika anda memerlukan, terdapat tabel ekstensif untuk tarif diskon. Pentingnya dan kegunaannya memiliki tabel tersebut, berkurang secara dramatis sejak ketersediaan kalkulator saku yang tersebar luas. Dan sekarang ketersediaan *spreadsheet* elektronik untuk komputer pribadi telah membuat ini tabel sebagian besar tidak digunakan, setidaknya untuk penggunaan komersial.

B.3 Konsep Biaya Peluang dari Tingkat Diskonto

Dari pembahasan di sebelumnya jelas bahwa tingkat diskonto merupakan konsep biaya peluang. Dengan menerima sejumlah dana, dengan n periode dari sekarang, penerima melepaskan pengembalian yang dapat diperoleh jika dana tersedia saat ini. Oleh karena itu, **dana sekarang lebih berharga**. Demikian pula, untuk melakukan pembayaran n periode dari sekarang, jumlah yang lebih rendah perlu diinvestasikan sekarang. Jumlahnya kurang lebih sama dengan *rate* yang dapat diperoleh selama n periode tersebut.¹³

Ukuran tingkat diskonto tergantung pada penggunaan alternatif yang tersedia untuk semua dana antara sekarang dan beberapa titik waktu di masa depan. Semakin tinggi potensi penghasilan untuk dana, semakin tinggi tingkat diskonto. Hal ini juga dipengaruhi oleh **tingkat risiko**

¹³ Samson, Danny. (1988) *Managerial Decision Analysis*. Homewood IL: Irwin.

melekat dalam 'janji' pembayaran di masa depan. Semakin berisiko janji, menyebabkan semakin tinggi kemungkinan janji itu tidak akan ditepati, sehingga semakin tinggi tingkat diskontonya. Konsep ini menjelaskan mengapa hipotek kedua membawa tingkat bunga yang lebih tinggi daripada hipotek pertama atau mengapa rentenir mengenakan tingkat bunga yang lebih tinggi.

B.4 Nilai Sekarang dari Serangkaian Arus Kas

Kami sekarang akan menerapkan konsep-konsep ini untuk menentukan apakah proposal investasi yang diberikan adalah proposisi yang menarik dari sudut pandang keuangan murni. Perhatikan bahwa meskipun demikian, usul tersebut masih dapat ditolak karena alasan lain. Misalnya, mungkin lebih berisiko daripada yang bersedia diterima oleh investor atau dapat mengakibatkan hasil yang sangat tidak merata dan maka pola arus kas yang tidak diinginkan.

Analisis keuangan dikembangkan di bawah ini saja mempertimbangkan nilai moneter bersih dari investasi yang diusulkan. Dalam contoh kasus ini, kita mengeksplorasi apakah sebuah perusahaan harus efisiensi untuk mendapatkan keuntungan lebih besar. Diketahui bahwa dengan hanya 3 kali pembuangan per siklus, keuntungan tahunan akan meningkat sekitar Rp965 juta. Beberapa analisis tambahan menunjukkan bahwa setidaknya awalnya, peningkatan output hanya bisa dikurangi dengan mengurangi penjualan harga, sekaligus meningkatkan promosi penjualan. Ini akan mengurangi penghematan bersih tahunan sebagai berikut:

Tahun	1	2	3	4	5
Peningkatan laba	Rp320juta	Rp360juta	Rp450juta	Rp600juta	Rp800juta

Selanjutnya, peningkatan output akan membutuhkan penambahan peralatan dengan total biaya Rp1.200jt. Peralatan tambahan ini akan memiliki umur produktif 5 tahun. Dengan kata lain, pada akhir 5 tahun, untuk peningkatan output yang berkelanjutan akan membutuhkan penggantianannya. Hal ini akan menimbulkan evaluasi baru dan keputusan investasi pada saat itu.

Kita mendapatkan informasi bahwa setiap investasi baru di perusahaan harus mendapatkan pengembalian tahunan minimal 18%, sebaliknya investasi tersebut tidak menarik secara finansial. Apa arti dari pengembalian tahunan yang disyaratkan sebesar 18%? Artinya, jika kita meminjamkan seseorang Rp.1.200juta selama n tahun, dia mengharapkan, sebagai imbalannya, untuk mendapatkan setiap tahun pembayaran 18% dari Rp.1.200juta atau senilai Rp.216rb untuk biaya penggunaan dana, sebagai imbalan menerima kembali modal awalnya di muka pada akhir tahun n . Situasi ini direfleksikan sbb:

Akhir tahun n	0	1	2	3	4	5
Aliran kas	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
	-1200	+216	+216	+216	+216	+1416
α^n	1	0,84746	0,71818	0,60863	0,51579	0,43711
PV	-1200	+183,05	+155,13	+131,46	+111,41	+618,95
jumlah nilai sekarang dari arus kas masuk = +1200						

Pinjaman awal Rp.1.200rb ditampilkan sebagai arus kas keluar (angka negatif) di awal tahun 1 (= waktu 0). kemudian diikuti oleh empat pembayaran Rp.216rb dan pembayaran akhir Rp216rb ditambah modal awal Rp.1.200rb juga dikembalikan diwaktu itu. Baris di bawah mencantumkan faktor diskon untuk mengonversi setiap pembayaran ke nilai sekarang. Baris berlabel **PV** menunjukkan produk dari arus kas dan

faktor diskon yang sesuai. Setiap pembayaran dengan demikian dinyatakan dalam nilainya pada saat yang sama, yaitu awal periode 5 tahun. Sesuai kebutuhan, jumlah nilai sekarang untuk arus kas masuk dari tahun 1 ke tahun 5 dijumlahkan dengan arus kas keluar awal Rp.1.200rb. Pada tingkat diskonto 18%, arus kas keluar awal dengan demikian persis dipulihkan oleh nilai sekarang dari arus kas masuk. Jumlah nilai sekarang dari semua arus kas — arus kas keluar dan kas arus masuk — disebut nilai sekarang bersih atau **NPV** proyek. Sejak di kami contoh arus kas ditetapkan sedemikian rupa sehingga mereka benar-benar memenuhi persyaratan 18% pengembalian per tahun, $NPV = 0$. Dari sini kita dapat menyimpulkan bahwa jika NPV positif pada tingkat diskon 18%, proyek memiliki pengembalian yang lebih tinggi dari 18%. Jika NPV-nya adalah negatif, maka proyek kembali kurang dari 18%. Oleh karena itu, kita sekarang memiliki kriteria untuk memutuskan apakah perluasan yang diusulkan perusahaan dalam contoh kasus, kembali lebih atau kurang dari 18% pertahun, dan dengan ekstensi apakah kita akan menentukan proyek secara finansial menarik atau tidak.

C. Model *Discounted Cash Flow*

Sebagai salah satu perangkat awal untuk berinvestasi, metode *discounted cash flow* (DCF) atau arus kas terdiskon adalah sebuah alat penting untuk mengukur apakah sebuah investasi menarik atau tidak. Analisis sekuritas di media masa atau dari perusahaan pialang biasanya juga mengaplikasikan metode ini. Metode DCF akan menjawab mana yang berharga, memiliki 100 juta di masa sekarang, atau apakah uang 100 juta tersebut lebih baik diinvestasikan untuk mendapatkan pembayaran secara rutin sebesar 12,5 juta selama 10 tahun mendatang, atautkah lebih baik diinvestasikan di obligasi dengan suku bunga 10%. Kita dapat mengetahui

bahwa $12,5 \text{ juta} \times 10 = 125 \text{ juta}$. Apakah 125 juta di masa 10 tahun mendatang lebih baik dibanding 100 juta di masa sekarang? Ataukah lebih baik di obligasi dengan bunga 10%? Bagaimana kira-kira jawaban anda? Kita tidak bisa menjawabnya dengan kira-kira. Mari kita buktikan secara matematis dengan DCF.

Atas pertanyaan sebelumnya, mari kita diskusikan. Kita semua tahu dari teori *compounding interest*, sebagai ilustrasi, uang Rp 100 juta saat ini lebih berharga dibandingkan Rp 100 juta pada 2 tahun yang akan datang. Nilai uang akan turun seiring waktu karena **inflasi**. Selain itu pertimbangannya juga jelas, dengan uang Rp 100 juta saat ini kita mungkin bisa tanam deposito dengan bunga dibayar 5% per tahun, lalu bunganya ditanam ke pokok lagi, perhitungannya seperti di bawah:

- $100 \text{ juta} \times 105\% = 105 \text{ juta}$ (catatan: 105% asalnya adalah: 1 (nilai pokok) + bunga = $100\% + 5\% = 105\%$)
- $105 \text{ juta} \times 105\% = 110,25 \text{ juta}$

Maka pada 2 tahun yang akan datang kita akan punya Rp 110,25 juta. Dengan menggunakan metode yang sama, uang Rp 100 juta akan menjadi Rp 121 juta dengan kupon 10% per tahun pada 2 tahun mendatang. Bila kita tahu uang 100 juta akan bernilai 121 juta pada 2 tahun mendatang dengan asumsi suku bunga 10% bila situasi dibalik, seandainya kita tahu mendapatkan 121 juta dua tahun lagi, berapakah nilai uang tersebut saat ini? pertanyaan yang sama adalah berapa nilai investasi saat ini untuk mendapatkan nilai 10% pada dua tahun yang akan datang.

Untuk menjawabnya, kita harus tahu bahwa nilai saat ini pasti lebih rendah dari nilai dua tahun mendatang. Untuk mendapatkan nilai saat ini, kita akan mendiskonya dengan suku bunga patokan kita. Kita akan bagi nilai uang

selama 2 tahun hingga ke nilai saat ini. Nilai uang tersebut akan berkurang setiap tahunnya. Ini selaras dengan teori nilai waktu uang, semakin ke depan nilai uang akan semakin kecil. Tapi menguranginya dengan cara apa? Tentu saja dengan suku bunga diskon dipatokkan (*discounted rate*), pada contoh tadi 10%, perhitungannya akan seperti dibawah:

- $121 \text{ juta} \div 110\% = 110 \text{ juta}$ (catatan: 110% asalnya adalah: 1 (nilai pokok) + suku bunga diskon = $100\% + 10\% = 110\%$. Perhitungannya menjadi pembagian karena ini adalah proses berkurangnya nilai investasi, bukan mendapatkan investasi)
- $110 \text{ juta} \div 110\% = 100 \text{ juta}$

Hasilnya adalah sama 100 juta, seperti ilustrasi di awal tadi. Dengan melihat hasil perhitungan ini, kita akan bisa menjawab pertanyaan pertama tadi: tawaran investasi terbaik kemungkinan adalah dari obligasi 10% karena nilainya pasti jauh lebih tinggi dibanding 125 juta di masa 10 tahun mendatang. Keyataannya uang 100 juta akan bernilai 259,37 juta pada investasi bersuku bunga 10% selama 10 tahun.

Sebelum membahas beberapa model dalam *discounted cash flow*, kita akan membahas beberapa terminologi yang berkaitan dengan *discounted cash flow*:

- a. *Free Cash Flow* (FCF) adalah sisa kas yang dihasilkan dari bisnis setelah digunakan untuk biaya ekspansi atau biaya operasional perusahaan.

Rumus:

$$\text{Free Cash Flow} = \text{Operating Cash Flow} - \text{Capital Expenditure}$$

Keterangan:

- *Operating Cash Flow* = Net Arus yang dihasilkan dari aktifitas operasi (OCF). Kas netto diperoleh dari aktivitas operasional.

- *Capital Expenditure* = Pembelian aset tetap dan aset tak terwujud (CAPEX).

- b. *Net Debt Level*, yaitu jumlah hutang bersih dikurangi dengan kas yang dimiliki pada sebuah laporan keuangan.

Rumus:

Keterangan:

$$\mathbf{Net\ Debt = Total\ Debt - Cash}$$

- *Total Debt* = Hutang yang sifatnya berupa pinjaman uang dan menghasilkan bunga yang harus dibayar.

- *Cash* = Posisi kas dan setara kas dilaporan keuangan.

- c. *Growth Rate*, yaitu *rate* yang dipakai untuk memproyeksikan *cash flow* ke masa depan. Dan *growth* adalah sebuah *value* yang mendefinisikan pertumbuhan perusahaan dalam bentuk persentasi.

Rumus:

$$\mathbf{Free\ Cash\ Flow\ Tahun\ depan = Free\ Cash\ Flow\ Tahun\ Sekarang \times (1 + Growth\ Rate)}$$

- d. *Discount Rate*, yaitu suatu cara untuk menghitung *present value* dari arus kas di masa depan (*Future Cash Flow*) yang di proyeksi. *Discount Rate* bisa diperkirakan sesuai dengan keinginan (harapan pengembalian) dari seorang investor terhadap perusahaan yang mereka invest. Setelah menentukan *discount rate* yang diinginkan, maka kita bisa memproyeksikan *present value* berdasarkan arus kas di masa depan.

Rumus:

$$\mathbf{Present\ Value = Cash\ Flow\ pada\ tahun\ X (1 + Discount\ Rate)^x}$$

- e. *Terminal Growth Rate*, yaitu sebuah asumsi bahwa perusahaan tersebut akan tumbuh lebih dari 10 tahun atau sampai jangka waktu selama mungkin.

Rumus:

$$\text{Terminal Growth Rate} = \text{FCF tahun ke 10 atau lebih} \cdot (1 + \text{growth}) \\ (\text{Discount Rate} - \text{Growth})$$

Berikut adalah beberapa model yang populer digunakan dalam *discounted cash flow*:

C.1 Model NPV (*Net Present Value*)

Net Present Value (NPV) adalah perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk dan nilai sekarang dari arus kas pada sebuah waktu perode. NPV biasanya digunakan untuk alokasi modal untuk menganalisa keuntungan dalam sebuah proyek yang akan dilaksanakan. *Net Present Value* yang positif menandakan bahwa proyeksi pendapatan yang dihasilkan oleh sebuah proyek atau investasi melebihi dari proyeksi biaya yang dikeluarkan. Pada umumnya nilai NPV yang positif akan menjadi menguntungkan dan proyek yang memiliki NPV negatif akan menghasilkan kerugian. Konsep ini merupakan dasar dari hukum *Net Present Value*, yang mengindikasikan bahwa investasi yang bagus hanya dapat dilakukan.¹⁴

Setiap arus kas yang masuk per tahun dihitung secara satu-persatu lalu kemudian dijumlahkan totalnya untuk mendapatkan nilai NPV. Setelah itu dikurangi oleh biaya investasi, jika hasilnya positif

¹⁴ Daellenbach, H.G., George, J. dan McNickle D.C. (1983). *Introduction to O.R. Techniques*. Boston: Allyn and Bacon.

maka itu adalah investasi yang bagus dan jika negatif berarti itu investasi yang jelek.

NPV (*Net Present Value*) merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini. Untuk menghitung NPV diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/benefit dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan NPV mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan.

Menurut Kasmir (2003:157) *Net Present Value* (NPV) atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara PV kas bersih dengan PV Investasi selama umur investasi. Sedangkan menurut Ibrahim (2003:142) *Net Present Value* (NPV) merupakan net benefit yang telah di diskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* (SOCC) sebagai discount faktor. Arus kas masuk dan keluar yang didasarkan pada saat ini (*present value / pv*) yang dijumlahkan selama masa gidup dari proyek tersebut dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

Keterangan:

N = Jumlah periode

t = Waktu arus kas yang diukur

Rt = Arus kas pada waktu t

Pada tabel berikut ditunjukkan arti dari perhitungan NPV terhadap keputusan investasi yang akan dilakukan.

- a. Bila $NPV > 0$, berarti Investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan, maka **Proyek bisa dijalankan.**
- b. Bila $NPV < 0$, berarti Investasi yang dilakukan akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan, maka **Proyek ditolak.**
- c. Bila $NPV = 0$, berarti Investasi yang dilakukan tidak mengakibatkan perusahaan untung ataupun rugi, maka **Jika proyek dilaksanakan atau tidak maka tidak berpengaruh pada keuangan perusahaan. Keputusan harus ditetapkan dengan menggunakan kriteria lain misalnya dampak investasi terhadap posisi keuangan perusahaan.**

Keunggulan penggunaan metode NPV

- a. Memperhitungkan nilai waktu dari uang
- b. Memperhitungkan arus kas selama usia ekonomis proyek
- c. Memperhitungkan nilai sisa proyek

Kelemahan metode NPV

- a. Manajemen harus dapat menaksir tingkat biaya modal yang relevan selama usia ekonomis proyek
- b. Jika proyek memiliki nilai investasi inisial yang berbeda, serta usia ekonomis yang juga berbeda, maka NPV yang lebih besar belum menjamin sebagai proyek yang lebih baik.

- c. Derajat kelayakan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor usia ekonomis proyek

C.2 Model IRR (*Internal Rate Of Return*)

Metode ini untuk membuat peringkat usulan investasi dengan menggunakan tingkat pengembalian atas investasi yang dihitung dengan mencari tingkat diskonto yang menyamakan nilai sekarang dari arus kas masuk proyek yang diharapkan terhadap nilai sekarang biaya proyek atau sama dengan tingkat diskonto yang membuat NPV sama dengan nol.

IRR yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (rate of return) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana dan lain-lain). IRR digunakan dalam menentukan apakah investasi dilaksanakan atau tidak, untuk itu biasanya digunakan acuan bahwa investasi yang dilakukan harus lebih tinggi dari Minimum acceptable rate of return atau Minimum attractive rate of return (MARR) . MARR adalah laju pengembalian minimum dari suatu investasi yang berani dilakukan oleh seorang investor.

Besarnya nilai sekarang dihitung dengan menggunakan pendekatan sebagai berikut: IRR pada saat $NPV = 0$

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t} = 0$$

Keterangan:

N = Jumlah periode

t = Waktu arus kas yang diukur

R_t = Arus kas pada waktu t

Penerimaan atau penolakan usulan investasi ini adalah dengan membandingkan IRR dengan tingkat bunga yang disyaratkan (required rate of return). Apabila IRR lebih besar dari pada tingkat bunga yang disyaratkan maka proyek tersebut diterima, apabila lebih kecil diterima. IRR adalah nilai discount rate i yang membuat NPV dari proyek sama dengan nol. Discount rate yang dipakai untuk mencari present value dari suatu benefit/biaya harus senilai dengan opportunity cost of capital seperti terlihat dari sudut pandangan si penilai proyek. Konsep dasar opportunity cost pada hakikatnya merupakan pengorbanan yang diberikan sebagai alternatif terbaik untuk dapat memperoleh sesuatu hasil dan manfaat atau dapat pula menyatakan harga yang harus dibayar untuk mendapatkannya.

Contoh kasus:

Suatu perusahaan mempertimbangkan usulan proyek investasi sebesar Rp. 40 juta tanpa nilai sisa dan arus kas pertahun sebesar Rp. 12 juta selama 5 tahun dengan tingkat pengembalian yang disyaratkan 20 %.

• Nilai NPV

= (Arus kas x Faktor diskonto) - OI

= (Rp. 12 juta x 2,9906) - Rp 40 juta

= Rp 35.887.200 - Rp. 40 juta = Rp. - 4.112.800

• Usulan proyek ini lebih baik ditolak, NPV negatif

D. *Highlight* Arus Kas Terdiskonto

- Untuk usaha komersial normal dengan arus kas tersebar dari waktu ke waktu, perbandingan yang valid antara proyek alternatif mengharuskan semua arus kas dinyatakan sebagai nilai bersih sekarang, yaitu didiskontokan pada tingkat diskonto target. Yang terakhir mencerminkan biaya dana rata-rata tertimbang operasional atau tingkat pengembalian yang diinginkan atas investasi, serta tingkat risiko yang terlibat dalam proyek.
- Jika NPV suatu proyek positif pada tingkat diskonto tersebut, maka proyek tersebut menarik proyek dari sudut pandang keuangan murni. (Secara alami, pengembalian finansial dari proyek hanyalah salah satu aspek dalam keputusan untuk melaksanakannya atau tidak. Lainnya pertimbangan penting adalah kemungkinan efek merugikan pada organisasi arus kas keseluruhan atau kemampuan untuk mengumpulkan dana yang diperlukan.)
- Mengubah arus kas yang tidak merata menjadi anuitas setara memberikan tambahan wawasan tentang proyek. Anuitas setara dapat dilihat sebagai uang tunai rata-rata mengalir pada setiap periode. Ini memfasilitasi perbandingan antar proyek, terutama yang dengan kehidupan produktif yang berbeda, seperti mencari usia pengganti yang optimal.
- Evaluasi keuangan proyek telah dibuat sederhana dengan berbagai *built-in* fungsi keuangan *spreadsheet*. (Untuk menghindari kesalahan, ada baiknya untuk memeriksa dengan cermat konversi yang digunakan. Setiap aplikasi berbeda antara paket perangkat lunak.)
- Untuk proyek publik, pilihan tingkat diskonto yang tepat masih jauh dari jelas, terutama untuk proyek yang melibatkan pertanyaan tentang kesehatan atau keselamatan publik, atau konsekuensi lingkungan yang

tidak dapat diubah. Kita harus bertanya pada diri sendiri apakah ada pembenaran etis atau moral untuk diskon dalam kasus tersebut.

E. Contoh Kasus

- 1) Petugas kota setempat dari resor tepi laut sedang mempertimbangkan dua opsi yang mungkin untuk mencegah atau mengurangi perambahan lebih lanjut dari laut di kawasan perumahan yang baru dikembangkan untuk rumah liburan.

Pilihan pertama adalah membangun dinding batu, diperkuat dengan beton. Itu akan memiliki biaya awal Rp.700.000juta dan akan membutuhkan sedikit perawatan selama sekitar 20 tahun. Pemilik properti akan dimintai sebagai retribusi tahunan yang akan menghasilkan Rp30.000rb setiap tahun.

Pilihan kedua adalah menaikkan bukit pasir pelindung dan menanamnya dengan rerumputan untuk stabilisasi, serta membangun perlintasan kayu untuk akses pantai. Ini akan memiliki biaya awal Rp.100.000rb. Ini akan membutuhkan pemeliharaan tahunan sebesar Rp.20.000. Tidak ada retribusi yang dapat dinaikkan dalam kasus ini. Kota dapat meminjam dana dari bank lokal di 10% per tahun. Gunakan perencanaan 20 tahun untuk setiap opsi.

- (a) Temukan nilai sekarang dari setiap opsi. Mana yang merupakan pilihan yang lebih disukai dari murni sudut pandang keuangan?
- (b) Karena retribusi tahunan akan dibayar oleh setiap pemilik properti dalam dua kali angsuran yang sama (*equal*) dan biaya pemeliharaan akan terjadi pada awal musim semi dan awal musim gugur di kira-kira jumlah yang sama, petugas berpikir bahwa diskon tahunan tidak cukup akurat? Dia meminta Anda untuk menghitung nilai sekarang berdasarkan diskon setengah tahunan.

- (c) Temukan anuitas tahunan yang setara untuk setiap opsi yang dievaluasi berdasarkan (a).
- (d) Asumsikan sekarang bahwa kedua opsi pada dasarnya memiliki masa hidup tak terbatas. Mana yang merupakan pilihan yang lebih baik sekarang?
- 2) Seorang pemilik hutan baru saja menebang 200 hektar pohon di lereng bukit dan mengevaluasi mana dari dua pilihan reboisasi yang lebih menguntungkan.

Opsi A panggilan untuk penanaman pada tingkat 1600 bibit per hektar dengan biaya Rp.2000/ha. Penjarangan dijadwalkan pada umur 6 dengan kepadatan 800 pohon per hektar dengan biaya Rp.400/ha. Sisa pohon akan dipangkas dengan biaya tambahan Rp.600/ha. Pemangkasan kedua adalah dijadwalkan untuk usia 10 tahun dengan biaya Rp.800/ha. Semua pohon akan ditebang habis pada usia 35 tahun dengan biaya sebesar Rp3000/ha. Kualitasnya akan membuatnya cocok untuk penggilingan gergaji. Oleh karena itu diperkirakan pendapatan adalah Rp.64,000/ha.

Opsi B memerlukan penanaman dengan kecepatan sekitar 1100 bibit per hektar dengan biaya Rp.1500/ha. Penipisan dijadwalkan untuk usia 14 tahun dengan biaya Rp.2000/ha. Kayu gelondongan yang ditipiskan kemudian cocok untuk digunakan sebagai kayu bulat dan diperkirakan dapat diambil Rp.3.600/ha. Semua pohon yang tersisa akan ditebang habis pada usia 27 tahun untuk digunakan sebagai kayu pulp. Biaya tebang habis adalah Rp.2200/ha. Pendapatan dari kayu bulat diperkirakan Rp.28,000/ha. Perhatikan bahwa semua harga dalam dolar saat ini (yaitu, diasumsikan tidak ada inflasi, atau dolar masa depan telah disesuaikan untuk menghilangkan efek inflasi). Pilihan

mana apakah yang lebih baik jika pemilik hutan ingin mendapatkan pengembalian 5% dari investasi apa pun?

- (a) Buat spreadsheet untuk menemukan NPV dari semua arus kas yang terkait dengan setiap opsi atas produktifnya. Fungsi spreadsheet mana yang perlu Anda gunakan?
- (b) Mengapa Anda tidak dapat menentukan pilihan mana yang lebih baik berdasarkan dua kasus ini? nilai-nilai? Apa pendekatan yang disarankan untuk membandingkan dua opsi? Fungsi spreadsheet mana yang akan Anda gunakan?

BAB 4

MANAJEMEN PERSEDIAAN

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami konsep manajemen persediaan pada manajemen sains.
- b. Memahami elemen dan sistem manajemen persediaan pada manajemen sains.
- c. Memahami model manajemen persediaan dan aplikasinya pada manajemen sains.

A. Elemen Manajemen Persediaan

Inventory didefinisikan sebagai stok / persediaan barang yang disimpan oleh organisasi untuk digunakan untuk memenuhi permintaan pelanggan.¹⁵ Hampir setiap jenis organisasi mempertahankan beberapa bentuk persediaan. Toko serba ada membawa persediaan semua barang eceran yang dijualnya; pembibitan memiliki persediaan berbagai tanaman, pohon, dan bunga; sebuah sewa agen mobil memiliki persediaan mobil; dan tim bisbol liga utama menyimpan persediaan pemain di tim liga kecilnya. Bahkan rumah tangga keluarga akan menjaga persediaan makanan, pakaian, persediaan medis, produk kebersihan pribadi, dan sebagainya.

¹⁵ Buchan, J., dan Koenigsberg, E. (1963). *Scientific Inventory Management*. Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall.

Catatan: **Persediaan adalah persediaan barang-barang yang disimpan untuk memenuhi permintaan.**¹⁶

A.1 Peran Persediaan

Perusahaan atau organisasi menyimpan persediaan untuk berbagai alasan penting. Yang paling menonjol adalah memegang persediaan barang untuk memenuhi permintaan pelanggan untuk suatu produk, hal ini sering terjadi terutama dalam operasi ritel. Namun, lebih mendalam lagi persediaan juga bisa berupa sekretaris pergi ke lemari penyimpanan untuk mendapatkan kartrid printer atau kertas, atau tukang kayu mendapatkan papan atau paku dari gudang penyimpanan.

Tingkat persediaan dipertahankan untuk memenuhi atau mengantisipasi terhadap permintaan pelanggan yang diharapkan. Namun, karena permintaan biasanya tidak diketahui dengan pasti, jumlah persediaan tambahan, yang disebut pengaman, atau penyangga, persediaan, sering disimpan di tangan untuk memenuhi variasi tak terduga yang melebihi permintaan yang diharapkan. Persediaan tambahan terkadang dibuat untuk memenuhi permintaan musiman atau siklus. Perusahaan akan memproduksi barang ketika permintaan rendah untuk memenuhi permintaan tinggi permintaan musiman yang kapasitas produksinya tidak mencukupi. Misalnya, produsen mainan memproduksi persediaan besar selama musim panas dan gugur untuk memenuhi permintaan yang diantisipasi selama musim dingin (pada saat momentum Natal misalnya). Melakukan hal itu memungkinkan mereka untuk mempertahankan aliran produksi yang relatif lancar sepanjang tahun. Mereka akan biasanya tidak memiliki kapasitas produksi atau dukungan

¹⁶ Buffa, E. S., dan Miller, J. G. (1979). *Production-Inventory Systems: Planning and Control*. Homewood, IL: Irwin,

logistik untuk memproduksi cukup untuk memenuhi semua permintaan puncak tersebut. Sejalan dengan itu, pengecer mungkin merasa perlu untuk menyimpan persediaan dalam jumlah besar di rak mereka untuk memenuhi permintaan musiman puncak, atau untuk tujuan pajangan untuk menarik pembeli.¹⁷

Perusahaan juga sering membeli persediaan dalam jumlah besar untuk memanfaatkan diskon harga, sebagai lindung nilai terhadap kenaikan harga yang diantisipasi di masa depan, atau karena bisa mendapatkan harga yang lebih murah dengan membeli dalam jumlah banyak. Misalnya, Wal-Mart telah lama diketahui membeli seluruh saham produsen sabun bubuk atau barang eceran lainnya karena bisa mendapatkan harga yang sangat rendah, yang kemudian diteruskan kepada pelanggannya.

Perusahaan akan sering membeli saham besar ketika pemasok melikuidasi, dengan tujuan untuk mendapatkan harga rendah. Dalam beberapa kasus, pesanan besar akan dibuat hanya karena biaya pesanan mungkin sangat tinggi, dan lebih hemat biaya untuk memiliki persediaan yang lebih tinggi daripada membuat banyak pesanan.

Banyak perusahaan merasa perlu untuk mempertahankan persediaan dalam proses pada tahap yang berbeda dalam proses manufaktur untuk memberikan independensi antara operasi dan untuk menghindari penghentian atau penundaan pekerjaan. Persediaan bahan baku dan suku cadang yang dibeli disimpan agar proses produksi tidak terjadi tertunda sebagai akibat dari pengiriman yang terlewat atau terlambat atau kekurangan dari pemasok. Persediaan barang dalam proses disimpan di antara tahapan dalam proses manufaktur agar produksi dapat terus berjalan dengan lancar jika terjadi

¹⁷ Hadley, G., dan Whitin, T. M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

kerusakan mesin sementara atau terhentinya pekerjaan lainnya. Demikian pula, stok suku cadang atau produk jadi memungkinkan permintaan pelanggan dipenuhi jika terjadi penghentian pekerjaan atau masalah dengan proses produksi.

A.2 Permintaan / Demand

Komponen penting dan titik awal dasar untuk pengelolaan persediaan adalah **permintaan pelanggan**. Persediaan ada untuk tujuan memenuhi permintaan pelanggan. **Pelanggan dapat berada di dalam organisasi**, seperti operator mesin yang menunggu bagian atau produk yang sebagian selesai dikerjakan, **atau di luar organisasi**, seperti pembelian bahan makanan individu atau stereo baru. Dengan demikian, penentu penting dari manajemen persediaan yang efektif adalah perkiraan permintaan yang akurat. Untuk alasan ini topik ketidakpastian yang memuat model peramalan dan manajemen persediaan secara langsung saling terkait.

Secara umum, permintaan barang dalam persediaan diklasifikasikan sebagai **dependen** atau **independen**. Item permintaan dependen biasanya bagian komponen, atau bahan, digunakan dalam proses menghasilkan produk akhir. Misalnya, jika sebuah perusahaan mobil berencana untuk memproduksi 1.000 mobil baru, itu akan membutuhkan 5.000 roda dan ban (termasuk suku cadang). Dalam hal ini permintaan roda tergantung pada produksi mobil; yaitu, permintaan untuk satu item adalah fungsi dari permintaan untuk barang lain.

Atau, mobil adalah contoh dari item permintaan independen. Secara umum, permintaan independen adalah produk akhir atau produk jadi yang bukan merupakan fungsi dari, atau bergantung pada, aktivitas produksi internal. Permintaan independen biasanya eksternal, dan, dengan demikian, di

luar kendali langsung organisasi. Di dalam bab kita akan fokus pada pengelolaan persediaan untuk item **permintaan independen**.

Catatan: Permintaan **dependen** digunakan secara internal organisasi untuk menghasilkan produk akhir. Permintaan **independen** adalah produk akhir yang diminta oleh pelanggan eksternal.

A.3 Biaya Persediaan

Biaya persediaan meliputi biaya penyimpanan, pemesanan, dan kekurangan.¹⁸

- 1) **Biaya penyimpanan** adalah biaya penyimpanan barang di penyimpanan. Biaya ini bervariasi berdasarkan tingkat persediaan dan kadang-kadang dengan lamanya waktu suatu barang disimpan; yaitu, semakin besar tingkat persediaan melebihi waktu, semakin tinggi biaya penyimpanan. Biaya penyimpanan dapat mencakup
 - a. biaya kehilangan penggunaan dana yang terikat dalam persediaan;
 - b. biaya penyimpanan langsung, seperti sewa, pemanasan, pendinginan, penerangan, keamanan, pendinginan, pencatatan, dan logistik;
 - c. beban pinjaman yang digunakan untuk membeli persediaan;
 - d. depresiasi;
 - e. biaya kehilangan karena pasar untuk produk dalam persediaan berkurang;
 - f. kerusakan dan pembusukan produk;
 - g. kerusakan produk; pajak; dan pencurian.

Biaya penyimpanan biasanya ditentukan dalam salah satu dari dua cara. Bentuk yang paling umum adalah membebankan total biaya

¹⁸ Johnson, L. A., dan Montgomery, D. C. (1974). *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control*. New York: John Wiley & Sons.

tercatat, yang ditentukan dengan menjumlahkan semua biaya individual yang disebutkan sebelumnya, berdasarkan per unit per periode waktu, seperti satu bulan atau satu tahun. Dalam bentuk ini, biaya penyimpanan biasanya dinyatakan sebagai per unit jumlah rupiah setiap tahun (misalnya, Rp10 juta per tahun). Sebagai alternatif, biaya penyimpanan kadang-kadang dinyatakan sebagai persentase dari nilai suatu barang atau sebagai persentase dari nilai persediaan rata-rata. Secara umum diperkirakan bahwa **biaya penyimpanan berkisar antara 10% hingga 40%** dari nilai barang yang diproduksi.

- 2) **Biaya pemesanan** adalah biaya yang terkait dengan pengisian kembali persediaan yang dimiliki. Ini biasanya dinyatakan sebagai jumlah rupiah per pesanan dan independen dari ukuran pesanan. Dengan demikian, biaya pemesanan bervariasi dengan jumlah pesanan yang dibuat (yaitu, karena jumlah pesanan meningkat, biaya pemesanan meningkat). Biaya yang dikeluarkan setiap kali pesanan dibuat dapat mencakup biaya permintaan, pesanan pembelian, transportasi dan pengiriman, penerimaan, inspeksi, penanganan dan penempatan dalam penyimpanan, dan akuntansi dan audit. Biaya pemesanan umumnya bereaksi terbalik terhadap biaya penyimpanan. Karena ukuran pesanan meningkat, pesanan yang dibutuhkan lebih sedikit, sehingga mengurangi biaya pemesanan tahunan. Namun, memesan jumlah yang lebih besar menghasilkan tingkat persediaan yang lebih tinggi dan biaya penyimpanan yang lebih tinggi.

Secara umum, dengan **meningkatnya ukuran pesanan**, menyebabkan **biaya pemesanan menurun** tetapi **biaya penyimpanan meningkat**.

- 3) **Biaya kekurangan**, juga disebut sebagai **biaya kehabisan persediaan**, terjadi ketika permintaan pelanggan tidak dapat dipenuhi

karena persediaan yang ada tidak mencukupi. Jika kekurangan ini mengakibatkan hilangnya penjualan permanen untuk barang yang diminta tetapi tidak disediakan, **biaya kekurangan termasuk hilangnya keuntungan**. Kekurangan juga dapat menyebabkan pelanggan ketidakpuasan dan hilangnya niat baik yang dapat mengakibatkan hilangnya pelanggan dan penjualan di masa depan secara permanen.

Dalam beberapa kasus ketidakmampuan untuk bertemu pelanggan permintaan atau keterlambatan dalam memenuhi permintaan mengakibatkan penalti tertentu dalam bentuk potongan harga atau rabat. Ketika permintaan bersifat internal, kekurangan dapat menyebabkan penghentian pekerjaan dalam proses produksi dan membuat penundaan, yang mengakibatkan biaya waktu henti dan biaya produksi yang hilang (termasuk biaya tidak langsung dan langsung).

Biaya yang dihasilkan dari kehilangan penjualan segera atau di masa depan karena permintaan tidak dapat dipenuhi lebih sulit ditentukan daripada biaya penyimpanan atau pemesanan. Hasil dari, biaya kekurangan seringkali merupakan perkiraan subjektif dan seringkali tidak lebih dari tebakan terpelajar. Kekurangan terjadi karena mahal untuk membawa persediaan dalam persediaan. Akibatnya, **biaya kekurangan memiliki hubungan terbalik dengan biaya penyimpanan**; sebagai jumlah persediaan di tangan meningkat, biaya penyimpanan meningkat, sementara biaya kekurangan berkurang.

Tujuan kita mempelajari manajemen persediaan adalah untuk **menerapkan sistem pengendalian persediaan** yang akan menunjukkan berapa banyak

yang harus dipesan dan kapan pesanan harus diambil tempat untuk meminimalkan jumlah dari tiga biaya persediaan yang dijelaskan di sini.

Tujuan dari manajemen persediaan adalah untuk **menentukan berapa banyak dan kapan harus memesan.**

B. Sistem Manajemen Persediaan

Sistem manajemen persediaan adalah struktur untuk mengendalikan tingkat persediaan dengan menentukan berapa banyak yang harus dipesan (tingkat pengisian ulang) dan kapan harus memesan. Terdapat dua tipe dasar sistem persediaan:

- 1) sistem kontinu (atau kuantitas pesanan tetap) dan
- 2) sistem periodik (atau periode waktu tetap).

Perbedaan utama antara dua sistem adalah bahwa dalam sistem kontinu, pesanan ditempatkan untuk jumlah konstan yang sama setiap kali persediaan di tangan berkurang menjadi tingkat tertentu, sedangkan dalam sistem periodik, pesanan ditempatkan untuk jumlah variabel setelah berlalunya waktu yang ditetapkan.

B.1 Sistem Kontinu

Dalam sistem persediaan berkelanjutan, atau disebut sebagai sistem perpetual atau **sistem kuantitas pesanan tetap**, catatan tingkat persediaan secara berkesinambungan untuk setiap item dipertahankan. Setiap kali persediaan di tangan menurun ke tingkat yang telah ditentukan, disebut sebagai titik pemesanan ulang, pesanan baru ditempatkan ke mengisi kembali stok persediaan. Pesanan yang ditempatkan adalah untuk jumlah "**tetap**" yang meminimalkan total biaya penyimpanan, pemesanan, dan kekurangan

persediaan. Kuantitas pesanan tetap disebut kuantitas pesanan ekonomis; penentuannya akan dibahas secara lebih rinci di bagian selanjutnya.

Dalam sistem persediaan berkelanjutan, jumlah yang konstan dipesan ketika persediaan menurun ke tingkat yang telah ditentukan. Fitur positif dari sistem berkelanjutan adalah tingkat persediaan dipantau secara ketat dan terus-menerus sehingga manajemen selalu mengetahui persediaan status. Hal ini sangat menguntungkan untuk persediaan penting seperti suku cadang atau bahan baku dan persediaan. Namun, biaya pemeliharaan catatan jumlah persediaan yang ada secara terus-menerus juga dapat menjadi **kelemahan** dari sistem jenis ini.

Berikut adalah contoh sederhana dari sistem persediaan berkelanjutan. Buku cek dilengkapi dengan 300 cek, setelah cek ke-200 digunakan (dan tersisa 100), ada formulir pemesanan untuk *batch* cek baru yang telah dimasukkan oleh sistem. Formulir ini, ketika diserahkan di bank, memulai pesanan untuk sejumlah 300 cek baru dari bank.

Banyak sistem inventaris kantor menggunakan kartu "penyusunan ulang" yang ditempatkan di dalam tumpukan alat tulis atau di bagian bawah kotak pena atau klip kertas untuk memberi sinyal kapan pesanan baru harus dilakukan. Jika Anda melihat ke belakang item pada rak gantung di toko Kmart, Anda akan melihat kartu yang menunjukkan bahwa sudah waktunya untuk memesan barang ini, dengan jumlah yang tertera pada kartu.

Contoh yang lebih canggih dari sistem persediaan berkelanjutan adalah sistem pembayaran terkomputerisasi dengan pemindai laser, yang digunakan oleh banyak supermarket dan toko eceran toko. Dalam sistem ini pemindai laser membaca Kode Produk Universal (UPC), atau kode batang (barcode), dari paket produk, dan transaksi langsung dicatat dan tingkat persediaan diperbarui. Sistem seperti itu tidak hanya cepat dan akurat, tetapi juga

memberikan informasi yang terus diperbarui kepada manajemen tentang status tingkat persediaan. Meskipun tidak terlihat secara publik seperti sistem supermarket, banyak perusahaan manufaktur, pemasok, dan distributor juga menggunakan sistem barkode dan pemindai laser genggam untuk menginventarisasi bahan, persediaan, peralatan, suku cadang dalam proses, dan barang jadi.

Karena **sistem persediaan kontinu jauh lebih umum daripada sistem periodik**, model yang menentukan jumlah pesanan tetap dan waktu pemesanan akan menerima sebagian besar perhatian kita dalam bab ini.

B.2 Sistem Periodik

Dalam sistem persediaan periodik, juga disebut sebagai sistem periode waktu tetap atau sistem tinjauan berkala, persediaan yang ada dihitung pada waktu tertentu. Interval waktu misalnya, setiap minggu atau setiap akhir bulan. Setelah jumlah persediaan dalam stok ditentukan, pesanan dilakukan dengan jumlah yang akan membawa persediaan kembali ke tingkat yang diinginkan. Pada sistem ini tingkat persediaan tidak terpantau sama sekali selama selang waktu antar pesanan, sehingga memiliki keuntungan dari membutuhkan sedikit atau tidak ada pencatatan. Namun, ia memiliki kelemahan dari kontrol yang kurang langsung. Ini biasanya menghasilkan tingkat persediaan yang lebih besar untuk sebuah sistem persediaan periodik daripada dalam sistem berkelanjutan, untuk menjaga dari kehabisan persediaan yang tidak terduga di awal periode tetap.

Sistem seperti ini juga mengharuskan kuantitas pesanan ditentukan setiap kali pesanan periodik dibuat. Dalam sistem persediaan periodik, pesanan ditempatkan untuk jumlah variabel setelah berlalunya waktu yang tetap. Sistem persediaan periodik sering ditemukan di toko buku perguruan tinggi atau universitas. Buku teks biasanya dipesan menurut sistem periodik,

di mana hitungan stok buku teks (untuk setiap mata kuliah) dibuat setelah beberapa minggu atau bulan pertama selama semester atau kuartal. Pesanan untuk buku pelajaran baru untuk selanjutnya semester kemudian dibuat sesuai dengan perkiraan pendaftaran kursus untuk semester berikutnya (yaitu, permintaan) dan jumlah yang tersisa di gudang. Toko ritel kecil, toko obat, toko kelontong, dan kantor sering menggunakan sistem periodik; tingkat stok diperiksa setiap minggu atau bulan, sering kali oleh vendor, untuk melihat berapa banyak (jika apapun) harus dipesan.

C. Model Matematis dalam Manajemen Persediaan

C.1 Model EOQ (*Economic Order Quantity*)

EOQ adalah **sistem persediaan kontinu**.

Kita akan ingat bahwa dalam sistem kuantitas pesanan terus menerus atau tetap, ketika persediaan mencapai tingkat tertentu, disebut sebagai titik pemesanan ulang, jumlah tetap adalah dipesan. Cara yang paling banyak digunakan dan tradisional untuk menentukan berapa banyak untuk memesan dalam sistem kontinu adalah model kuantitas pesanan ekonomis (EOQ), juga disebut sebagai model ukuran lot ekonomi.

Fungsi model EOQ adalah untuk **menentukan ukuran pesanan optimal yang meminimalkan total biaya persediaan**.¹⁹ Ada beberapa variasi model EOQ, tergantung pada asumsi yang dibuat tentang sistem persediaan. Pada bagian ini dan selanjutnya kami akan menjelaskan tiga versi model, yaitu:²⁰

¹⁹ Whitin, T. M. (1957). *The Theory of Inventory Management*. NJ: Princeton University Press.

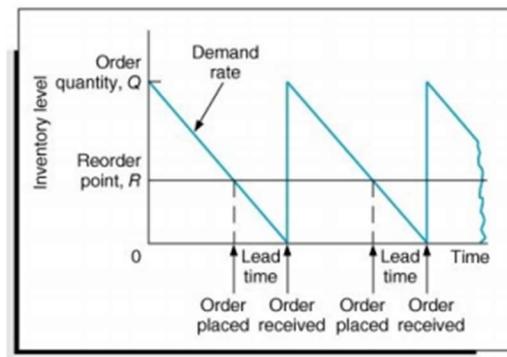
²⁰ Wagner, H. M. (1962). *Statistical Management of Inventory Systems*. New York: John Wiley & Sons.

1) Model EOQ dasar

Bentuk paling sederhana dari model kuantitas pesanan ekonomis yang menjadi dasar semua versi model lainnya disebut model EOQ dasar. Ini pada dasarnya adalah satu rumus untuk menentukan ukuran pesanan optimal yang meminimalkan jumlah biaya penyimpanan dan biaya pemesanan. Rumus model diturunkan di bawah satu set penyederhanaan dan asumsi restriktif, sebagai berikut:

- Permintaan diketahui dengan pasti dan relatif konstan sepanjang waktu.
- Tidak ada kekurangan yang diperbolehkan.
- *Lead time* untuk penerimaan pesanan adalah konstan.
- Jumlah pesanan diterima sekaligus.

EOQ adalah kuantitas pesanan optimal yang akan meminimalkan total biaya persediaan. Asumsi model EOQ meliputi permintaan konstan, tidak ada kekurangan, lead time konstan, dan penerimaan pesanan seketika. Berikut ini Grafik yang mencerminkan asumsi model dasar ini:



Gambar 4.1 Siklus pesanan persediaan

Gambar 4.1 menjelaskan sistem siklus pemesanan persediaan kontinu yang melekat pada model EOQ. Kuantitas pesanan, Q , diterima dan digunakan dari waktu ke waktu pada angka konstan. Ketika tingkat

persediaan menurun ke titik pemesanan ulang, R , pesanan baru diberikan, dan hal tersebut merujuk periode waktu yang diperlukan untuk pengiriman, yang disebut sebagai lead time. Pesanan diterima sekaligus, tepat pada saat permintaan menghabiskan seluruh persediaan (dan tingkat persediaan mencapai nol), sehingga tidak terjadi kekurangan. Siklus ini terus berulang untuk jumlah pesanan, titik pemesanan ulang, dan waktu tunggu yang sama.

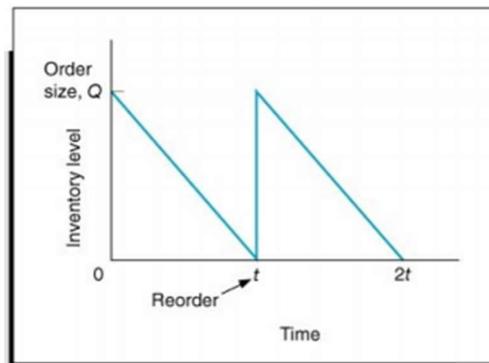
Seperti yang kami sebutkan sebelumnya, Q_i adalah ukuran pesanan yang meminimalkan jumlah biaya penyimpanan dan biaya pemesanan. Kedua biaya ini bereaksi terbalik satu sama lain dalam menanggapi peningkatan ukuran pesanan. Dengan bertambahnya ukuran pesanan, semakin sedikit pesanan yang dibutuhkan, menyebabkan biaya pemesanan menurun, sedangkan rata-rata jumlah persediaan di tangan meningkat, mengakibatkan peningkatan biaya penyimpanan. Jadi, sebenarnya, kuantitas pesanan yang optimal merupakan kompromi antara dua biaya yang saling bertentangan ini.

Biaya penyimpanan

Biaya penyimpanan dinyatakan dalam basis per unit untuk beberapa periode waktu (walaupun kadang-kadang diberikan sebagai persentase dari persediaan rata-rata). Secara tradisional, biaya tercatat disebut secara tahunan (yaitu, per tahun). Total biaya tercatat ditentukan oleh jumlah persediaan yang ada selama tahun tersebut. Jumlah persediaan yang tersedia selama tahun tersebut diilustrasikan pada Gambar 4.2.

Pada Gambar 4.2, Q menunjukkan ukuran pesanan yang diperlukan untuk mengisi kembali persediaan, yang ingin ditentukan oleh seorang manajer. Garis yang menghubungkan Q ke waktu, t ,

dalam grafik kami mewakili tingkat di mana persediaan habis, atau permintaan, selama periode waktu, t . Permintaan diasumsikan diketahui dengan pasti dan dengan demikian konstan, yang menjelaskan mengapa garis yang mewakili permintaan itu lurus. Juga, perhatikan bahwa persediaan tidak pernah turun di bawah nol; kehilangan penjualan diasumsikan tidak ada.



Gambar 4.2 Penggunaan Persediaan

Selain itu, ketika tingkat persediaan mencapai nol, diasumsikan bahwa pesanan tiba segera setelah berlalunya waktu yang sangat kecil, suatu kondisi yang disebut sebagai pembelian langsung / *instantaneous receipt*. Ini adalah asumsi penyederhanaan yang akan kita pertahankan untuk saat ini.

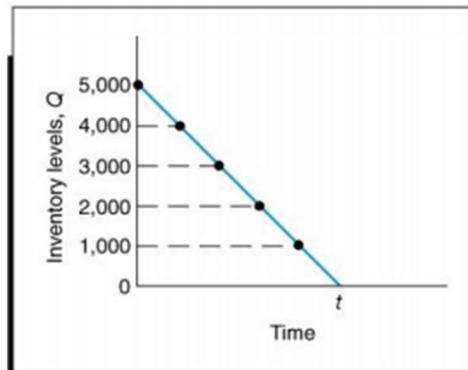
Mengacu pada Gambar 4.2, kita dapat melihat bahwa jumlah persediaan adalah Q , ukuran pesanan, untuk jangka waktu yang sangat kecil karena Q selalu habis oleh permintaan. Demikian pula, jumlah persediaan adalah nol untuk periode waktu yang sangat kecil karena satu-satunya waktu dimana tidak ada persediaan adalah pada saat waktu t tertentu. Dengan demikian, jumlah persediaan yang tersedia berada di antara dua ekstrem ini. Pengurangan logis adalah bahwa

jumlah persediaan yang tersedia adalah tingkat persediaan rata-rata, didefinisikan sebagai rumus berikut:

$$\text{rata - rata persediaan} = \frac{Q}{2}$$

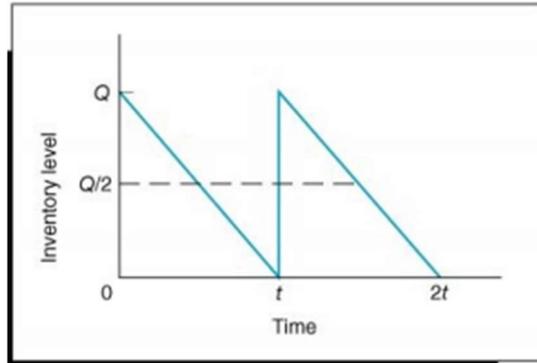
Untuk memverifikasi hubungan ini, kita dapat menentukan sejumlah nilai poin Q selama seluruh periode waktu, t, dan membaginya dengan jumlah poin. Misalnya, jika $Q = 5.000$, enam poin yang ditunjuk dari 5.000 hingga 0, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, dijumlahkan dan dibagi 6:

$$\text{rata - rata persediaan} = \frac{5.000 + 4.000 + 3.000 + 2.000 + 1.000 + 0}{6}$$



Gambar 4.3 Level Q

Atau, kita dapat menjumlahkan dua titik ekstrem saja (yang juga mencakup rentang waktu, t) dan membaginya dengan 2. Ini juga sama dengan 2.500. Perhitungan tersebut adalah sama, sehingga pada prinsipnya, seperti menambahkan Q dan 0 dan membaginya dengan 2, yang sama dengan $Q/2$. Hubungan untuk persediaan rata-rata ini dipertahankan, terlepas dari ukuran urutan, Q, atau frekuensi pesanan (yaitu, periode waktu, t). Dengan demikian, persediaan rata-rata setiap tahun juga $Q/2$, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Rata – rata Tahunan Persediaan

Sekarang kita tahu bahwa jumlah persediaan yang tersedia setiap tahun adalah persediaan rata-rata, $Q/2$, kita dapat menentukan total biaya penyimpanan tahunan dengan mengalikan jumlah rata-rata unit dalam persediaan dengan biaya tercatat per unit per tahun, C_c :

$$\text{biaya penyimpanan tahunan} = C_c \frac{Q}{2}$$

Biaya Pemesanan

Total biaya pemesanan tahunan dihitung dengan mengalikan biaya per pesanan, ditunjuk sebagai C_0 , dengan jumlah pesanan per tahun. Karena permintaan tahunan adalah diasumsikan diketahui dan konstan, jumlah pesanan akan menjadi D/Q , di mana Q_i adalah ukuran pesanan:

$$\text{biaya pemesanan tahunan} = C_0 \frac{D}{Q}$$

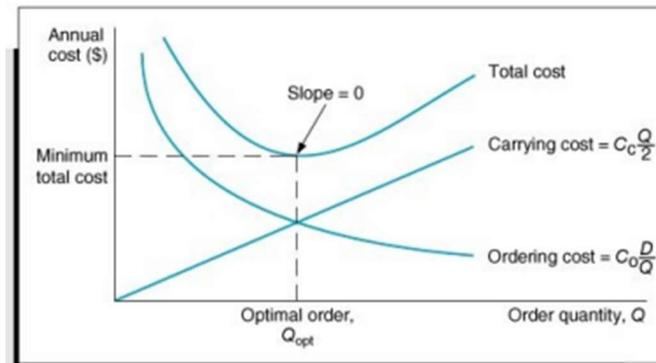
Satu-satunya variabel dalam persamaan ini adalah Q ; baik C_0 dan D adalah parameter konstan. Dengan kata lain, permintaan diketahui dengan pasti. Jadi, besar relatif dari biaya pemesanan tergantung pada jumlah pesanan.

Total Biaya Persediaan

Total biaya persediaan tahunan hanyalah jumlah dari biaya pemesanan dan penyimpanan (dikarenakan diasumsikan biaya kehilangan penjualan tidak ada):

$$T_c = C_0 \frac{D}{Q} + C_c \frac{Q}{2}$$

Fungsi biaya ini ditunjukkan pada Gambar 4.5. Perhatikan hubungan terbalik antara biaya pemesanan dan biaya penyimpanan, menghasilkan kurva biaya total cembung



Gambar 4.5 Model Biaya EOQ

Jika kita mengamati tren kenaikan umum dari kurva biaya total tercatat. Ketika ukuran pesanan Q (ditampilkan pada sumbu horizontal) meningkat, total biaya penyimpanan (ditampilkan pada sumbu vertikal) meningkat. Hal ini logis karena pesanan yang lebih besar akan menghasilkan lebih banyak unit yang dibawa dalam persediaan. Selanjutnya, amati kurva biaya pemesanan pada Gambar 4.5. Ketika ukuran pesanan, Q, meningkat, biaya pemesanan menurun (berlawanan dengan apa yang terjadi dengan biaya penyimpanan). Hal ini dinilai logis karena peningkatan ukuran pesanan akan menghasilkan lebih sedikit pesanan yang ditempatkan setiap tahun. Karena satu biaya meningkat saat yang lain menurun, hasil

penjumlahan kedua biaya tersebut merupakan kurva biaya total yang cembung.

Kuantitas pesanan optimal terjadi pada titik pada Gambar 16.5 di mana kurva biaya total minimum, yang juga bertepatan persis dengan titik di mana kurva biaya pemesanan berpotongan dengan kurva biaya penyimpanan. Hal ini memungkinkan kita untuk menentukan nilai Q yang optimal dengan menyamakan kedua fungsi biaya dan menyelesaikannya untuk Q, sebagai berikut:

$$C_0 \frac{D}{Q} = C_c \frac{Q}{2}$$

$$Q^2 = \frac{2 C_0 D}{C_c}$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 C_0 D}{C_c}}$$

Nilai Q yang optimal sesuai dengan titik terendah pada kurva biaya total . Atau, nilai optimal Q dapat ditentukan dengan mendiferensiasikan kurva biaya total terhadap Q, dengan menetapkan fungsi yang dihasilkan sama dengan nol (kemiringan pada titik minimum pada kurva biaya total), dan penyelesaian untuk Q, sebagai berikut:

$$T_c = C_0 \frac{D}{Q} + C_c \frac{Q}{2}$$

$$\frac{\delta TC}{\delta Q} = -\frac{C_0 D}{Q^2} + \frac{C_c}{2}$$

$$0 = -\frac{C_0 D}{Q^2} + \frac{C_c}{2}$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 C_0 D}{C_c}}$$

Total biaya minimum ditentukan dengan mengganti nilai untuk ukuran pesanan optimal, Q_{opt} , ke dalam persamaan biaya total:

$$TC_{min} = \frac{C_0 D}{Q_{opt}} + C_c \frac{Q_{opt}}{2}$$

Kami akan menggunakan contoh berikut untuk menunjukkan bagaimana nilai Q_{opt} dihitung.

Contoh kasus: Toko Diskon Karpet menyimpan karpet di gudangnya dan menjualnya melalui ruang yang bersebelahan. Toko menyimpan beberapa merek dan model karpet dalam persediaan, namun, memiliki penjual terbesarnya yaitu Super karpet. Toko ingin menentukan ukuran pesanan yang optimal dan total biaya persediaan untuk karpet merek ini, dengan perkiraan permintaan tahunan 10.000 m karpet, biaya penyimpanan tahunan Rp.0,75rb per meter, dan biaya pemesanan Rp.150rb. Toko juga ingin mengetahui jumlah pesanan yang akan dibuat setiap tahun dan waktu antar pesanan (yaitu, siklus pemesanan), mengingat toko buka setiap hari kecuali hari Minggu, dan Hari libur (yang bukan pada hari Minggu).

Mari Kita ringkas parameter model sebagai berikut:

$$C_c = \text{Rp.}0,75\text{rb}$$

$$C_0 = \text{Rp.} 150\text{rb}$$

$$D = 10.000$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 C_0 D}{C_c}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 150 \cdot 10.000}{0,75}} = 2.000 \text{ m}$$

Total biaya persediaan tahunan ditentukan dengan mengganti Q_{opt} ke dalam rumus biaya total, sebagai berikut:

$$TC_{min} = \frac{C_0 D}{Q_{opt}} + C_c \frac{Q_{opt}}{2}$$

$$TC_{min} = \frac{(150) (10.000)}{2.000} + (0,75) \frac{2.000}{2} = Rp. 1.500rb$$

Jumlah pesanan per tahun dihitung sebagai berikut:

$$\text{jumlah pesanan optimum} = \frac{D}{Q_{opt}} = \frac{10.000}{2.000} = 5$$

Mengingat bahwa toko buka 311 hari setiap tahun (365 hari dikurangi 52 hari Minggu, ditambah hari libur), siklus pemesanan ditentukan sebagai berikut:

$$\text{siklus pemesanan} = \frac{311}{D / Q_{opt}} = \frac{311}{5} = 62,2 \text{ hari}$$

Perlu dicatat bahwa kuantitas pesanan optimal yang ditentukan dalam contoh ini, dan secara umum, adalah nilai perkiraan karena didasarkan pada perkiraan biaya penyimpanan dan pemesanan serta permintaan yang tidak pasti (walaupun semua parameter ini diperlakukan sebagai nilai tertentu yang diketahui dalam model EOQ). Jadi, dalam prakteknya adalah dapat diterima untuk membulatkan nilai Q ke bilangan bulat terdekat. Ketepatan tempat desimal umumnya tidak diperlukan atau tidak tepat.

Selain itu, karena kuantitas pesanan yang optimal dihitung dari akar kuadrat, kesalahan atau variasi dalam parameter biaya dan permintaan cenderung berkurang. Misalnya, jika biaya pemesanan benar-benar sepertiga lebih tinggi, atau Rp.200, ukuran pesanan optimal yang dihasilkan akan bervariasi sekitar 15% (yaitu, 2.390 m bukannya 2.000 yard). Selain itu, variasi kedua biaya persediaan akan cenderung saling mengimbangi karena memiliki hubungan yang berbanding terbalik.

Akibatnya, model EOQ relatif kuat, atau tahan terhadap kesalahan dalam perkiraan biaya dan permintaan, yang cenderung meningkatkan popularitasnya.

Model **EOQ adalah Robust**; hal ini dikarenakan karena Q_i adalah akar kuadrat, kesalahan dalam estimasi D , C_c , dan C_0 menjadi diperkecil.

Analisis EOQ Seiring Berjalannya Waktu

Salah satu aspek analisis persediaan yang dapat membingungkan adalah kerangka waktu yang dicakup oleh analisis.

Ingatlah bahwa sebelumnya kita mengembangkan model EOQ "terlepas dari ukuran pesanan, Q , dan waktu, t ." Sekarang kita akan memverifikasi kondisi ini. Kita akan mencoba melakukannya dengan mengembangkan model EOQ kami setiap bulan. Dengan menggunakan contoh sebelumnya, langkah yang kita lakukan adalah permintaan sama dengan 833,3 m per bulan (yang kita tentukan dengan membagi permintaan tahunan 10.000 m dengan 12 bulan). Selanjutnya, dengan membagi biaya penyimpanan tahunan, C_c , sebesar Rp.0,75rb dengan 12, kita mendapatkan biaya penyimpanan bulanan (per unit): $C_c = \text{Rp.}0,0625\text{rb}$. (Biaya pemesanan Rp.150rb tidak terkait dengan waktu, karena ini adalah proses pemesanan barang) Dengan demikian, kita akan mencoba menghitung:

$$C_c = \text{Rp.}0,0625\text{rb}$$

$$C_0 = \text{Rp.}150\text{rb}$$

$$D = 833,3$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 C_0 D}{C_c}} = \sqrt{\frac{2 \times 150 \times 833,3}{0,0625}} = 2.000 \text{ m}$$

Ini adalah ukuran pesanan optimal yang sama yang kita tentukan setiap tahun pada perhitungan sebelumnya. Sekarang kita akan menghitung total biaya persediaan bulanan:

$$TC_{min/bln} = \frac{(150)(833,3)}{2.000} + (0,0625) \frac{2.000}{2} = Rp. 125rb /bln$$

Untuk mengonversi total biaya bulanan ini menjadi biaya tahunan, kita dapat mengalikannya dengan 12 (bulan) total biaya persediaan tahunan = (Rp125rb)(12) = Rp1,500rb

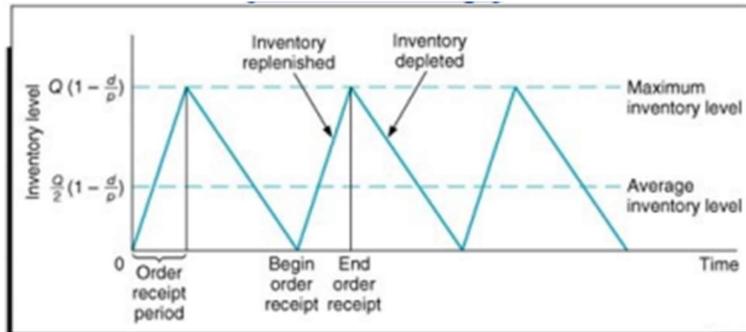
Contoh singkat ini menunjukkan bahwa terlepas dari periode waktu yang dicakup oleh analisis EOQ, kuantitas pesanan ekonomi (Q_{opt}) adalah sama.

2) Model EOQ dengan penerimaan non-instan,

Variasi model EOQ dasar dicapai ketika asumsi bahwa pesanan dapat diterima sekaligus. Versi model EOQ ini dikenal sebagai model penerimaan non-instan, juga disebut sebagai model penggunaan bertahap, atau ukuran lot produksi.

Dalam variasi EOQ ini, jumlah pesannya adalah diterima secara bertahap dari waktu ke waktu dan tingkat persediaan habis pada saat yang sama sedang diisi ulang. Ini adalah situasi yang paling sering ditemukan ketika pengguna persediaan juga merupakan produsen, seperti, misalnya, dalam operasi manufaktur di mana suatu bagian diproduksi untuk digunakan dalam perakitan yang lebih besar. Situasi ini juga bisa terjadi ketika pesanan dikirimkan secara bertahap dari waktu ke waktu atau pengecer dan produsen suatu produk adalah satu dan sama.²¹

²¹ Hadley, G., dan Whitin, T. M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.



Gambar 4.6 Model EOQ dengan penerimaan non-instan

Komponen biaya pemesanan dari model EOQ dasar tidak berubah sebagai akibat dari penambahan bertahap tingkat persediaan karena tergantung hanya pada jumlah pesanan tahunan. Namun, komponen biaya tercatat tidak sama untuk variasi model ini karena rata-rata persediaan berbeda. Di dalam model EOQ dasar, persediaan rata-rata adalah setengah dari tingkat persediaan maksimum, atau $Q/2$, tetapi dalam variasi ini, tingkat persediaan maksimum bukan hanya Q ; ini adalah sebuah jumlah sedikit lebih rendah dari Q , disesuaikan dengan fakta bahwa jumlah pesanan habis selama periode penerimaan pesanan.

Untuk menentukan tingkat persediaan rata-rata, kami mendefinisikan parameter berikut yang unik untuk model ini:

p = tingkat harian di mana pesanan diterima dari waktu ke waktu, juga dikenal sebagai tingkat produksi

d = tingkat harian di mana persediaan diminta

Tingkat permintaan tidak dapat melebihi tingkat produksi karena kita masih mengasumsikan bahwa tidak ada kekurangan yang mungkin terjadi, dan jika $d = p$, maka tidak ada ukuran pesanan karena barang digunakan secepat mereka diproduksi. Jadi, untuk model ini, tingkat produksi harus melebihi tingkat permintaan, atau $p > d$.

Mengamati Gambar 4.6, waktu yang dibutuhkan untuk menerima pesanan adalah jumlah pesanan dibagi dengan tingkat penerimaan pesanan, atau Q/p . Misalnya, jika ukuran pesanan adalah 100 unit dan tingkat produksi, p , adalah 20 unit per hari, pesanan akan diterima dalam 5 hari. Jumlah persediaan yang akan habis atau digunakan selama periode waktu ini ditentukan dengan mengalikan dengan tingkat permintaan, atau $(Q/p)d$. Misalnya, jika dibutuhkan 5 hari untuk menerima pesanan dan selama waktu ini persediaan habis pada tingkat 2 unit per hari, maka total 10 unit yang digunakan. Akibatnya, jumlah maksimum inventaris yang ada adalah pesanan ukuran dikurangi jumlah yang habis selama periode penerimaan, dihitung sebagai berikut dan ditunjukkan sebelumnya pada Gambar 4.6:

$$\begin{aligned} \text{Tingkat persediaan maksimum} &= Q - \frac{Q}{p} d \\ &= Q \left(1 - \frac{d}{p} \right) \end{aligned}$$

Karena ini adalah tingkat persediaan maksimum, tingkat persediaan rata-rata ditentukan dengan membagi jumlah ini dengan 2, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rata - rata tingkat persediaan} &= \frac{1}{2} \left[Q \left(1 - \frac{d}{p} \right) \right] \\ &= \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p} \right) \end{aligned}$$

Total biaya penyimpanan, menggunakan fungsi ini untuk persediaan rata-rata, adalah:

$$\text{Total biaya penyimpanan} = C_c \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p} \right)$$

Dengan demikian, total biaya persediaan tahunan ditentukan menurut rumus berikut:

$$TC = \frac{C_0 D}{Q_{opt}} + C_c \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right)$$

Total biaya persediaan merupakan fungsi dari dua biaya lainnya, seperti pada model EOQ kami sebelumnya. Dengan demikian, biaya persediaan minimum terjadi ketika kurva biaya total terendah dan di mana kurva biaya penyimpanan dan kurva biaya pemesanan berpotongan (lihat Gambar 4.5). Oleh karena itu, untuk mencari Q_{opt} yang optimal, kita menyamakan total biaya penyimpanan dengan total biaya pemesanan:

$$C_c \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) = C_0 \frac{D}{Q}$$

$$C_c \frac{Q^2}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right) = C_0 D$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \times C_0 \times D}{C_c \left(1 - \frac{d}{p}\right)}}$$

dengan contoh sebelumnya, sekarang kita akan mengasumsikan bahwa toko Carpet memiliki fasilitas manufaktur sendiri, di mana ia memproduksi karpet Super. Selanjutnya akan kita asumsikan bahwa biaya pemesanan, C_0 , adalah biaya persiapan proses produksi untuk membuat karpet Super. dimana $C_c = \text{Rp.0,75rb}$ per meter, dan D (permintaan) = 10.000 meter per tahun. Fasilitas manufaktur beroperasi pada hari yang sama dengan toko buka (yaitu, 311 hari) dan menghasilkan 150 yard karpet perhari. Ukuran pesanan yang optimal, total biaya persediaan, lamanya waktu menerima pesanan, jumlah

pesanan per tahun, dan tingkat persediaan maksimum dihitung sebagai berikut:

$$C_c = \text{Rp.}0,75\text{rb}$$

$$C_0 = \text{Rp.}150\text{rb}$$

$$D = 10.000$$

$$d = 10.000 / 311 = 32,2 \text{ m/hari}$$

$$p = 150 \text{ m /hari}$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \times C_0 \times D}{C_c \left(1 - \frac{d}{p}\right)}}$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \times 150 \times 10.000}{0,75 \left(1 - \frac{32,2}{150}\right)}}$$

$$Q_{opt} = 2.256,8 \text{ m}$$

Nilai ini disubstitusikan ke dalam rumus berikut untuk menentukan total biaya persediaan tahunan minimum:

$$TC = \frac{C_0 D}{Q_{opt}} + C_c \frac{Q}{2} \left(1 - \frac{d}{p}\right)$$

$$TC = \frac{0,75 \times 10.000}{2.256,8} + 0,75 \frac{10.000}{2} \left(1 - \frac{32,2}{150}\right)$$

$$TC = \text{Rp.} 1.329\text{rb}$$

Lamanya waktu untuk menerima pesanan untuk jenis operasi manufaktur ini biasa disebut lamanya produksi berjalan. Ini dihitung sebagai berikut:

$$\text{lamanya produksi berjalan} = \frac{Q}{p} = \frac{2.256,8}{150} = 15,05 \text{ hari}$$

Jumlah pesanan per tahun sebenarnya adalah jumlah produksi yang akan dilakukan, dihitung sebagai berikut:

$$\text{Jumlah produksi yang dilakukan} = \frac{D}{Q} = \frac{10.000}{2.256,8} = 4,43 \text{ kali}$$

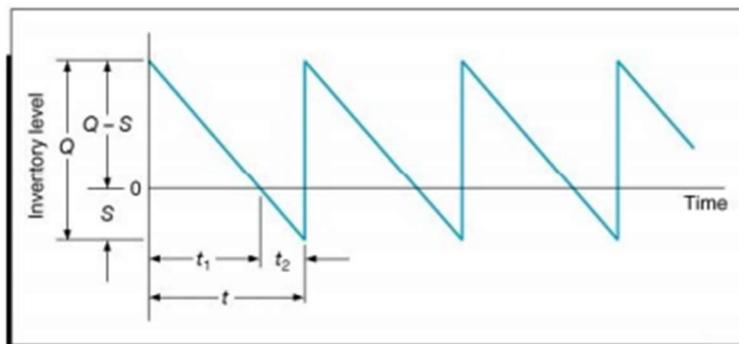
tingkat persediaan maksimum dihitung sebagai berikut:

$$\text{tingkat persediaan maksimum} = Q \left(1 - \frac{d}{p}\right)$$

$$\text{tingkat persediaan maksimum} = 2.256,8 \left(1 - \frac{32,2}{150}\right) = 1.722 \text{ meter}$$

3) Model EOQ dengan *shortages*

Salah satu asumsi model EOQ dasar kami adalah **bahwa kekurangan dan pemesanan kembali tidak diperbolehkan**. Variasi model ketiga yang akan kami uraikan, model EOQ dengan kekurangan, melemaskan asumsi ini. Namun, diasumsikan bahwa semua permintaan yang tidak terpenuhi karena kekurangan persediaan dapat dipesan kembali dan dikirim ke pelanggan nanti. Dengan demikian, semua permintaan akhirnya terpenuhi. Model EOQ dengan *shortages* diilustrasikan pada Gambar 4.7.

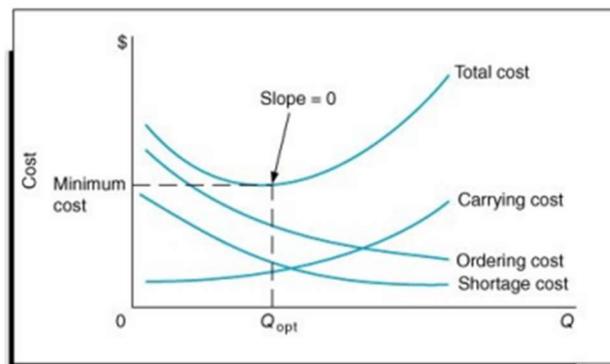


Gambar 4.7 Model EOQ dengan *shortages*

Model EOQ dengan kekurangan bertujuan meniadakan asumsi bahwa kekurangan tidak mungkin ada. Karena permintaan yang dipesan kembali, atau kekurangan, S, diisi ketika persediaan diisi ulang, tingkat persediaan maksimum tidak mencapai Q, melainkan tingkat sama dengan QS. Dapat dilihat dari Gambar 4.7 bahwa jumlah

persediaan di tangan (QS) berkurang dengan meningkatnya jumlah kekurangan, dan sebaliknya.

Oleh karena itu, biaya yang terkait dengan kekurangan, yang kami jelaskan sebelumnya dalam bab ini terutama sebagai biaya penjualan yang hilang dan niat baik pelanggan yang hilang, memiliki hubungan terbalik dengan biaya tercatat. Ketika ukuran pesanan, Q , meningkat, biaya penyimpanan meningkat dan biaya kekurangan menurun. Hubungan ini antara biaya penyimpanan dan kekurangan serta biaya pemesanan ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Model Biaya dengan *shortages*

Kita akan melupakan derivasi panjang komponen biaya individu dari model EOQ dengan *shortages*, yang memerlukan penerapan geometri bidang pada grafik yang direpresentasikan Gambar 4.8. Fungsi biaya individual diberikan sebagai berikut, di mana S sama dengan tingkat *shortages* dan C_s sama dengan biaya per unit tahunan dari *shortages*:

$$\text{Total biaya } \textit{shortages} = C_s \frac{S^2}{2Q}$$

$$\text{Total biaya penyimpanan} = C_c \frac{(Q-S)^2}{2Q}$$

$$\text{Total biaya pemesanan} = C_0 \frac{D}{Q}$$

Menggabungkan komponen biaya individual ini menghasilkan rumus biaya persediaan total (TC):

$$TC = C_s \frac{S^2}{2Q} + C_c \frac{(Q-S)^2}{2Q} + C_o \frac{D}{Q}$$

Jika kita memperhatikan Gambar 16.8 bahwa ketiga kurva komponen biaya tidak berpotongan pada titik yang sama, seperti yang terjadi pada model EOQ dasar. Hasil dari, satu-satunya cara untuk menentukan ukuran pesanan yang optimal dan tingkat kekurangan yang optimal, S, adalah dengan mendiferensiasikan fungsi biaya total terhadap Q dan S, atur keduanya persamaan yang dihasilkan sama dengan nol, dan menyelesaikannya secara bersamaan. Melakukannya menghasilkan rumus berikut untuk **jumlah pesanan optimal** dan **tingkat *shortages* optimal**:

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 C_o D}{C_c} \left(\frac{C_s + C_c}{C_s} \right)}$$

$$S_{opt} = Q_{opt} \left(\frac{C_s + C_c}{C_s} \right)$$

Kita kembali menggunakan contoh sebelumnya, dimana kita sekarang akan mengasumsikan bahwa Toko mengizinkan terjadinya *shortages* dan biaya *shortages*, “Cs” yang ditetapkan bernilai Rp.2rb per meter per tahun (biaya yang memberi arti bahwa adanya kemungkinan pelanggan tidak dapat membeli karpet dikarenakan tidak ada persediaan karpet). Semua biaya lainnya dan permintaan tetap sama ($C_c = \text{Rp.0,75rb}$, $C_o = \text{Rp.150rb}$, dan $D = 10.000 \text{ yd.}$). Ukuran pesanan yang optimal dan tingkat kekurangan dan total biaya persediaan tahunan minimum dihitung sebagai berikut:

$$C_c = \text{Rp.0,75rb}$$

$$C_0 = \text{Rp.150rb}$$

$$C_s = \text{Rp.2rb}$$

$$D = 10.000$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 C_0 D}{C_c} \left(\frac{C_s + C_c}{C_s} \right)}$$

$$Q_{opt} = \sqrt{\frac{2 \times 150 \times 10.000}{0,75} \left(\frac{2 + 0,75}{2} \right)} = 2.345,2 \text{ meter}$$

$$S_{opt} = Q_{opt} \left(\frac{C_s + C_c}{C_s} \right)$$

$$S_{opt} = 2.345,2 \left(\frac{2 + 0,75}{2} \right) = 639,6 \text{ meter}$$

$$TC = C_s \frac{S^2}{2Q} + C_c \frac{(Q-S)^2}{2Q} + C_0 \frac{D}{Q}$$

$$TC = 2 \frac{639,6^2}{2(2.435,2)} + 0,75 \frac{(2.435,2 - 639,6)^2}{2(2.435,2)} + 150 \frac{10.000}{2.435,2}$$

$$TC = \text{Rp. 1.279,20rb}$$

Beberapa parameter tambahan dari model EOQ dengan *shortages* dapat dihitung untuk contoh ini, sebagai berikut:

$$\text{Jumlah pemesanan} = \frac{D}{Q} = \frac{10.000}{2.435,2} = 4,26 \text{ kali}$$

$$\text{Tingkat persediaan maksimum} = Q - S = 2.435,2 - 639,6 = 1705,6 \text{ m}$$

$$\text{Waktu antar pesanan} = \frac{\text{hari kerja}}{\text{jumlah pesanan}} = \frac{311}{4,26} = 73 \text{ hari}$$

Pada Gambar 4.7, terdapat waktu *shortage* yaitu waktu selama persediaan ada, t_1 pada dan waktu selama ada kekurangan, t_2 , yang terjadi selama setiap siklus pemesanan dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

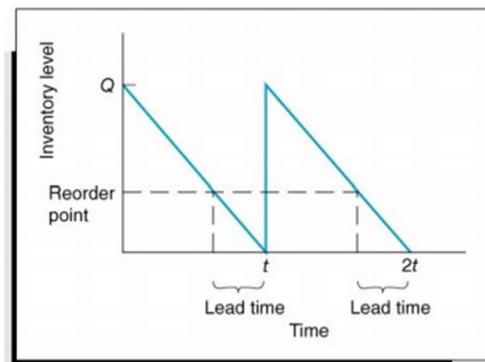
$$t_1 = \frac{Q - S}{D} = \frac{2.435,2 - 639,6}{10.000} = 0,171 \text{ tahun} = 53,2 \text{ hari}$$

$$t_1 = \frac{S}{D} = \frac{639,6}{10.000} = 0,064 \text{ tahun} = 19,9 \text{ hari}$$

C.2 Titik Pesan Kembali

Dalam penjabaran kita sebelumnya tentang model EOQ dasar, kita membahas salah satu dari dua pertanyaan utama yang terkait dengan manajemen persediaan, Berapa banyak yang harus dipesan? Dan Pada bagian ini kita akan membahas aspek lain dari manajemen persediaan, yaitu Kapan memesan? Penentu kapan harus memesan di sistem persediaan berkelanjutan adalah **titik pemesanan kembali**, yaitu tingkat persediaan di mana pesanan baru ditempatkan.

Konsep *lead time* (waktu persediaan baru datang tepat pada saat persediaan mencapai tingkat minimal ditetapkan) diilustrasikan secara grafis pada Gambar 4.9. menjadi dasar kita untuk memperhatikan bahwa pesanan harus dibuat sebelum saat tingkat persediaan turun ke nol. Karena permintaan menghabiskan persediaan saat pesanan sedang dikirim, pesanan harus dibuat ketika ada cukup persediaan untuk memenuhi permintaan selama periode *lead-time*. Tingkat persediaan ini disebut sebagai titik pemesanan kembali dan ditunjuk seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Titik Pemesanan Kembali dan *Lead time*

Titik pemesanan ulang untuk model EOQ dasar dengan permintaan konstan dan waktu tunggu yang konstan untuk menerima pesanan relatif mudah. Ini sama dengan jumlah yang diminta selama periode waktu tunggu, dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$R = dL$$

di mana

d = tingkat permintaan per periode waktu (yaitu, harian)

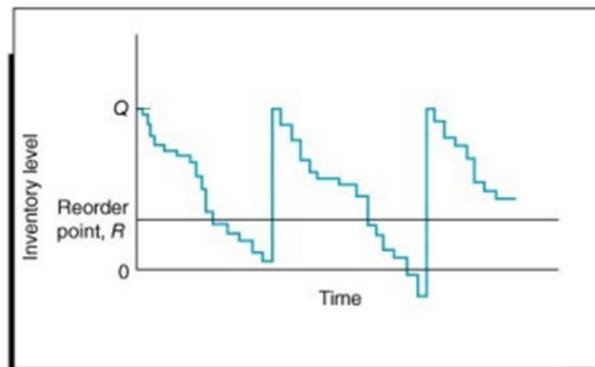
L = waktu tunggu

Mari kita lihat contoh sebelumnya yaitu toko Karpét yang dijelaskan sebelumnya. Toko buka 311 hari per tahun. Jika permintaan tahunan adalah 10.000 meter karpét Super dan lead time untuk menerima pesanan adalah 10 hari, titik pemesanan kembali untuk karpét ditentukan sebagai berikut:

$$R = dL = (10.000/311) \times 10 \text{hari} = 321,54 \text{ meter}$$

Jadi, ketika tingkat persediaan turun menjadi kira-kira 321 m karpét, pesanan baru ditempatkan. Perhatikan bahwa titik pemesanan ulang tidak berhubungan dengan pemesanan optimal kuantitas atau salah satu biaya persediaan.

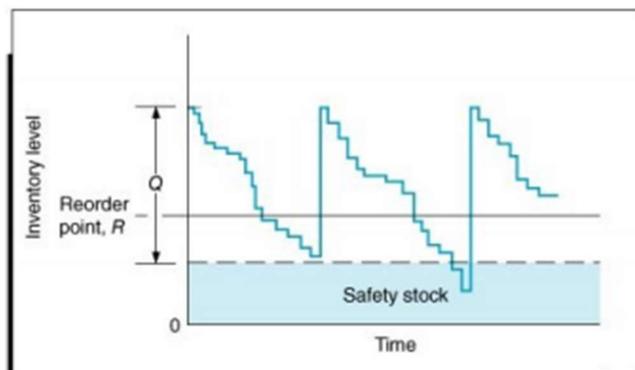
C3. Stok Pengaman / *Safety Stock*



Gambar 4.10. Model Persediaan dengan Permintaan yang Tidak Pasti

Dalam contoh sebelumnya untuk menentukan titik pemesanan ulang, pesanan dibuat ketika tingkat persediaan mencapai titik pemesanan ulang. Selama *lead time*, persediaan yang tersisa dalam persediaan habis sebagai tingkat permintaan yang konstan, sehingga jumlah pesanan baru tiba pada saat yang sama persis dengan tingkat persediaan mencapai nol pada Gambar 4.9. Namun, secara realistis, permintaan dan pada tingkat *lead time* lebih rendah tidak pasti. Tingkat persediaan mungkin akan habis lebih lambat atau tingkat lebih cepat selama *lead time*. Hal ini digambarkan pada Gambar 4.10 untuk permintaan yang tidak pasti dan lead time yang konstan.

Perhatikan pada siklus pesanan kedua bahwa kehabisan persediaan terjadi ketika permintaan melebihi persediaan yang tersedia dalam persediaan. Sebagai lindung nilai terhadap kehabisan stok saat permintaan tidak pasti, persediaan pengaman (atau penyangga) sering ditambahkan ke permintaan selama waktu tunggu. Penambahan *safety stock* ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Model Persediaan dengan *Safety Stock*

Menentukan *safety stock* Dengan Menggunakan Tingkat Layanan

Ada beberapa pendekatan untuk menentukan jumlah *safety stock* yang dibutuhkan. Salah satu metode yang paling populer adalah dengan menetapkan persediaan pengaman yang akan memenuhi tingkat layanan yang

ditentukan. Tingkat layanan adalah probabilitas bahwa jumlah persediaan yang ada selama lead time cukup untuk memenuhi yang diharapkan permintaan (yaitu, probabilitas bahwa kehabisan persediaan tidak akan terjadi). Kata layanan digunakan karena semakin tinggi kemungkinan persediaan akan ada, semakin banyak kemungkinan permintaan pelanggan akan terpenuhi (yaitu, pelanggan dapat dilayani). Misalnya, tingkat layanan 90% berarti ada probabilitas 0,90 bahwa permintaan akan dipenuhi selama periode *lead time* dan probabilitas 0,10 bahwa kehabisan persediaan akan terjadi. Spesifikasi tingkat layanan biasanya merupakan keputusan kebijakan berdasarkan sejumlah faktor, termasuk biaya untuk persediaan pengaman "ekstra" dan penjualan yang hilang saat ini dan di masa depan jika permintaan pelanggan tidak dapat dipenuhi.

Catatan: Tingkat layanan adalah probabilitas bahwa persediaan yang tersedia selama lead time akan memenuhi permintaan.

Titik Pemesanan Ulang dengan Permintaan Variabel

Untuk menghitung titik pemesanan kembali dengan persediaan pengaman yang akan memenuhi tingkat layanan tertentu, kita akan mengasumsikan bahwa permintaan individu selama setiap hari waktu tunggu tidak pasti dan independen dan dapat dijelaskan dengan distribusi probabilitas normal. Permintaan rata-rata untuk periode *lead-time* adalah jumlah dari rata-rata permintaan harian untuk hari-hari *lead time*, yang juga merupakan produk dari rata-rata permintaan harian dikalikan dengan *lead time*. Demikian pula, varian distribusi adalah jumlah varians harian untuk jumlah hari dalam periode lead-time. Menggunakan parameter ini, titik pemesanan ulang untuk memenuhi tertentu tingkat layanan dapat dihitung sebagai berikut:

$$R = \bar{d} L + (Z \sigma_d \sqrt{L})$$

Dimana:

\bar{d} = rata – rata permintaan harian

L = *Lead time*

Z = jumlah standar deviasi yang sesuai dengan probabilitas tingkat layanan

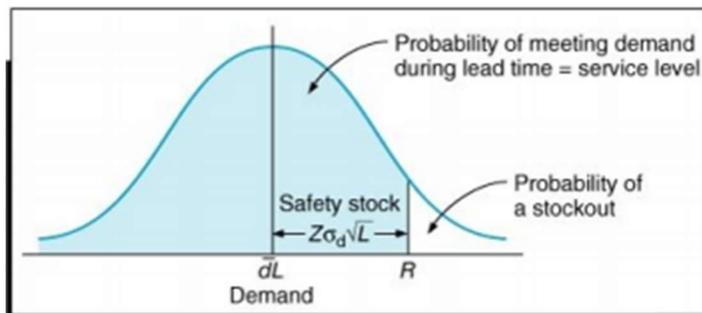
σ_d = standar deviasi dari rata – rata permintaan harian

$(Z \sigma_d \sqrt{L})$ = *safety stock*

varians = variasi harian x jumlah hari *lead time* = $\sigma_d^2 L$

standar deviasi = $\sqrt{\sigma_d^2 L} = \sigma_d \sqrt{L}$

Titik pemesanan ulang relatif terhadap tingkat layanan ditunjukkan pada Gambar 4.12. Tingkat layanan adalah area yang diarsir, atau probabilitas, di sebelah kiri titik pemesanan ulang, R .



Gambar 4.12 Titik Pemesanan Ulang pada Sebuah Tingkat Pelayanan

Jika kita perhatikan contoh sebelumnya dimana Toko Karpet I-75 menjual karpet Super. Permintaan pelanggan harian rata-rata untuk karpet yang ditebar oleh toko **berdistribusi normal**, dengan permintaan harian rata-rata 30 m dan standar deviasi karpet 5 m per hari. *Lead time* untuk menerima pesanan karpet baru adalah 10 hari. Toko menginginkan titik pemesanan ulang dan persediaan pengaman untuk tingkat layanan 95%, dengan probabilitas kehabisan persediaan sama dengan 5%:

$\bar{d} = 30$

$$L = 10$$

$$Z = 1,65 \text{ (distribusi normal untuk tingkat layanan 95\%)}$$

$$\sigma_d = 5\text{m}$$

$$R = \bar{d} L + (Z \sigma_d \sqrt{L})$$

$$R = 30 (10) + ((1,65) (5) (\sqrt{10})) = 326,1 \text{ m}$$

$$\text{Safety stock} = Z \sigma_d \sqrt{L}$$

$$= (1,65) (5) (\sqrt{10}) = 26,1 \text{ m}$$

C4. Kuantitas Pesanan untuk Sistem Persediaan Berkala

Sebelumnya bagian ini kita mendefinisikan sebuah sistem persediaan kontinu, atau kuantitas pesanan tetap, sebagai sistem di mana kuantitas pesanan konstan dan waktu antar pesanan bervariasi. Sejauh ini, jenis sistem persediaan ini telah menjadi fokus utama diskusi kami.

Sistem persediaan periodik, atau periode waktu tetap yang kurang umum adalah **salah satu di mana waktu antara pesanan konstan dan ukuran pesanan bervariasi.**

Apotik adalah salah satu contoh bisnis yang terkadang menggunakan periode tetap sistem persediaan. Toko obat menyediakan sejumlah produk kebersihan pribadi dan yang berhubungan dengan kesehatan, seperti sampo, pasta gigi, sabun, perban, obat batuk, dan aspirin. Biasanya vendor yang menyediakan barang tersebut ke toko akan melakukan kunjungan secara berkala misalnya setiap beberapa minggu atau setiap bulan dan menghitung persediaan di tangan (digudang) untuk produk mereka. Jika persediaan habis atau pada titik pemesanan ulang yang telah ditentukan, pesanan baru akan dilakukan untuk jumlah yang akan membawa tingkat persediaan kembali ke tingkat yang diinginkan. Manajer toko obat umumnya tidak akan memantau tingkat

persediaan tetapi sebaliknya mengandalkan vendor untuk melakukan inventarisasi pada saat kunjungan yang dijadwalkan.

Sebuah sistem persediaan periodik menggunakan ukuran pesanan variabel pada interval waktu yang tetap.

Keterbatasan sistem persediaan jenis ini adalah persediaan dapat habis lebih awal pada periode waktu antar kunjungan, sehingga mengakibatkan kehabisan persediaan yang tidak akan terjadi, diperbaiki sampai pesanan terjadwal berikutnya. Atau, dalam sistem kuantitas pesanan tetap, ketika persediaan mencapai titik pemesanan ulang, pesanan dibuat yang meminimalkan waktu di mana *stockout* mungkin ada. Sebagai akibat dari kelemahan ini, persediaan pengaman yang lebih besar biasanya diperlukan untuk sistem interval tetap.

Sistem persediaan periodik biasanya membutuhkan persediaan pengaman yang lebih besar.

Jumlah Pesanan dengan Permintaan Variabel

Jika tingkat permintaan dan waktu tunggu konstan, maka model periode tetap akan memiliki jumlah pesanan tetap yang akan dibuat pada interval waktu tertentu, yaitu sama dengan model kuantitas tetap (EOQ) dalam kondisi yang sama. Namun, seperti yang telah kami jelaskan, model periode tetap bereaksi secara signifikan berbeda dari model kuantitas pesanan tetap ketika permintaan adalah variabel.

Ukuran pesanan untuk model periode tetap, mengingat permintaan harian variabel yang terdistribusi normal, ditentukan oleh rumus berikut:

$$R = (\bar{d} (t_b + L)) + (Z \sigma_d \sqrt{(t_b + L)} - I)$$

Dimana:

\bar{d} = rata – rata permintaan harian

t_b = waktu tetap antara pesanan

L = *Lead time*

Z = jumlah standar deviasi yang sesuai dengan probabilitas tingkat layanan

I = *inventory in stock*

σ_d = standar deviasi dari rata – rata permintaan harian

$(Z \sigma_d \sqrt{(t_b + L)}) = \text{safety stock}$

Istilah pertama dalam rumus tersebut, $d(t_b + L)$, adalah permintaan rata-rata selama waktu siklus pemesanan ditambah waktu tunggu. Ini mencerminkan jumlah persediaan yang akan dibutuhkan untuk melindungi dari kekurangan selama seluruh waktu dari pesanan ini ke pesanan berikutnya dan waktu tunggu, sampai pesanan diterima. Istilah kedua, $Z \sigma_d \sqrt{(t_b + L)}$, adalah persediaan pengaman untuk tingkat layanan tertentu, ditentukan dengan cara yang hampir sama seperti yang dijelaskan sebelumnya untuk titik pemesanan ulang. Istilah terakhir, I , adalah **jumlah persediaan yang ada saat tingkat persediaan diperiksa dan pesanan dibuat.**

Kita akan mendemonstrasikan perhitungan Q dengan sebuah contoh berikut: Apotik menyediakan merek tabir surya yang populer. Permintaan rata-rata untuk tabir surya adalah 6 botol per hari, dengan standar deviasi 1,2 botol. Avendor untuk produsen tabir surya memeriksa stok toko obat setiap 60 hari, dan selama kunjungan tertentu toko obat memiliki stok 8 botol. *Lead time* untuk menerima pesanan adalah 5 hari. Ukuran pesanan untuk periode pemesanan ini yang memungkinkan apotek mempertahankan tingkat layanan 95% dihitung sebagai berikut:

\bar{d} = 6 botol / hari

σ_d = 1,2 botol

t_b = 60 hari

L = 5 hari

I = 8 botol

Z = 1,65 untuk tingkat layanan 95%

$$Q = (\bar{d} (t_b + L)) + (Z \sigma_d \sqrt{(t_b + L)} - I)$$

$$Q = (6 (60 + 5)) + ((1,65) (1,2) \sqrt{(60 + 5)} - 8)$$

$$Q = 398 \text{ botol}$$

D. *Highlight* Manajemen Persediaan

Pada bab ini kita membahas model kuantitas pesanan ekonomi klasik. Bentuk dasar dari model EOQ yang kita bahas termasuk penyederhanaan asumsi mengenai penerimaan pesanan, tidak ada kekurangan, dan permintaan konstan diketahui dengan pasti. Dengan melonggarkan beberapa asumsi ini, kami dapat membuat model yang semakin kompleks tetapi realistis. Variasi EOQ ini termasuk model reorder point, model penerimaan non-instan, model dengan kekurangan, dan model dengan stok pengaman. Teknik analisis persediaan yang disajikan dalam bab ini tidak banyak digunakan untuk menganalisis jenis lain dari masalah. Sebaliknya, bagaimanapun, banyak teknik yang disajikan dalam teks ini digunakan untuk analisis inventaris (selain metode yang disajikan dalam ini bab). Penggunaan luas teknik ilmu manajemen untuk analisis persediaan membuktikan pentingnya persediaan untuk semua jenis organisasi.

E. Studi Kasus

Sebuah toko elektronik menyediakan dan menjual komputer pribadi merek tertentu. Biaya toko Rp.450rb setiap kali memesan dengan produsen untuk komputer pribadi. Biaya tahunan untuk menyimpan PC didalam persediaan adalah Rp.170rb. Manajer toko memperkirakan permintaan tahunan untuk PC akan menjadi 1.200 unit.

- a) Tentukan jumlah pesanan optimal dan total biaya persediaan minimum.
- b) Asumsikan bahwa kekurangan diperbolehkan dan biaya kekurangan adalah Rp.600rb per unit per tahun. Hitung kuantitas pesanan optimal dan total minimum biaya persediaan.

Menentukan pesanan optimal:

$$D = 1.200 \text{ PC}$$

$$C_c = \text{Rp.}170\text{rb}$$

$$C_o = \text{Rp.}450\text{rb}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 C_o D}{C_c}} = \sqrt{\frac{2 (450) (1.200)}{170}} = 79,7 \text{ PC}$$

$$\text{Total Biaya} = C_c \frac{Q}{2} + C_o \frac{D}{Q} = 170 \frac{79,7}{2} + 450 \frac{1.200}{79,7} = \text{Rp.} 13.549,91\text{rb}$$

Menentukan pesanan optimal dengan *shortage*:

$$C_s = \text{Rp.}600\text{rb}$$

$$Q = \sqrt{\frac{2 C_o D}{C_c} \left(\frac{C_s + C_c}{C_s} \right)}$$

$$= \sqrt{\frac{2 (450) (1.200)}{170} \left(\frac{600 + 170}{600} \right)} = 90,3 \text{ PC}$$

$$S = Q \left(\frac{C_c}{C_s + C_c} \right)$$

$$= 90,3 \left(\frac{170}{600 + 170} \right) = 19,9 \text{ PC}$$

$$\text{TC} = C_s \frac{S^2}{2Q} + C_c \frac{(Q-S)^2}{2Q} + C_o \frac{D}{Q}$$

$$= 600 \frac{19,9^2}{2(90,3)} + 170 \frac{(90,3 - 19,9)^2}{290,3} + 450 \frac{1.200}{90,3} = \text{Rp.} 11.960,98\text{rb}$$

Kasus Manajemen Persediaan

- 1) Sebuah Perusahaan kimia menggunakan bahan kimia yang sangat beracun dalam salah satu proses manufakturnya. Itu harus memiliki produk yang dikirim dengan kargo truk khusus yang dirancang untuk pengiriman bahan kimia yang aman. Dengan demikian, biaya pemesanan (dan pengiriman) relatif tinggi, yaitu Rp.2.600rb per pesanan. Produk bahan kimia dikemas dalam wadah plastik 1 galon. Biaya penyimpanan bahan kimia di gudang adalah Rp50rb per galon per tahun. Permintaan tahunan untuk kimia, yang konstan dari waktu ke waktu, adalah 2.000 galon per tahun. *Lead time* dari saat penempatan pesanan sampai penerimaan adalah 10 hari. Perusahaan beroperasi 310 hari kerja per tahun. Hitung kuantitas pesanan optimal, total biaya persediaan minimum, dan titik pemesanan ulang.
- 2) Sebuah Supermarket yang menjual cereal. Permintaan cereal adalah 4.000 kotak per tahun (365 hari). Biaya pemesanan Rp.60rb per pesanan sereal dan biaya Rp0,80rb per kotak per tahun untuk menjaga persediaan sereal. Setelah pesanan untuk cereal dilakukan, dibutuhkan 4 hari untuk menerima memesan dari distributor makanan. Tentukan berikut ini:
 - a. Ukuran pesanan optimal optimal
 - b. Total biaya persediaan tahunan minimum
 - c. Titik pemesanan ulang
- 3) Permintaan harian cat pada sebuah supermarket berdistribusi normal, dengan rata-rata 26 galon dan standar penyimpangan 10 galon. *Lead time* untuk menerima pesanan cat dari distributor Sunlight adalah 9 hari. Karena ini adalah satu-satunya toko cat, pengelola hanya tertarik untuk mempertahankan tingkat layanan 75%. Titik pemesanan ulang apa yang harus digunakan untuk memenuhi tingkat layanan ini? Manajer kemudian mengetahui bahwa toko cat baru akan segera dibuka, yang

telah mendorongnya untuk meningkatkan tingkat layanan ke 95%. Titik pemesanan ulang apa yang akan mempertahankan tingkat layanan ini?

- 4) Komputer PM merakit komputer pribadi dari komponen generik. Ia membeli monitor berwarna dari produsen di Taiwan; jadi, disana adalah *lead time* yang panjang dan tidak pasti untuk menerima pesanan. *Lead time* terdistribusi normal, dengan rata-rata 25 hari dan standar deviasi 10 hari. Permintaan harian juga terdistribusi normal, dengan rata-rata 2,5 monitor dan standar deviasi 1,2 monitor. Tentukan persediaan pengaman dan titik pemesanan ulang sesuai dengan tingkat layanan 90%.

Komputer PM sedang mempertimbangkan untuk membeli monitor dari pabrikan Amerika yang akan menjamin waktu tunggu 8 hari, bukannya perusahaan Taiwan. Tentukan titik pemesanan ulang baru, dengan waktu tunggu ini, dan identifikasi faktor-faktor yang akan masuk ke dalam keputusan untuk mengubah produsen?

BAB 5

ANALISIS MARJINAL

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami definisi konsep marginal didalam manajemen sains.
- b. Memahami penerapan konsep marginal dalam biaya dan pendapatan.
- c. Memahami perbendaan analisis marginal dengan *incremental analysis*.
- d. Memahami berbagai aplikasi dari analisis marginal.

A. Konsep “Marjinal”

Kata "marjinal" dapat memiliki beberapa arti. Dalam bahasa umum, kata tersebut biasanya berarti "hampir tidak dapat diterima". Di bidang ekonomi, "marjinal" berkaitan dengan perubahan yang sangat kecil yang terjadi dalam marjin / batasan, dalam arti yang sedikit berbeda.²²

Misalnya, petani padi menggunakan 100 kg pupuk/hektar lahan yang kemudian menghasilkan 2000 kg padi/hektar. Jika seorang petani meningkatkan jumlah pupuk /hektar dengan jumlah yang sangat kecil (misalnya 0,5 kg), hasil akan meningkat sebesar 4 kg/hektar. Peningkatan produksi ini disebut **produksi marjinal**, dimana perubahan produksi dengan sedikit perubahan dalam penggunaan pupuk dibandingkan dengan tingkat saat ini. Biasanya dinyatakan dalam unit variasi faktor yang mengubah output. Dalam contoh ini, produk marjinal padi adalah 8 kg untuk 1 kg pupuk yang

²² Ackoff, Russell L., dan Sasieni, Maurice W. (1968). *Fundamentals of Operations Research*. New York: John Wiley & Sons.

diterapkan di atas tingkat 100 kg/hektar saat ini. Dilihat dari sudut ini, **produk marjinal** adalah tingkat perubahan produksi pada tingkat penggunaan pupuk 100 kg/hektar. Namun, tarif hanya dapat diterapkan untuk peningkatan kecil dalam penggunaan pupuk lebih besar dari 100 kg. Jika jumlah pupuk dinaikkan 0,5 kg, padi hanya akan bertambah 3,9 kg. Hasil marjinal turun menjadi 7,8 kg ketika 100,5 kg pupuk digunakan.

Contoh diatas adalah dua hal penting yang perlu diingat ketika menggunakan konsep 'produk marjinal'. Pertama, menyangkut **tingkat perubahan** dan biasanya dinyatakan sebagai perubahan dalam unit input tertentu. Kedua, **laju perubahan** input itu pada tingkat tertentu yang hanya dapat berlaku untuk perubahan yang sangat kecil pada input tersebut.

"*Incremental*" berkaitan dengan perubahan nilai aktual dalam output selama peningkatan spesifik input di atas level saat ini. Pada contoh di atas, peningkatan jumlah pupuk yang digunakan dari 100 kg menjadi 110 kg/hektar akan meningkatkan produksi padi dari 2000 kg menjadi 2050 kg. Oleh karena itu, produksi ditingkatkan secara bertahap untuk meningkatkan jumlah pupuk yang digunakan dari 100 kg menjadi 110 kg atau 50 kg.

Pada contoh kasus diatas, input dan output adalah variabel kontinu yang dapat mengambil bilangan nyata, integer, atau desimal. Jika *entri* hanya dapat mengambil seluruh nilai, seperti jumlah kasir yang dipekerjakan oleh bank dalam periode tertentu atau jumlah mobil yang dipegang oleh perusahaan persewaan mobil, maka batas keluarnya sama dengan variasi "*Incremental*" dari output. Unit masukan tambahan. Namun, jika input adalah variabel kontinu, output batas dan output kumulatif untuk kesatuan input seringkali berbeda.

B. Konsep “Marjinal” dengan Biaya

Biaya marjinal dapat diidentikkan mengukur tingkat perubahan biaya total pada tingkat aktivitas tertentu. Untuk sebuah aktivitas dengan mengasumsikan hanya menggunakan nilai integer, biaya marjinal $MC(Q)$ pada suatu tingkatan output Q dapat diidentikkan sebagai biaya *incremental*.²³ Selisih biaya total untuk kenaikan per unit pada setiap tingkat aktivitas seperti $Q-1$ ke Q : dinotasikan dengan rumus sbb:

$$MC(Q) = T(Q) - T(Q - 1) \quad \dots\dots\dots 6.1$$

Jika unit menggunakan batch, maka biaya marjinal pada unit kedua (batch kedua); dinotasikan dengan rumus sbb:

$$MC(Q = 2) = T(Q = 2) - T(Q = 1) \quad \dots\dots\dots 6.2$$

Pada sebuah kurva biaya yang biasanya berbentuk - S dan merupakan salah satu ciri khas dari operasi produksi. Ketika tingkat aktivitas meningkat, pertama-tama biaya marjinal menurun (kemiringan kurva biaya total menjadi kurang curam), kemudian menjadi konstan (kemiringan konstan), dan akhirnya mulai meningkat kembali (kemiringan menjadi lebih curam). Tiga tahap tersebut dikenal sebagai skala hasil yang meningkat, skala hasil yang konstan, dan skala hasil yang menurun.. Dalam dunia nyata, sebagian besar **perusahaan lebih suka beroperasi** dalam kisaran skala hasil yang meningkat atau skala hasil yang konstan.

Dalam jangka pendek, hanya sejumlah input terbatas yang dapat ditingkatkan dan yang lainnya harus tetap sama, tetapi dalam praktiknya semua produksi dan semua layanan pada akhirnya dibatasi karena berbagai alasan. Menunjukkan peningkatan biaya. Pabrik lebih sibuk, dengan lebih

²³ Fabrycky, W. J., dan Torgersen, P. E. (1966). *Operations Economy: Industrial Applications of Operations Research*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

banyak penundaan dan kesalahan. Peningkatan biaya marjinal juga dapat dilihat dalam pemasaran.

Seiring dengan meningkatnya anggaran seperti periklanan, peningkatan penjualan baru cepat atau lambat akan menurun. Ini semua adalah contoh dari hukum universal yang mendekati hasil marjinal yang semakin berkurang. Dengan kata lain, ketika input oleh faktor variabel meningkat, semua input lainnya tetap dalam jangka pendek dan, sebagai akibatnya, total input yang meningkat berkurang satu poin.

Hasil yang sama mungkin tidak benar dalam jangka panjang. Setidaknya secara teori Anda bisa menduplikasi bisnis yang sudah ada dan melakukan segalanya dengan tingkat kinerja terbaik. Demikian juga, umumnya benar bahwa dengan memperkenalkan peralatan yang lebih kompleks secara inheren, bahkan dapat mengadopsi proses manufaktur yang memiliki biaya tetap dan variabel lebih rendah daripada proses perampingan. Hal ini dapat memungkinkan perusahaan untuk mencapai tingkat kinerja yang sama atau lebih tinggi dengan biaya marjinal yang lebih rendah. Namun, seiring pertumbuhan ukuran perusahaan, perangkat yang lebih canggih pada akhirnya akan mengikuti hukum margin yang semakin berkurang.²⁴

Dalam jangka panjang, perkembangan teknologi baru juga dapat mengurangi biaya marjinal untuk sebagian besar volume produksi.

B.1 Biaya Rata-Rata

Biaya rata-rata $AC(Q)$ pada tingkat aktivitas Q didefinisikan sebagai rasio total biaya terhadap keluaran: $TC(Q)/Q$. Pada kurva, hal ini

²⁴ Wagner, Harvey M. (1975). *Principles of Management Science*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

sesuai dengan kemiringan garis lurus dari titik asal ke titik tertentu pada kurva $T(Q)$.

B.2 Hubungan antara Biaya Marjinal dengan Biaya Rata-Rata

Kita dapat menyimpulkan beberapa prinsip umum:

Pertama, selama biaya marjinal untuk unit output lain lebih kecil dari biaya rata-rata hingga sebelumnya tingkat output, biaya rata-rata terus menurun seiring dengan peningkatan output. ini di bagian karena fakta bahwa biaya setup tetap awal dapat tersebar di volume yang lebih besar.

Kedua, segera setelah biaya marjinal menjadi lebih besar dari biaya rata-rata yang terakhir mulai meningkat.

Ketiga, sebagai konsekuensinya, biaya rata-rata terendah dicapai hanya sebelum tingkat output di mana biaya marjinal menjadi lebih besar dari rata-rata biaya, atau untuk tingkat output Q^* di mana kondisi berikut berlaku:

$$MC(Q^*) < MC(Q^* + 1) \dots\dots\dots 6.3$$

Pada tingkat aktivitas tahunan yang meningkat, biaya marjinal pertama cenderung menurun, kemudian menjadi konstan selama rentang operasi normal untuk aktivitas itu, dan akhirnya mulai meningkat di luar rentang itu. Biaya rata-rata kemudian akan menjadi terendah pada tingkat aktivitas di mana biaya marjinal hanya kurang dari atau menjadi sama dengan biaya rata-rata.

Ingat: Biaya rata-rata dipengaruhi oleh biaya tetap. Hal tersebut dikarenakan untuk tingkat keluaran atau aktivitas positif, biaya marjinal tidak terpengaruh oleh biaya tetap.

Analisis: Dari pengalaman Anda sendiri, apakah konsep peningkatan dan penurunan skala hasil juga berlaku untuk aktivitas nonkomersial, contohnya. belajar, olahraga?

B.3 Pendapatan Total dan Pendapatan Marjinal

Laju perubahan pendapatan total pada tingkat aktivitas Q disebut pendapatan marjinal, dilambangkan dengan $MR(Q)$. Untuk variabel diskrit, pendapatan marjinal untuk batch Q pesanan sama dengan perbedaan antara total pendapatan untuk urutan ukuran Q dan $Q - 1$, yaitu $TR(Q) - TR(Q - 1)$.

Konsep-konsep ini sekali lagi dapat diperluas ke perilaku pendapatan untuk suatu produk diproduksi secara berkelanjutan selama periode waktu tertentu, contohnya untuk periode satu tahun. Selanjutnya, dalam banyak kasus, harga satuan yang dibebankan perusahaan adalah konstan, terlepas dari outputnya tingkat. Hal ini terutama berlaku untuk produk tipe standar, seperti kebanyakan makanan pokok, tapi juga banyak barang-barang manufaktur. Produk semacam itu biasanya dijual oleh beberapa perusahaan di persaingan satu sama lain. Setiap perusahaan yang diambil sendiri mungkin terlalu kecil untuk mempengaruhi pasar dengan cara yang signifikan. Total pendapatan selama satu tahun kemudian sama saja dengan kuantitas yang terjual Q selama tahun dikalikan harga satuan P , atau $TR(Q) = PQ$. Pendapatan marjinal konstan di P .

Di sisi lain, jika satu perusahaan mendominasi pasar untuk produk tertentu, mungkin harus mengurangi harga satuan yang dibebankan untuk seluruh outputnya, dan bukan hanya untuk output tambahan, jika ingin menjual lebih banyak dalam jangka waktu tertentu. Di dalam kasus pendapatan marjinal untuk menjual unit tambahan diberikan oleh

perbedaan antara pendapatan tambahan yang diperoleh dari unit tersebut dan kerugian pendapatan menderita pada output sebelumnya karena penurunan harga. Oleh karena itu **pendapatan marginal cenderung menurun lebih dari sekadar penurunan harga dikarenakan tingkat output meningkat.**

C. Analisis “Titik Impas”

Pada, Q_0 , di mana total pendapatan merupakan semua biaya tetap dan variabel disebut titik impas. Pada titik impas, total keuntungan adalah nol. Perusahaan ingin beroperasi pada tingkat aktivitas di luar titik impas. Jika tingkat aktivitas adalah variabel kontinu, maka terdapat titik impas yang tepat.
25

Jika biaya total dan pendapatan total keduanya merupakan fungsi linier dari tingkat aktivitas, titik impas dapat dengan mudah ditentukan secara matematis. Untuk fungsi linier, total biaya diberikan oleh rumus:²⁶

$$TC(Q) = F + VQ \quad \dots\dots\dots 6.4$$

dimana F adalah biaya tetap, yang independen dari setiap tingkat aktivitas, dan V adalah unit biaya produksi variabel. Fungsi pendapatan total diberikan oleh rumus:

$$TR(Q) = PQ \quad \dots\dots\dots 6.5$$

Pada titik impas, total biaya sama dengan total pendapatan, dinotasikan:

$$PQ = F + VQ \quad \dots\dots\dots 6.6$$

²⁵ Beer, Stafford. (1967). *Management Sciences: The Business Use of Operations Research*. New York: Doubleday.

²⁶ Churchman, C. W., Ackoff, R. L., dan Arnoff, E. L. (1957). *Introduction to Operations Research*. New York: John Wiley & Sons.

Maka:

$$\text{Titik impas pada } Q = Q_0 = \frac{F}{P-V} \dots\dots\dots 6.7$$

Derivasi ini mengasumsikan bahwa pada tingkat aktivitas Q dapat divariasikan secara terus menerus. Jika output dalam unit diskrit, maka mungkin tidak ada nilai Q yang total pendapatannya sama persis dengan biaya total. Dalam kasus tersebut, titik impas Q_0 adalah nilai pertama yang hanya lebih besar dari rasio $F/(P - V)$.

Jelas, rumus 6.7 hanya masuk akal jika pendapatan unit melebihi biaya variabel unit, yaitu $P > V$, jika tidak, produk tersebut tidak boleh diproduksi sama sekali. Ada cara lain untuk melihat analisis impas. Penyebut dari rumus 6.7 ($P - V$), adalah selisih antara pendapatan per unit dan biaya variabel per unit. Perbedaan ini adalah kontribusi setiap unit (dijual) untuk menutupi biaya tetap dan keuntungan. Semakin besar kontribusi yang dibuat setiap unit terhadap pemulihan biaya tetap, semakin rendah titik impasnya.

Ingat: Analisis titik impas mengasumsikan bahwa semua biaya yang terlibat dan pendapatan adalah **stasioner**, yaitu tetap konstan dari waktu ke waktu. Jika mereka berubah selama periode yang dicakup oleh analisis titik impas, maka rumus 6.7 tidak relevan lagi.

Secara sederhana analisis titik impas memiliki tiga komponen analisis yaitu volume, biaya, dan laba.²⁷

- a. Volume yang dimaksud dalam analisis titik impas adalah tingkat penjualan atau produksi yang dilakukan oleh sebuah perusahaan, dapat

²⁷ Taylor, Bernard W. *Introduction to Management Science*. Virginia Polytechnic Institute and State University: Prentice Hall.

dinyatakan sebagai jumlah unit (contohnya: kuantitas) yang diproduksi dan dijual, atau sebagai persentase dari total kapasitas yang tersedia.

b. Komponen berikutnya adalah biaya, terdapat dua jenis biaya biasanya dikeluarkan dalam produksi suatu produk yaitu **biaya tetap** dan **biaya variabel**.²⁸

- i. **Biaya tetap** umumnya tidak tergantung pada volume unit yang diproduksi dan dijual. Hal tersebut bermakna, biaya tetap tetap konstan, terlepas dari berapa banyak unit produk yang diproduksi dalam kisaran tertentu. Biaya tetap bisa termasuk barang-barang seperti sewa pabrik dan peralatan, pajak, gaji staf dan manajemen, asuransi, periklanan, penyusutan, pemeliharaan pabrik, dan sebagainya. Secara bersama-sama, item-item ini menghasilkan total biaya tetap. **Biaya tetap tidak tergantung pada volume dan tetap konstan.**
- ii. **Biaya variabel** ditentukan berdasarkan per unit didalam produksi. Dengan demikian, total biaya variabel tergantung pada jumlah unit yang diproduksi. Biaya variabel termasuk barang-barang seperti: bahan baku dan sumber daya, tenaga kerja langsung, pengemasan, penanganan bahan, dan pengiriman. **Biaya variabel tergantung pada jumlah barang yang diproduksi.**
- iii. Hubungan antara biaya dengan volume adalah sebagai berikut: seperti digambarkan pada 6.4 dimana biaya total (TC) sama dengan **biaya tetap** ditambah **biaya variabel** per unit dikalikan dengan **volume**.

²⁸ Hillier, F. S., dan Lieberman, G. J. (1987). *Operations Research, 4th ed.* San Francisco: Holden-Day.

- c. Komponen ketiga adalah laba / keuntungan / profit yang merupakan selisih antara total pendapatan (volume dikalikan dengan harga) dan total biaya. Total pendapatan yang dimaksud adalah volume produksi dikalikan dengan harga jual produk per satuan.

Contoh Kasus:

Perusahaan PT. XYZ memproduksi baju. Berikut ini adalah data biaya bulanan untuk memproduksi baju.

Biaya tetap: Rp. 10.000.000,-

Biaya variabel: Rp. 10.000,-/pakaian.

Jika kita membiarkan volume penjualan bulanan sama dengan 400 baju, total biayanya adalah (TC)

$$\begin{aligned} \text{TC} &= F + VQ \\ &= \text{Rp. } 10.000.000 + (400 \times \text{Rp. } 10.000,-/\text{pakaian}) = \text{Rp. } 14.000.000,- \end{aligned}$$

Untuk mengetahui laba diperlukan total pendapatan. Total pendapatan adalah volume dikalikan dengan harga per satuan. Untuk contoh perusahaan pakaian, jika baju dijual seharga Rp.30.000,-per potong dan kita berusaha menjual 400 potong perbulan, maka total pendapatan bulanan adalah

$$\begin{aligned} \text{total pendapatan} &= \text{volume} \times \text{p (harga per unit)} \\ &= 400 \times \text{Rp. } 30.000,-\text{per potong} = \text{Rp.}12.000.000,- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka total profit} &= \text{total pendapatan} - \text{total biaya} \\ &= \text{Rp.}12.000.000 - \text{Rp. } 14.000.000 = - \text{Rp. } 2.000.000,- \end{aligned}$$

Dari hasil diketahui untuk penjualan 400 potong baju, perusahaan mengalami kerugian Rp. 2.000.000,- per bulannya. Sangat jelas bahwa, perusahaan pakaian tidak ingin beroperasi dengan kerugian bulanan sebesar Rp. 2.000.000,- /bulannya, karena hal itu pada akhirnya dapat mengakibatkan kebangkrutan. Jika kita berasumsi bahwa **harga statis** karena kondisi pasar

dan bahwa biaya tetap dan biaya variabel per unit **tidak dapat berubah**, maka satu-satunya bagian dari model yang dapat divariasikan adalah **volume**. Menggunakan istilah pemodelan yang kita kembangkan sebelumnya dalam bab ini, harga, biaya tetap, dan biaya variabel adalah parameter, sedangkan volume “v” adalah variabel keputusan. Dalam analisis impas kita ingin menghitung nilai v yang akan menghasilkan laba = nol.

Pada titik impas, di mana pendapatan total sama dengan biaya total, laba “Z” sama dengan nol. Jadi, jika kita membiarkan laba “Z” sama dengan nol dalam persamaan laba total kita dan memecahkan v, kita dapat menentukan volume impas sesuai rumus 6.7.

$$Z = TP - TC = v(\text{Rp.30.000,-}) - (\text{Rp. 10.000.000} + (v \times \text{Rp. 10.000,-}))$$

$$0 = v(\text{Rp.30.000,-}) - \text{Rp. 10.000.000} - v(\text{Rp. 10.000,-})$$

$$\text{Rp.10.000.000} = v(\text{Rp.20.000,-})$$

$$v = 500 \text{ potong}$$

Dengan kata lain, jika perusahaan memproduksi dan menjual 500 potong baju, maka keuntungan (dan kerugian) akan menjadi nol dan perusahaan akan mencapai titik impas. Ini memberikan perusahaan titik acuan untuk menentukan berapa banyak pakaian yang perlu diproduksi dan dijual untuk mendapatkan keuntungan (tergantung pada kapasitas apa pun). Misalnya, volume penjualan 800 potong pakaian akan menghasilkan keuntungan bulanan sebagai berikut:

$$\text{total pendapatan} = 800 \times \text{Rp. 30.000,-per potong} = \text{Rp.24.000.000,-}$$

$$\text{Maka total profit} = \text{total pendapatan} - \text{total biaya}$$

$$= \text{Rp.24.000.000} - \text{Rp. 14.000.000} = \text{Rp. 10.000.000,-}$$

Analisis Sensitifitas pada Titik Impas

Kita telah mengetahui hubungan umum untuk menentukan volume impas, yang merupakan tujuan dari proses pemodelan sebelumnya kita bahas. Hubungan tersebut memungkinkan kita untuk melihat bagaimana tingkat keuntungan (dan kerugian) secara langsung dipengaruhi oleh perubahan volume penjualan.

Ketika kita melakukan pengembangan model, kita berasumsi bahwa parameter, biaya tetap dan variabel dan harga, adalah konstan. Pada kenyataannya parameter tersebut sering tidak pasti dan jarang dapat diasumsikan konstan, dan perubahan pada salah satu parameter dapat mempengaruhi solusi model. Studi tentang perubahan pada model ilmu manajemen disebut **analisis sensitivitas** yang bertujuan untuk melihat seberapa sensitif model tersebut terhadap perubahan.²⁹

Analisis sensitivitas dapat dilakukan pada semua model ilmu manajemen dalam satu atau lain bentuk. Bahkan, terkadang perusahaan mengembangkan model untuk yang utama tujuan eksperimen untuk melihat bagaimana model akan bereaksi terhadap berbagai perubahan yang dipikirkan perusahaan atau yang mungkin diharapkan manajemen terjadi dimasa depan. Sebagai demonstrasi bagaimana analisis sensitivitas bekerja, kita akan melihat efek dari beberapa perubahan pada model impas yang sudah didefinisikan sebelumnya.

Pertama yang akan kita analisis adalah harga. Sebagai contoh, kami akan menaikkan harga baju dari Rp.30.000,- menjadi Rp.40.000,-. Seperti yang diharapkan, ini meningkatkan total pendapatan, dan karena itu

²⁹ Taha, Hamdy A. (1987) *Operations Research, An Introduction, 4th ed.* New York: Macmillan.

mengurangi titik impas dari 500 potong baju menjadi 333,33 potong baju. Secara umum, **kenaikan harga menurunkan titik impas**, semua hal lain tetap konstan.

Meskipun keputusan untuk menaikkan harga terlihat menarik dari sudut pandang analitis yang ketat, harus diingat bahwa volume titik impas yang lebih rendah dan volume titik impas yang lebih tinggi keuntungan yang diharapkan tidak dapat dijamin. Harga yang lebih tinggi dapat mempersulit penjualan produk. Dengan demikian, perubahan harga seringkali harus disertai dengan peningkatan biaya yang sesuai, seperti biaya untuk iklan, pengemasan, dan kemungkinan produksi (untuk meningkatkan kualitas). Namun, perubahan langsung seperti itu mungkin memiliki pengaruh yang kecil terhadap permintaan produk karena harga seringkali sensitif terhadap banyak faktor, seperti jenis pasar, elemen monopoli, dan diferensiasi produk.

Ketika kita menaikkan harga, kita menyebutkan kemungkinan peningkatan kualitas produk untuk mengimbangi potensi kerugian penjualan akibat kenaikan harga. Untuk misalkan jahitan pada baju diubah agar baju lebih menarik dan kuat. Perubahan ini menghasilkan peningkatan variabel biaya Rp.5.000,- per potong baju, sehingga meningkatkan biaya variabel per unit menjadi Rp.15.000,- per baju. Perubahan ini (bersamaan dengan perubahan harga kami sebelumnya menjadi Rp.40.000), menghasilkan volume impas baru yaitu sebanyak 400 potong baju.

$$Q_0 = \frac{Rp. 10.000.000, -}{Rp. 40.000 - Rp. 15.000} = 400 \text{ potong baju}$$

Selanjutnya mari kita pertimbangkan peningkatan pengeluaran iklan untuk mengimbangi potensi kerugian penjualan akibat kenaikan harga. Peningkatan iklan pengeluaran merupakan tambahan dari biaya tetap. Misalnya, jika perusahaan pakaian meningkatkan anggaran iklan bulannya,

maka total biaya tetap Rp.13.200.000. Dengan menggunakan biaya tetap ini, serta peningkatan biaya variabel per unit menjadi sebesar Rp.15.000,- dan kenaikan harga menjadi sebesar Rp.40.000, kita menghitung titik impas baru yaitu sebanyak 520 potong baju.

$$Q_0 = \frac{Rp. 13.000.000, -}{Rp. 40.000 - Rp. 15.000} = 520 \text{ potong baju}$$

Volume impas baru ini, yang mewakili perubahan harga, biaya tetap, dan biaya variabel. Perhatikan bahwa volume titik impas adalah sekarang lebih tinggi dari volume asli 520 potong baju, sebagai akibat dari peningkatan biaya yang diperlukan untuk mengimbangi potensi kerugian dalam penjualan. Ini menunjukkan perlunya menganalisis pengaruh perubahan salah satu komponen titik impas terhadap keseluruhan model titik impas. Dengan kata lain, umumnya **tidak cukup untuk mempertimbangkan perubahan dalam satu komponen model** tanpa mempertimbangkan efek keseluruhan.

D. Prinsip Dasar Analisis Marjinal

Dalam kerangka analisis marjinal, keputusan untuk tingkat terbaik dari suatu kegiatan didasarkan pada perbandingan perubahan pendapatan dan biaya yang dihasilkan dari perubahan tingkat aktivitas. Perubahan aktivitas seperti itu diinginkan jika perbedaannya antara total pendapatan dengan total biaya, atau dengan kata lain menginginkan total laba meningkat. Pengambil keputusan harus terus membuat perubahan kecil dalam tingkat aktivitas sampai tidak ada lagi peningkatan laba yang dapat dicapai. Pada saat itu, kita dapat memaksimalkan keuntungan.

Kita akan melakukan pendekatan praktis — yaitu membentuk algoritma untuk menemukan tingkat aktivitas yang optimal (optimasi). Dimulai dengan tingkat aktivitas Q yang relatif kecil. Titik impas memberikan

awal yang baik. Selanjutnya, kami meningkatkan tingkat aktivitas dengan jumlah kecil, katakanlah satu unit. Jadi tingkat aktivitas meningkat menjadi $Q + 1$. Ini menghasilkan peningkatan pendapatan, sekaligus meningkatkan biaya. Kenaikan pendapatan sama dengan pendapatan marginal pada tingkat $Q + 1$, yaitu $MR(Q + 1)$. Kenaikan biaya sama dengan biaya marginal pada tingkat itu, yaitu $MC(Q + 1)$. Jika $MR(Q + 1)$ lebih besar dari $MC(Q + 1)$, maka kenaikan tingkat aktivitas dari Q ke $Q+1$ meningkatkan total keuntungan. Jika peningkatan tingkat aktivitas ini sebesar 1 selama marginal pendapatan lebih besar dari biaya marginal. Keuntungan optimum diketahui jika untuk peningkatan unit lebih lanjut dalam tingkat aktivitas, biaya marginal akan menjadi: lebih besar dari pendapatan marginal, karena ini akan menyebabkan total laba menurun, atau dinotifikasikan sebagai:

$$MR(Q^*) > MC(Q^*) \text{ dan } MR(Q^* + 1) < MC(Q^* + 1) \dots\dots\dots 6.8$$

Maka kita dapat mengatakan analisis marginal upaya analitis untuk menemukan nilai optimal dari tujuan yang ditetapkan dan jika tujuan tersebut memiliki batasan yang dapat membuat keputusan yang paling tepat dari berbagai alternatif situasi yang mengelilingi. Bahkan analisis marginal dapat mencakup penyesuaian terhadap nilai kegiatan yang dilakukan. Hal ini memungkinkan pemegang keputusan untuk melakukan perubahan yang dilakukan tidak memberikan nilai yang optimal.

Analisis marginal melibatkan memperhitungkan keuntungan marginal atau laba marginal (keuntungan marginal, sering disebut pendapatan marginal), daripada memperhitungkan biaya penyusutan (biaya yang sudah dikeluarkan dan tidak dapat diperbaiki). Prinsip dasar analisis marginal adalah meningkatkan aset ketika laba atau pendapatan marginal melebihi biaya

marjinal, dan meningkatkan aset ketika biaya marjinal melebihi biaya marjinal.

E. Penggunaan Analisis Marjinal

E.1 Optimum EOQ

Salah satu penggunaan analisis marjinal adalah dengan menemukan kuantitas pesanan ekonomis (EOQ) yang optimal.

Model EOQ biasanya terdiri dari biaya relevan (biaya tahunan setup SD/Q dan biaya penyimpanan inventaris tahunan senilai $0.5Qvr$), dimana Q adalah ukuran pengisian ulang, s biaya setup tetap per setup ulang, D permintaan tahunan, r biaya penyimpanan per dolar per tahun, dan v unit produk nilai dalam stok. Dengan melakukan diferensial rumus akar kuadrat untuk EOQ, kita dapat menemukan EOQ menggunakan pendekatan analisis marjinal.

Perhatikan: Ketika Q meningkat setidaknya 1 unit, persediaan rata-rata menjadi meningkat, menyebabkan biaya penyimpanan tambahan. Tetapi pada saat yang sama jumlah pengisian menurun, sehingga menghemat beberapa biaya setup. Jadi perubahan biaya penyimpanan menjadi 'biaya marjinal' dan penghematan biaya penyiapan berperan sebagai 'pendapatan marjinal'. Ide analisis marjinal adalah untuk terus meningkatkan Q dengan jumlah kecil selama karena biaya marjinal lebih kecil dari penghematan marjinal yang diperoleh. Pada saat kondisi berbalik, maka kita berhenti, sehingga didapatkan nilai Q dimana hal ini terjadi adalah EOQ optimum.³⁰

³⁰ Teichrow, P. (1964). *An Introduction to Management Science*. New York: John Wiley & Sons.

E.2 Analisis Marjinal pada Variabel Kontinu

Pada aktivitas variabel kontinu, seperti jumlah tepung yang dihasilkan oleh pabrik tepung, atau output listrik dari pembangkit listrik, biaya marjinal adalah tingkat perubahan fungsi biaya total dan pendapatan marjinal adalah tingkat perubahan dari total pendapatan berfungsi pada tingkat output tertentu. Dalam istilah grafis, mereka mewakili kemiringan kurva biaya total atau total pendapatan.

Berikut ini adalah perkiraan untuk tingkat perubahan total yang sebenarnya biaya ketika perubahan unit dalam aktivitas relatif kecil dibandingkan dengan aktivitas normal rentang aktivitas. Namun, ketika sebuah peningkatan satu unit relatif besar dalam kaitannya dengan rentang aktivitas normal dapat menjadi perkiraan yang buruk dari biaya marjinal yang sebenarnya. Dalam kasus tersebut pendekatan yang lebih baik untuk tingkat perubahan yang sebenarnya diperoleh dengan mengambil perbedaan antara $T(Q)$ dan $T(Q - \delta)$, dimana δ dipilih secara acak / random, tetapi memiliki nilai cukup kecil, seperti 0,1 atau 0,01, dan kemudian mengekstrapolasi perbedaan ini ke peningkatan unit. Berikut rumusnya:

$$MC(Q) = \frac{T(Q) - T(Q - \delta)}{\delta} \dots\dots\dots 6.9$$

Pada rumus 6.3 dimana menentukan pada tingkat aktivitas apa biaya rata-rata terendah terjadi, juga mengalami perubahan. Karena perubahan tingkat aktivitas dapat dibuat sangat kecil, biaya rata-rata terendah terjadi pada tingkat output Q^* di mana biaya marjinal dan biaya rata-rata sama, yaitu pada kondisi $MC(Q^*) = AC(Q^*)$, maka untuk tingkat optimal Q^* didapat dari persamaan $MR(Q^*) = MC(Q^*)$.

F. *Highlight Analisis Marjinal*

- a. Biaya marjinal adalah tingkat kenaikan biaya total sebagai tingkat aktivitas meningkat. Pada awalnya menunjukkan hasil yang meningkat kemudian pengembalian konstan, dan akhirnya skala keuntungan menurun, sebagai level aktivitas meningkat.
- b. Biaya rata-rata terendah untuk tingkat aktivitas di mana (meningkat) marjinal biaya menjadi lebih besar dari biaya rata-rata.
- c. Pendapatan marjinal (atau manfaat marjinal) adalah tingkat perubahan pendapatan total (atau manfaat).
- d. Analisis marjinal dan inkremental adalah alat yang berguna untuk menyelesaikan banyak hal secara relative atau masalah sederhana. 'Sederhana' berarti mereka hanya memiliki satu keputusan variabel atau tingkat aktivitas dan baik biaya dan manfaat atau dua aspek biaya yang bervariasi dalam arah yang berlawanan dengan meningkatnya tingkat aktivitas.
- e. Prinsip analisis marjinal atau inkremental adalah meningkatkan tingkat aktivitas dalam jumlah kecil atau bertahap sampai memperoleh manfaat (atau penghematan satu biaya) menjadi lebih kecil daripada kenaikan biaya.
- f. Analisis titik impas adalah alat bisnis yang umum digunakan. Ini menentukan output atau tingkat aktivitas di mana total pendapatan (atau manfaat) menjadi sama atau hanya lebih besar dari total biaya (termasuk biaya tetap yang terkait langsung dengan aktivitas). Keuntungan pada titik impas adalah dapat berupa nol (atau baru saja menjadi positif).

G. Studi Kasus

Produsen barang membuat produk yang dijual seharga Rp 8,4 juta. Bahan baku yang dibutuhkan dalam produksi terdiri dari Rp 1,2jt untuk logam dan plastik dan bahan lain seharga Rp 0,7 juta. Salah satu produk membutuhkan 5 kali bahan lain dengan lama pengerjaan 5 jam. Biaya operasional tetap tahunan mesin dan overhead yang terkait langsung dengan produksi berjumlah Rp.80 juta. Pekerja Rp. 8 juta per minggu dengan minimal jam kerja 40 jam.

- (a) Dengan asumsi bahwa operator melakukan tugas lain saat tidak mengerjakan mesin ini, menentukan titik impas dalam hal jumlah transformator yang akan diproduksi per tahun.
- (b) Jika operator mesin tetap menganggur saat tidak mengoperasikan mesin, berapakah? titik impas kemudian?

BAB 6

KETIDAKPASTIAN

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami konsep ketidakpastian dalam manajemen sains.
- b. Mengetahui dan memahami bagaimana manajemen sains melakukan pendekatan terhadap ketidakpastian.
- c. Mengetahui dan memahami konsep aplikasi ketidakpastian.

A. Konsep Ketidakpastian

Pendekatan pengambilan keputusan dalam sistem yang dibahas sejauh ini secara implisit diasumsikan bahwa jika kita mengambil tindakan tertentu, kita dapat memprediksi efek yang dihasilkan pada sistem dengan kepastian (mutlak). Dalam banyak masalah, pengetahuan kita tentang situasi sebenarnya mungkin cukup baik untuk memenuhi asumsi ini, setidaknya dalam arti praktis, jika tidak secara teori. Situasi semacam ini disebut **deterministik**.

Kemudian terdapat situasi yang unik, dimana situasi tersebut tidak akan mengulangi diri mereka sendiri dengan cara yang sama, atau bahkan jika mereka melakukannya, kita mungkin tidak mengalaminya tentang mereka atau tidak ada cara untuk membuat perbandingan. Kita mungkin dapat membuat daftar beberapa atau sebagian besar dari kemungkinan hasil, tapi bagaimana kita bisa menilai kemungkinan masing-masing? Situasi di mana kita tidak dapat memprediksi hasil tertentu yang akan terjadi adalah disebut sebagai **tidak pasti, berisiko, stokastik**, atau **probabilistik**. Pendekatan yang

digunakan untuk pengambilan keputusan di bawah kepastian mungkin tidak tepat lagi. Bahkan bentuknya atau struktur keputusan itu sendiri mungkin perlu berbeda. Daripada menggunakan keputusan dalam bentuk kontrol loop terbuka, mungkin lebih tepat untuk menggunakan keputusan atau aturan yang melibatkan kontrol tertutup atau umpan balik. Aturan keputusan seperti itu disebut sebagai **strategi**.³¹

Ketidakpastian berisikan terhadap sifat yang tepat dari beberapa fenomena, beberapa proses, atau tepatnya keadaan sistem pada titik tertentu disebabkan oleh satu atau kombinasi dari empat alasan berikut.³²

- 1) Alasan paling umum adalah bahwa proses atau peristiwa yang dimaksud tidak diketahui atau dipahami dengan cukup detail. Banyak fenomena fisik, seperti cuaca, atau apakah koin yang dilemparkan ke udara akan mendarat dengan kepala atau ekor, atau waktu, kekuatan, dan durasi gempa berikutnya di lokasi tertentu, adalah semua proses yang tidak kami lakukan sepenuhnya mengerti atau yang akan sangat mahal dan waktu mengkonsumsi untuk mengumpulkan semua informasi yang relevan. Untuk dipahami, jika proses yang menyebabkan gempa bumi dapat dipahami hingga detail terakhir, tidak akan ada apa-apa secara inheren acak tentang gempa bumi berikutnya ditempat atau dikota lainnya. Jadi ketidakpastian sering kali merupakan **akibat dari ketidaktahuan atau pengetahuan kita yang tidak lengkap**.
- 2) Alasan kedua adalah bahwa pernyataan tentang suatu fenomena atau proses didasarkan pada **informasi yang tidak lengkap**. Misalnya, pernyataan tentang persentase semua pemirsa televisi yang menonton stasiun tertentu pada waktu tertentu, karena alasan biaya, biasanya berdasarkan sampel

³¹ Wright, G.(2001). *Strategic Decision Making: A Best Practice Blueprint*. New York: Wiley.

³² Tversky, A. dan Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases. *Science*, Vol. 185, Sept., pp. 1124–31.

sekitar 500 hingga 1000 pemirsa, bukan keseluruhan populasi semua pemirsa pada waktu itu. Ini adalah perkiraan dan karenanya hanya akan menjadi tepat benar secara kebetulan. Dengan kata lain akurasi menjadi tidak pasti. Sehingga ketidakpastian lagi-lagi dikarenakan ketidaktahuan, kecuali kali ini ketidaktahuan oleh desain. Jenis ketidakpastian ini dapat dihilangkan dengan mensurvei keseluruhan populasi (asalkan tidak terjadi kesalahan pengukuran).

- 3) Alasan penting ketiga, terutama untuk fenomena ekonomi, tetapi juga untuk olahraga dan permainan kompetitif, adalah **ketidakmampuan untuk memprediksi apa yang menggerakkan** sesuatu di dunia nyata, seperti pesaing, pelanggan, karyawan, atau Pemerintah, akan membuat, dan yang dapat mempengaruhi hasil. Gerakan seperti itu dapat dilakukan sepenuhnya terlepas dari keputusan kita sendiri atau mungkin dalam menanggapi atau mengantisipasi keputusan. Ambil lagi contoh pengiriman roti. Jika — dan ini termasuk banyak sub-'jika' — dimungkinkan untuk memastikan pada pukul 6 sore. setiap hari persis berapa banyak roti masing-masing calon pelanggan reguler dan kasual supermarket akan membeli selama rentang waktu 24 jam mulai hari berikutnya pada siang hari, lalu toko roti akan tahu berapa banyak roti yang harus dipanggang dan disediakan. Jelas, seperti informasi rinci tidak diketahui, juga tidak dapat dikumpulkan dengan andal. Oleh karena itu, permintaan roti tetap tidak pasti.
- 4) Alasan terakhir adalah pengukuran kesalahan tentang suatu fenomena karena kesalahan yang dilakukan oleh pengamat atau penggunaan alat ukur yang tidak tepat atau fungsi alat ukur yang keliru, dan keduanya tidak diketahui oleh pengamat. Kesalahan pengukuran ini dapat mengarah pada kesimpulan bahwa setiap variabilitas yang diamati melekat pada fenomena yang diukur, bukan hasil pengukuran proses. Tetapi meskipun diketahui

bahwa proses pengukuran mungkin kurang akurat, hasil yang diperoleh masih melibatkan ketidakpastian. Mereka adalah perkiraan dari nilai sebenarnya, bukan nilai-nilai sejati itu sendiri.

Sebagian besar ketidakpastian yang relevan dengan sistem atau dihadapi oleh individu atau perusahaan berurusan baik dengan nilai numerik (kuantitas, ukuran, dll.), atau atribut kualitatif (pada, mati; untuk melawan, dll.), terkait dengan fenomena yang menarik, atau dengan waktunya. Perusahaan mengalami ketidakpastian mengenai ukuran permintaan untuk salah satu produknya selama periode waktu tertentu di masa depan, atau pada harga berapa bahan baku harus dibeli bulan depan di pasar komoditas, adalah contoh ketidakpastian tentang nilai numerik dari suatu fenomena. Waktu antara kedatangan pasien berturut-turut pada fasilitas kecelakaan dan darurat adalah contoh ketidakpastian tentang waktu, serta jumlah kedatangan, karena ambulans yang menghadiri kecelakaan dapat membawa beberapa orang pada waktu yang sama. Akhirnya, pemukul dalam pertandingan kriket tidak tahu bola jenis apa yang akan diberikan bowler selanjutnya.

Tingkat ketidakpastian dapat bervariasi dari hampir tidak tahu apa-apa tentang proses atau fenomena untuk mengetahui hampir segalanya. Misalnya, sebuah perusahaan mempersiapkan anggaran arus kas (rencana waktu dan jumlah penerimaan kas dan kas pengeluaran selama interval waktu tertentu) mungkin tahu persis waktu dan jumlah kas yang dibutuhkan untuk pencairan selama dua minggu pertama, memiliki data yang cukup akurat tentang pencairan untuk empat minggu ke depan, dengan informasi yang semakin tidak dapat diandalkan lebih lanjut di masa depan pengeluaran ini terjadi. Untuk masa depan yang jauh, hanya kasar perkiraan rata-rata mungkin tersedia, karena peristiwa ini dipengaruhi oleh banyak peristiwa lain yang

tidak diketahui, seperti tingkat produksi, dll., yang pada gilirannya bergantung pada tingkat penjualan di masa depan yang jauh.

Saat kita berurusan dengan acara yang melibatkan pesaing, prediksi apa pun tentang tanggapan mereka mungkin bahkan lebih berbahaya. Kami bahkan mungkin tidak memiliki daftar lengkap dari semua kemungkinan tindakan alternatif yang tersedia bagi mereka dan konsekuensinya untuk kita. Demikian pula, untuk pengenalan produk atau layanan baru, perusahaan mungkin memiliki sedikit untuk melanjutkan untuk memprediksi seberapa sukses itu akan.

B. Peramalan dan Probabilitas

B.1 Peramalan

Peramalan adalah prediksi tentang apa yang akan terjadi di masa depan. Ahli meteorologi meramalkan cuaca, penyiar olahraga memprediksi pemenang pertandingan sepak bola, dan manajer perusahaan bisnis berusaha memprediksi berapa banyak produk mereka akan diminta di masa depan. Faktanya, manajer terus-menerus mencoba memprediksi masa depan, membuat keputusan di masa sekarang yang akan memastikan kesuksesan perusahaan mereka.³³ Seringkali seorang manajer akan menggunakan penilaian, opini, atau pengalaman masa lalu untuk meramalkan apa yang akan terjadi di masa depan. Namun, sejumlah metode matematika juga tersedia untuk membantu manajer dalam membuat keputusan. Dalam bab ini, kita menyajikan dua metode peramalan tradisional: **analisis deret waktu** dan **regresi**. Meskipun tidak ada teknik yang akan menghasilkan ramalan yang benar-benar akurat (yaitu, mustahil untuk memprediksi masa depan dengan

³³ Hogarth, R.M. dan Makridakis, S. (1981). Forecasting and planning: an evaluation. *Management Sciences*, Feb., 115–38.

tepat), metode peramalan ini dapat memberikan pedoman yang andal untuk pengambilan keputusan.³⁴

1. Komponen Peramalan

Berbagai metode peramalan ada, dan penerapannya tergantung pada kerangka waktu perkiraan (yaitu, seberapa jauh di masa depan kita melakukan peramalan), keberadaan pola dalam ramalan (yaitu, tren musiman, periode puncak), dan jumlah variabel yang terkait dengan ramalan. Kami akan membahas masing-masing faktor-faktor ini secara terpisah.

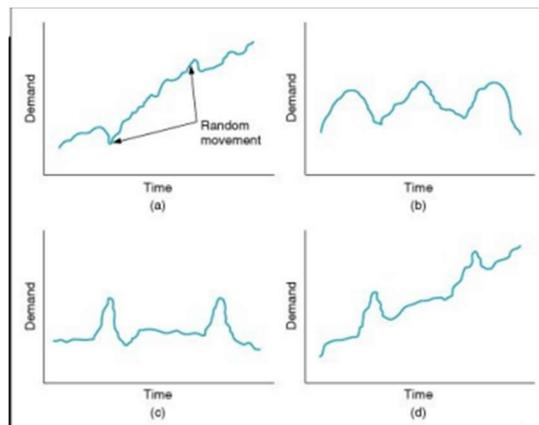
Secara umum, prakiraan dapat diklasifikasikan menurut tiga kerangka waktu: jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang. Prakiraan jangka pendek biasanya mencakup waktu dekat dan berkaitan dengan operasi sehari-hari perusahaan bisnis, seperti permintaan harian atau kebutuhan sumber daya. Prakiraan jarak pendek jarang melampaui beberapa bulan ke depan. Perkiraan rentang menengah biasanya mencakup mulai dari 1 atau 2 bulan hingga 1 tahun. Prakiraan panjang ini umumnya lebih erat terkait dengan rencana produksi tahunan dan akan mencerminkan item seperti puncak dan lembah dalam permintaan dan kebutuhan untuk mengamankan sumber daya tambahan untuk tahun mendatang. Peramalan sepanjang rentang biasanya mencakup periode yang lebih lama dari 1 atau 2 tahun. Prakiraan jangka panjang terkait upaya manajemen untuk merencanakan produk baru untuk mengubah pasar, membangun fasilitas baru, atau mengamankan pembiayaan jangka panjang. Secara umum, **semakin jauh ke masa depan** seseorang berusaha untuk memprediksi, **peramalan menjadi lebih sulit**.

³⁴ Wright, G. dan Goodwin, P. (1998). *Forecasting with Judgment*. Chichester: Wiley.

Klasifikasi ini harus dilihat sebagai generalisasi. Garis demarkasi antara prakiraan jangka menengah dan jangka panjang seringkali cukup sewenang-wenang dan tidak selalu berbeda. Untuk beberapa perusahaan perkiraan jangka menengah bisa beberapa tahun, dan untuk perusahaan lain perkiraan jangka panjang bisa dalam hitungan bulan.

Catatan: Tren adalah pergerakan permintaan yang bertahap, berjangka panjang, naik atau turun.

Prakiraan sering menunjukkan pola, atau tren. Tren adalah pergerakan jangka panjang dari item yang diramalkan. Misalnya, permintaan laptop telah menunjukkan tren kenaikan selama dekade terakhir, tanpa pergerakan penurunan yang panjang di pasar. Tren adalah pola perilaku permintaan yang paling mudah untuk mendeteksi dan sering menjadi titik awal untuk mengembangkan ramalan. Gambar 6.1 mengilustrasikan tren permintaan di mana ada pergerakan naik secara umum atau meningkatkan. Perhatikan bahwa Gambar 6.1 juga mencakup beberapa gerakan acak ke atas dan ke bawah. Variasi acak adalah gerakan yang tidak dapat diprediksi dan tidak mengikuti pola (dan dengan demikian hampir tidak dapat diprediksi).



Gambar 6.1 Bentuk-bentuk pergerakan ramalan: (a) tren, (b) siklus, (c) pola musiman, dan (d) tren dengan pola musiman

Siklus adalah gerakan bergelombang dalam permintaan, naik dan turun, yang berulang selama rentang waktu yang lama (yaitu, lebih dari 1 tahun). Misalnya, perumahan baru dimulai dan dengan demikian produk yang terkait dengan konstruksi cenderung mengikuti siklus dalam perekonomian. Penjualan mobil cenderung mengikuti siklus dengan cara yang sama. Permintaan peralatan olahraga musim dingin meningkat setiap 4 tahun, sebelum dan sesudah Olimpiade Musim Dingin. Gambar 6.1 menunjukkan perilaku umum dari siklus permintaan. **Siklus adalah gerakan berulang naik-turun dalam permintaan.**

Pola musiman adalah gerakan naik turun, berulang dalam tren yang terjadi secara berkala. Pola musiman adalah pergerakan permintaan yang berosilasi yang terjadi secara periodik (dalam jangka pendek) dan berulang. Musiman sering kali berhubungan dengan cuaca. Untuk misalnya, setiap musim dingin permintaan akan alat peniup salju dan alat ski meningkat secara dramatis, dan penjualan eceran secara umum meningkat selama musim liburan. Namun, pola musiman dapat terjadi setiap hari atau setiap minggu. Misalnya, beberapa restoran lebih sibuk saat makan siang daripada saat makan malam, dan toko pusat perbelanjaan dan bioskop cenderung memiliki permintaan yang lebih tinggi pada akhir pekan. Gambar 6.1 mengilustrasikan pola musiman di mana perilaku permintaan yang sama berulang setiap periode pada waktu yang sama.

Perilaku permintaan akan sering menampilkan beberapa karakteristik ini secara bersamaan. Meskipun perumahan mulai menampilkan perilaku siklus, ada yang menjadi tren peningkatan dalam konstruksi rumah baru selama bertahun-tahun. Seperti yang kita catat, permintaan

alat ski bersifat musiman; namun, ada tren kenaikan umum di permintaan peralatan olahraga musim dingin selama 2 dekade terakhir. Gambar 6.1 menampilkan kombinasi dua pola permintaan, tren dengan pola musiman pola.

Ada contoh di mana perilaku permintaan tidak menunjukkan pola. Ini disebut sebagai **gerakan tidak teratur**, atau **variasi**. Misalnya, banjir lokal dapat menyebabkan peningkatan sesaat dalam permintaan karpet, atau publisitas negatif akibat gugatan dapat menyebabkan permintaan produk turun untuk jangka waktu tertentu. Meskipun perilaku ini kausal, dan dengan demikian tidak sepenuhnya acak, tetap saja tidak mengikuti pola yang dapat direfleksikan dalam ramalan.

2. Metode Peramalan

Faktor-faktor yang dibahas sebelumnya menentukan sampai batas tertentu jenis metode peramalan yang dapat atau harus digunakan. Dalam bab ini kita membahas dasar jenis peramalan: *time series*, metode regresi, dan metode kualitatif.³⁵ Deret waktu adalah kategori teknik statistik yang menggunakan data historis untuk memprediksi perilaku masa depan. Metode regresi (atau kausal) mencoba mengembangkan hubungan matematis (dalam bentuk model regresi) antara item diramalkan dan faktor-faktor yang menyebabkannya berperilaku seperti itu.³⁶ Sebagian besar sisa bab ini adalah tentang deret waktu dan metode peramalan regresi. Pada bagian ini kita memfokuskan diskusi kita pada peramalan kualitatif.

Berikut ini jenis metode peramalan adalah

³⁵ Brown, R. G. (1959). *Statistical Forecasting for Inventory Control*. New York: McGraw-Hill.

³⁶ Armstrong, J.S. (1985). *Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer*. New York: Wiley.

a. **Metode Kualitatif**

Metode kualitatif menggunakan penilaian manajemen, keahlian, dan pendapat untuk membuat perkiraan. Sering disebut "juri opini eksekutif", tipe ini adalah yang paling umum dari metode peramalan untuk proses perencanaan strategis jangka panjang.

Biasanya ada individu atau kelompok dalam suatu organisasi yang penilaian dan pendapat mengenai masa depan sama validnya atau lebih validnya daripada pendapat para ahli dari luar atau pendekatan terstruktur lainnya. Manajer puncak adalah kuncinya kelompok yang terlibat dalam pengembangan prakiraan untuk rencana strategis. Mereka umumnya paling akrab dengan kemampuan dan sumber daya perusahaan mereka sendiri dan pasar untuk produk mereka.

Tenaga penjualan adalah titik kontak langsung dengan konsumen. Kontak ini memberikan kesadaran akan harapan konsumen di masa depan yang mungkin tidak dimiliki orang lain memiliki. Personil teknik memiliki pemahaman bawaan tentang aspek teknologi dari jenis produk yang mungkin layak dan mungkin di masa depan.

Riset konsumen, atau pasar, adalah pendekatan terorganisir yang menggunakan survei dan teknik riset lain untuk menentukan produk dan layanan apa yang diinginkan dan akan dibeli pelanggan, dan untuk mengidentifikasi pasar dan sumber pelanggan baru. Riset konsumen dan pasar biasanya dilakukan oleh pemasaran departemen dalam suatu organisasi, oleh organisasi dan kelompok industri, dan oleh perusahaan pemasaran atau konsultan swasta. Meskipun riset pasar dapat memberikan

prakiraan permintaan produk yang akurat dan berguna, harus dilakukan dengan terampil dan benar, dan bisa mahal.

Metode Delphi adalah prosedur untuk memperoleh penilaian dan pendapat yang diinformasikan dari individu yang berpengetahuan, menggunakan serangkaian kuesioner untuk mengembangkannya perkiraan konsensus tentang apa yang akan terjadi di masa depan. Ini dikembangkan di RAND Corporation tak lama setelah Perang Dunia II untuk hipotetis meramalkan dampak serangan nuklir di Amerika Serikat. Meskipun metode Delphi telah digunakan untuk berbagai aplikasi, peramalan telah menjadi salah satunya kegunaan utama. Ini sangat berguna untuk meramalkan perubahan dan kemajuan teknologi.

b. Metode *time series* / Deret Waktu

Metode deret waktu adalah teknik statistik yang memanfaatkan **data historis yang terakumulasi** selama periode waktu tertentu. Metode deret waktu mengasumsikan bahwa apa yang telah terjadi di masa lalu akan terus terjadi di masa depan. Seperti yang disarankan oleh deret waktu, metode ini menghubungkan ramalan hanya dengan satu faktor waktu. Metode deret waktu cenderung paling berguna untuk peramalan jangka pendek, meskipun dapat digunakan untuk peramalan jangka panjang.³⁷ Kita akan membahas dua jenis metode deret waktu:

i. *Moving average*

Peramalan deret waktu dapat sesederhana menggunakan permintaan pada periode saat ini untuk memprediksi

³⁷ Box, G. E. P., dan Jenkins, G. M. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Oakland, CA: Holden-Day.

permintaan pada periode berikutnya. Misalnya, jika permintaan adalah 100 unit minggu ini, perkiraan permintaan minggu depan adalah 100 unit, jika permintaan ternyata 90 unit, maka permintaan minggu berikutnya adalah 90 satuan, dan lain sebagainya. Ini kadang-kadang disebut sebagai peramalan naif. Namun, jenis metode peramalan ini tidak memperhitungkan semua jenis perilaku permintaan historis; itu hanya bergantung pada permintaan pada periode saat ini. Dengan demikian, ia bereaksi langsung terhadap pergerakan naik-turun permintaan yang normal dan acak.

Metode *moving average* menggunakan beberapa nilai selama masa lalu baru-baru ini untuk mengembangkan perkiraan. Ini cenderung meredam, atau menghaluskan, kenaikan yang acak dan penurunan perkiraan yang hanya menggunakan satu periode. Dengan demikian, rata-rata pergerakan sederhana sangat berguna untuk memperkirakan item yang relatif stabil dan tidak menunjukkan perilaku yang jelas, seperti tren atau pola musiman.

Metode *moving average* bagus untuk **permintaan yang stabil** tanpa pola perilaku yang jelas

moving average dihitung untuk periode tertentu, seperti 3 bulan atau 5 bulan, tergantung pada seberapa besar keinginan peramal untuk menghaluskan data. semakin lama periode rata-rata bergerak, semakin halus. Rumus untuk menghitung rata-rata bergerak sederhana adalah sebagai berikut:

$$MA_n = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

di mana

n = jumlah periode dalam rata-rata bergerak

Di = data pada periode i

Untuk mendemonstrasikan metode peramalan *moving average*, kita akan menggunakan sebuah contoh. Perusahaan Pemasok Klip Kertas menjual dan mengirimkan perlengkapan kantor ke berbagai perusahaan, sekolah, dan agensi dalam radius 30 mil dari gudangnya. Bisnis perlengkapan kantor sangat kompetitif, dan kemampuan untuk mengirimkan pesanan dengan segera merupakan faktor penting dalam mendapatkan pelanggan baru dan mempertahankan pelanggan lama. (Kantor biasanya tidak memesan ketika persediaan persediaan mereka semakin rendah tetapi ketika mereka benar-benar habis. Akibatnya, mereka membutuhkan pesanan mereka segera.) Manajer perusahaan ingin memastikan itu terdapat cukup pengemudi dan kendaraan pengiriman tersedia sehingga pesanan dapat segera dikirim. Oleh karena itu, manajer ingin dapat memperkirakan jumlah pesanan yang akan terjadi selama bulan berikutnya (yaitu, untuk meramalkan permintaan pengiriman).

Dari catatan pesanan pengiriman, manajer telah mengumpulkan data selama 10 bulan terakhir.

Bulan	Jumlah pesanan perbulan
Januari	120
Februari	90
Maret	100
April	75
Mei	110
Juni	50
Juli	75
Agustus	130
September	110
Oktober	90

Perkiraan *moving average* dihitung dengan membagi jumlah nilai variabel perkiraan, pesanan per bulan untuk urutan bulan, dengan jumlah bulan secara berurutan. Seringkali, *moving average* dihitung untuk tiga atau lima periode waktu. Perkiraan yang dihasilkan dari *moving average* 3 atau 5 bulan biasanya untuk bulan berikutnya secara berurutan, yang dalam hal ini adalah November. *Moving average* dihitung dari permintaan pesanan selama 3 bulan terakhir secara berurutan, dengan rumus sebagai berikut:

$$MA_n = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} = \frac{90 + 110 + 130}{3} = 110 \text{ pesanan}$$

Moving average dihitung dari permintaan pesanan selama 5 bulan terakhir secara berurutan, dengan rumus sebagai berikut:

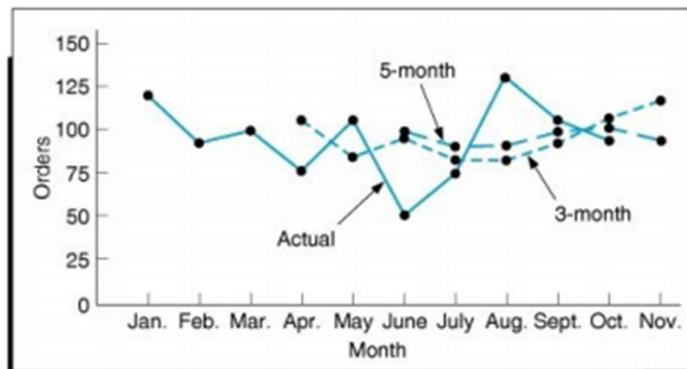
$$MA_n = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} = \frac{90 + 110 + 130 + 75 + 50}{5} = 91 \text{ pesanan}$$

Bulan	Jumlah pesanan /bln	MA (3bln)	MA (5bln)
Januari	120		
Februari	90		
Maret	100		
April	75	103,3	
Mei	110	88,3	
Juni	50	95	99
Juli	75	78,3	85
Agustus	130	78,3	83
September	110	85	88
Oktober	90	105	95
November		110	91

Rata-rata pergerakan 3 dan 5 bulan untuk semua bulan data permintaan ditunjukkan pada Tabel berikut. Perhatikan bahwa kita telah menghitung prakiraan untuk semua bulan. Perkiraan sebelumnya untuk bulan-bulan sebelumnya memungkinkan

kita membandingkan prakiraan dengan permintaan aktual untuk melihat seberapa akurat metode peramalan tersebut (yaitu, seberapa baik kinerjanya).

Kedua perkiraan *moving average* cenderung memperhalus variabilitas yang terjadi pada data aktual. Efek smoothing ini dapat diamati pada Gambar 6.2, di mana rata-rata 3 bulan dan 5 bulan telah ditumpangkan pada grafik data asli. Ekstrem dalam pesanan aktual per bulan telah dikurangi. Ini bermanfaat jika ekstrem ini hanya mencerminkan fluktuasi acak dalam pesanan per bulan karena perkiraan *moving average* tidak akan sangat dipengaruhi oleh mereka.



Gambar 6.2 *Moving Average*

moving average periode yang lebih lama bereaksi lebih lambat terhadap perubahan permintaan baru-baru ini daripada *moving average* dengan periode yang lebih pendek.

ii. *Weighted Moving Average*

Metode *moving average* dapat disesuaikan untuk mencerminkan lebih dekat fluktuasi data dan efek musiman yang lebih baru. Metode yang disesuaikan ini disebut sebagai

metode rata-rata bergerak tertimbang. Dalam metode ini, bobot diberikan ke data terbaru menurut rumus berikut:

$$WMA_n = \sum_{i=1}^n W_i D_i$$

di mana

W_i = bobot untuk periode i , antara 0% dan 100%

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1,00$$

Dalam rata-rata bergerak tertimbang, bobot diberikan ke data terbaru.

Dengan menggunakan contoh sebelumnya, jika Perusahaan Pemasok Klip Kertas ingin menghitung rata-rata pergerakan tertimbang 3 bulan dengan bobot 50% untuk data Oktober, bobot 33% untuk data September, dan bobot 17% untuk Agustus, perhitungan sbb:

$$WMA_3 = \sum_{i=1}^n W_i D_i = (0,5)(90) + (0,33)(110) + (0,17)(130) = 103,4$$

Perhatikan bahwa hasil ramalan terdapat bagian pecahan, 0,4. Karena urutan 0,4 tidak mungkin, sehingga pecahan dibutuhkan untuk dimasukkan dalam perhitungan untuk mencapai akurasi matematis, tetapi ketika perkiraan akhir tercapai, itu harus dibulatkan ke atas atau ke bawah.

iii. *Exponential Smoothing*

Metode peramalan *Exponential Smoothing* adalah metode rata-rata yang memberikan bobot data masa lalu yang paling baru lebih kuat daripada data masa lalu yang lebih jauh. Sehingga hasil ramalan akan bereaksi lebih kuat terhadap perubahan langsung dalam data. Ini sangat berguna jika

perubahan terbaru dalam data adalah hasil dari perubahan yang sebenarnya (mis., pola musiman) atau hanya fluktuasi acak (yang cukup untuk perkiraan rata-rata bergerak sederhana).

Pemulusan eksponensial adalah metode rata-rata yang bereaksi lebih kuat terhadap perubahan permintaan terkini daripada data masa lalu yang lebih jauh.

Kita akan mempertimbangkan dua bentuk *exponential smoothing*: *exponential smoothing* sederhana dan *exponential smoothing* yang disesuaikan (dijadikan untuk tren, musiman pola, dll).

Model Ramalan *exponential smoothing* sederhana adalah

$$F_{t+1} = \alpha D_t + (1 - \alpha)F_t$$

dimana

F_{t+1} = ramalan periode berikutnya

D_t = aktual permintaan

F_t = ramalan yang ditentukan sebelumnya untuk saat ini

α = faktor pembobotan sebagai konstanta pemulusan

Konstanta *smoothing*, α , berada di antara nol dan satu. Ini mencerminkan bobot yang diberikan pada data permintaan terbaru. Misalnya, jika $\alpha = 0,20$,

$$F_{t+1} = 0,20D_t + 0,80F_t$$

yang berarti bahwa ramalan kami untuk periode berikutnya didasarkan pada 20% permintaan terakhir (D_t) dan 80% permintaan masa lalu (dalam bentuk ramalan F_t karena F_t diturunkan dari prakiraan sebelumnya). Jika kita pergi ke satu ekstrim dan **jika $\alpha = 0,0$** , maka ramalan untuk periode

berikutnya **sama dengan untuk periode saat ini**. Dengan kata lain, ramalan sama sekali tidak mencerminkan permintaan terbaru. Sebaliknya, **jika $\alpha = 1,0$** , dimana semakin dekat α dengan satu, **semakin besar reaksi terhadap permintaan terbaru**.

Untuk mendemonstrasikan perhitungan ramalan kita menggunakan contoh data permintaan yang telah dikumpulkan selama 12 bulan terakhir, dari mana kita ingin menghitung *exponential smoothing*, menggunakan konstanta *smoothing* (α) sama dengan 0,30 dan 0,50.

Bulan	Permintaan
Januari	37
Februari	40
Maret	41
April	37
Mei	35
Juni	50
Juli	43
Agustus	47
September	56
Oktober	52
November	55
Desember	54

kita akan mulai dengan periode 1 (Januari) dan menghitung prakiraan untuk periode 2 (Februari) dengan menggunakan $\alpha = 0,30$. Rumus untuk *exponential smoothing* juga memerlukan perkiraan untuk periode 1, yang tidak kita miliki, jadi kita akan menggunakan permintaan untuk periode 1 sebagai permintaan dan ramalan untuk periode 1. Cara lain untuk menentukan prakiraan awal adalah dengan rata-rata tiga atau empat periode

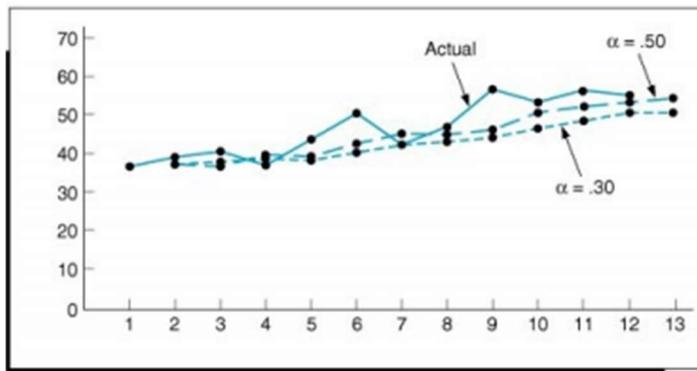
pertama atau membuat perkiraan subjektif. Ramalan untuk bulan Februari adalah

$$F_2 = \alpha D_1 + (1 - \alpha)F_1 = (.30)(37) + (.70)(37) = 37 \text{ satuan}$$

Prakiraan untuk periode 3 dihitung dengan cara yang sama:

$$F_3 = \alpha D_2 + (1 - \alpha)F_2 = (.30)(40) + (.70)(37) = 37.9 \text{ satuan}$$

Kedua perkiraan *exponential smoothing* ditunjukkan pada Gambar 6.3, bersama dengan data aktualnya:



Gambar 6.3 Perkiraan *Exponential Smoothing*

Bulan	Permintaan	$\alpha=0,3$	$\alpha=0,5$
Januari	37		
Februari	40	37,00	37,00
Maret	41	37,90	38,50
April	37	38,83	39,75
Mei	35	38,28	38,37
Juni	50	40,29	41,68
Juli	43	43,20	45,84
Agustus	47	43,14	44,42
September	56	44,30	45,71
Oktober	52	47,81	50,58
November	55	49,06	51,42
Desember	54	50,84	53,21
Januari'		51,79	53,61

Berdasarkan pengamatan sederhana dari dua prakiraan pada Gambar 4.3, $\alpha=0,50$ tampaknya lebih akurat, dalam arti bahwa tampaknya mengikuti data sebenarnya lebih dekat.

(Selanjutnya dalam bab ini kita akan membahas beberapa metode kuantitatif untuk menentukan akurasi peramalan.) Secara umum, ketika permintaan relatif stabil, tanpa tren apapun, menggunakan nilai kecil untuk α lebih tepat untuk memuluskan ramalan. Atau, ketika permintaan aktual ditampilkan tren meningkat (atau menurun), seperti yang terjadi pada Gambar 4.3, nilai α yang lebih besar umumnya lebih baik. Ini akan bereaksi lebih cepat ke yang lebih baru ke atas atau gerakan ke bawah dalam data aktual. Dalam beberapa pendekatan untuk pemulusan eksponensial, keakuratan perkiraan dipantau dalam hal perbedaannya antara nilai aktual dan nilai perkiraan. Jika perbedaan ini menjadi lebih besar, maka α diubah (lebih tinggi atau lebih rendah) dalam upaya untuk menyesuaikan ramalan ke data yang sebenarnya. **Perkiraan *exponential smoothing* juga dapat disesuaikan dengan efek tren.**

iv. *Adjusted Exponential Smoothing*

adjusted exponential smoothing merupakan perkiraan *exponential smoothing* yang disesuaikan terdiri dari perkiraan *exponential smoothing* dengan faktor penyesuaian tren yang ditambahkan ke dalamnya.³⁸ Rumus untuk *adjusted exponential smoothing* adalah

$$AF_{t+1} = F_{t+1} + T_{t+1}$$

di mana

T = faktor tren yang dihaluskan secara eksponensial

³⁸ Gardner, E. S., dan Dannenbring, D. G. (1980). *Forecasting with Exponential Smoothing: Some Guidelines for Model Selection*. Decision Sciences 11, no. 2.

Faktor tren dihitung hampir sama dengan *adjusted exponential smoothing*. Sehingga model perkiraan tren:

$$F_{t+1} = \beta (F_{t+1} - F_t) + (1 - \beta)T_t$$

dimana

F_{t+1} = ramalan periode berikutnya

T_t = faktor tren periode terakhir

β = faktor pembobotan sebagai konstanta pemulusan tren

Seperti α , β adalah nilai antara nol dan satu. Ini mencerminkan bobot yang diberikan pada data tren terbaru. Juga seperti α , β sering ditentukan secara subjektif, berdasarkan penilaian dari peramal. Semakin tinggi β mencerminkan perubahan tren lebih besar dari nilai β yang rendah. Apabila **nilai β semakin dekat mendekati ke nilai satu, semakin kuat tren tercermin.**

Mari kita perhatikan contoh kasus sebelumnya, perusahaan sekarang ingin mengembangkan perkiraan *adjusted exponential smoothing*, menggunakan permintaan 12 bulan yang sama seperti yang sebelumnya. Ini akan menggunakan perkiraan pemulusan eksponensial dengan $\alpha = 0,50$ dan konstanta pemulusan untuk tren β sebesar 0,30.

Rumus untuk peramalan *adjusted exponential smoothing* membutuhkan nilai awal untuk T_t . Faktor tren awal ini adalah yang paling seringkali menjadi perkiraan ditentukan secara subjektif atau berdasarkan data masa lalu oleh peramal. Dalam hal ini, karena kami memiliki urutan data permintaan

yang relatif panjang (yaitu, 12 bulan), kita akan mulai dengan tren, T_t , sama dengan nol.

Prakiraan yang disesuaikan untuk Februari, AF_2 , sama dengan prakiraan yang *exponential smoothing* karena faktor komputasi tren akan menjadi nol (yaitu, F_1 dan F_2 sama dan $T_2 = 0$). sehingga, kita akan menghitung prakiraan yang disesuaikan untuk bulan Maret, AF_3 , sebagai berikut, dimulai dengan penentuan faktor tren, T_3 :

$$\begin{aligned} T_3 &= \beta(F_3 - F_2) + (1 - \beta)T_2 \\ &= (0,30)(38,5 - 37,0) + (,70)(0) = 0,45 \end{aligned}$$

dan

$$AF_3 = F_3 + T_3 = 38,5 + 0,45 = 38,95$$

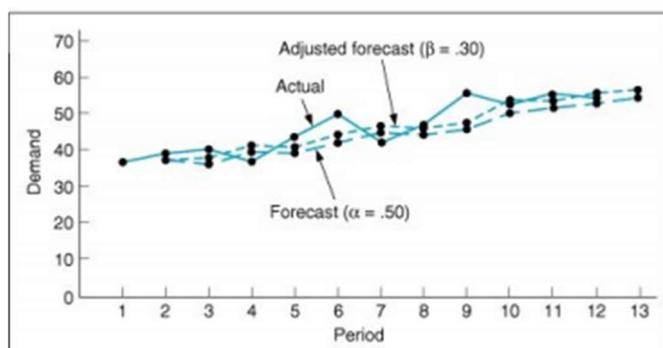
Nilai prakiraan yang disesuaikan untuk periode 3 ini ditunjukkan sebagai berikut, dengan semua nilai prakiraan lain yang disesuaikan untuk periode 12 bulan ditambah prakiraan untuk periode 13,

dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{13} &= \beta(F_{13} - F_{12}) + (1 - \beta)T_{12} \\ &= (0,30)(53,61 - 53,21) + (0,70)(1,77) = 1,36 \end{aligned}$$

dan

$$AF_{13} = F_{13} + T_{13} = 53,61 + 1,36 = 54,96 \text{ unit}$$



Gambar 6.4 Prakiraan *Adjusted Exponential Smoothing*

Bulan	Permintaan	F _{t+1}	T _{t+1}	AF _{t+1}
Januari	37	37,00		
Februari	40	37,00	0,00	37,00
Maret	41	38,50	0,45	38,95
April	37	39,75	0,69	40,44
Mei	35	38,37	0,07	38,44
Juni	50	41,68	1,04	42,73
Juli	43	45,84	1,97	47,82
Agustus	47	44,42	0,95	45,37
September	56	45,71	1,05	46,76
Oktober	52	50,85	2,28	53,13
November	55	51,42	1,76	53,19
Desember	54	53,21	1,77	54,98
Januari'		53,61	1,36	54,96

v. Garis Tren linier

Regresi linier paling sering dianggap sebagai metode peramalan kausal di mana hubungan matematis dikembangkan antara permintaan dan beberapa faktor lain yang menyebabkan perilaku permintaan. Namun, ketika permintaan menampilkan tren yang jelas dari waktu ke waktu, garis regresi kuadrat terkecil, atau garis tren linier, dapat digunakan untuk meramalkan permintaan.

Catatan: Garis tren linier adalah model regresi linier yang menghubungkan permintaan dengan waktu.

Garis tren linier menghubungkan variabel terikat, yang untuk tujuan yaitu meramalkan permintaan, dengan satu variabel bebas, waktu, dalam bentuk persamaan linier sebagai berikut:

$$y = a + bx$$

di mana

a = intersep (pada periode 0)

b = kemiringan garis

x = periode waktu

y = ramalan permintaan untuk periode x

Parameter garis tren linier ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus kuadrat terkecil untuk regresi linier:

$$b = \frac{\sum(xy) - n \bar{x} \bar{y}}{\sum(x^2) - n \bar{x}^2}$$

$$a = \bar{y} - b \bar{x}$$

di mana

n = jumlah periode

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

Sebagai contoh, mari kitalihat data pada kasus sebelum ini. Kasus tersebut tampaknya mengikuti tren linier yang meningkat. Dengan demikian, perusahaan ingin menghitung garis tren linier sebagai alternatif dari *exponential smoothing* dan perkiraan *adjusted exponential smoothing*.

Periode	Permintaan (y)	xy	X ²	
1	37	37	1	
2	40	80	4	
3	41	123	9	
4	37	148	14	
5	35	225	25	
6	50	300	36	
7	43	301	49	
8	47	376	64	
9	56	504	81	
10	52	520	100	
11	55	605	121	
12	54	648	144	
Jlh:	78	557	3867	650

Maka:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{78}{12} = 6,5$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{557}{12} = 46,42$$

$$b = \frac{\sum(xy) - n \bar{x} \bar{y}}{\sum(x^2) - n \bar{x}^2} = \frac{557 - ((12)(6,5)(46,42))}{650 - ((12)(6,5)^2)} = 1,72$$

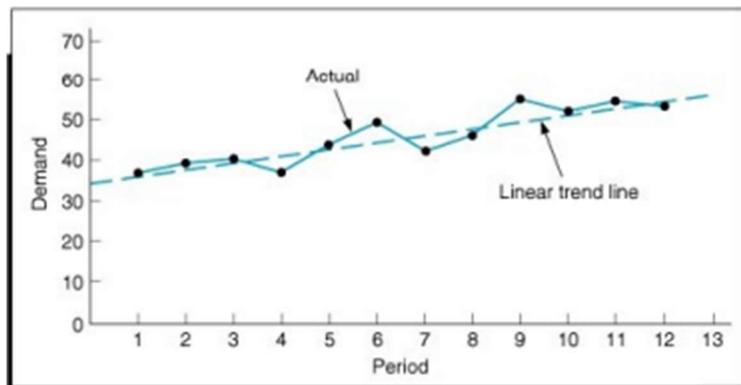
$$a = \bar{y} - b \bar{x} = 46,42 - ((1,72)(6,5)) = 35,2$$

Garis linier:

$$y = 35,2 + 1,72 x$$

Untuk menghitung ramalan untuk periode 13, $x = 13$ akan disubstitusikan dalam garis tren linier:

$$y = 35,2 + 1,72 (13) = 57,56$$



Gambar 6.5 Perkiraan dengan Garis Linier

3. *Seasonal Adjustment*

Terdapat beberapa metode yang tersedia untuk mencerminkan pola musiman dalam ramalan deret waktu. Kami akan menjelaskan salah satu metode sederhana menggunakan faktor musiman, yaitu nilai numerik yang dikalikan dengan prakiraan normal untuk mendapatkan prakiraan yang disesuaikan secara musiman.

Dimungkinkan untuk menyesuaikan musiman dengan mengalikan ramalan normal dengan faktor musiman. Salah satu metode untuk mengembangkan permintaan faktor musiman adalah membagi permintaan aktual untuk setiap periode musiman dengan total permintaan tahunan, menurut:

$$S_i = \frac{D_i}{\sum D}$$

Faktor musiman yang dihasilkan antara nol dan satu, pada dasarnya, merupakan bagian dari total permintaan tahunan yang ditetapkan untuk setiap musim. Faktor musiman ini adalah sehingga dikalikan dengan prakiraan permintaan tahunan untuk menghasilkan prakiraan yang disesuaikan secara musiman untuk setiap periode.

Contoh kasus, sebuah perusahaan yang memelihara kalkun, yang dijualnya ke perusahaan pengolahan daging sepanjang tahun. Musim puncak jelas terjadi selama kuartal keempat tahun ini, Oktober hingga Desember. Wishbone Farms telah mengalami permintaan kalkun selama 3 tahun terakhir sebagai ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tahun	Triwulan1	Triwulan2	Triwulan3	Triwulan4	Total
2003	12,6	8,6	6,3	17,5	45,0
2004	14,1	10,3	7,5	18,2	50,1
2005	15,3	10,6	8,1	19,6	53,6
Total	42,0	29,5	21,9	55,3	148,7

Karena kami memiliki data permintaan selama 3 tahun, kami dapat menghitung faktor musiman dengan membagi total permintaan triwulanan selama 3 tahun dengan total permintaan selama 3 tahun:

$$S_1 = \frac{D_1}{\sum D} = \frac{42,0}{148,7} = 0,28$$

$$S_2 = \frac{D_2}{\sum D} = \frac{29,5}{148,7} = 0,20$$

$$S_3 = \frac{D_3}{\sum D} = \frac{21,9}{148,7} = 0,15$$

$$S_4 = \frac{D_4}{\sum D} = \frac{55,3}{148,7} = 0,37$$

Selanjutnya, kita akan mengalikan permintaan yang diperkirakan untuk tahun berikutnya, dengan masing-masing faktor musiman untuk mendapatkan permintaan yang diperkirakan untuk setiap kuartal. Namun, untuk mencapai hal ini, kita memerlukan prakiraan permintaan untuk tahun berikutnya. Hal tersebut dikarenakan data permintaan pada Tabel sebelumnya menunjukkan peningkatan tren secara umum. Kita akan menghitung garis tren linier untuk data 3 tahun untuk digunakan sebagai perkiraan perkiraan kasar:

$$y = 40,97 + 4,30x = 40,97 + 4,30(4) = 58,17$$

Jadi, ramalan untuk tahun berikutnya adalah 58,17, atau 58,170.

Dengan menggunakan prakiraan permintaan tahunan ini, prakiraan yang disesuaikan secara musiman, SF_i , sebagai berikut:

$$SF_1 = (S_1)(F_5) = (0,28)(58,17) = 16,28$$

$$SF_2 = (S_2)(F_5) = (0,20)(58,17) = 11,63$$

$$SF_3 = (S_3)(F_5) = (0,15)(58,17) = 8,73$$

$$SF_4 = (S_4)(F_5) = (0,37)(58,17) = 21,53$$

4. Akurasi Peramalan

Kesalahan perkiraan adalah perbedaan antara perkiraan dan permintaan aktual.

Ramalan akan selalu menyimpang dari permintaan sebenarnya. Perbedaan antara ramalan dan aktual disebut sebagai **kesalahan perkiraan**. Meskipun sejumlah kesalahan peramalan tidak dapat dihindari, tujuan peramalan yang baik adalah memperkecil tingkat

kesalahannya. Tentu saja, jika tingkat kesalahannya tidak kecil, ini mungkin menunjukkan bahwa teknik peramalan yang digunakan salah atau teknik itu perlu disesuaikan dengan mengubah parameternya (misalnya, α dalam peramalan pemulusan eksponensial).

Ada berbagai ukuran kesalahan ramalan yang berbeda, dan di bagian ini kita membahas beberapa yang paling populer, sebagai berikut:

a) Rata-rata Mutlak Deviasi (*mean absolute deviation – MAD*)

MAD adalah rata-rata dari perbedaan antara perkiraan dan permintaan aktual, seperti yang dihitung dengan rumus berikut:

$$MAD = \frac{\sum |D_t - F_t|}{n}$$

t = periode

Dt = permintaan pada periode t

Ft = peramalan pada periode t

n = jumlah periode

|| = nilai mutlak

Mari kita perhatikan hasil peramalan pada metode *exponential smoothing*:

periode	Permintaan	Peramalan $\alpha=0,3$	eror (D _t F _t)	eror D _t F _t	eror ² (D _t F _t) ²
1	37	37,00			
2	40	37,00	3,00	3,00	9,00
3	41	37,90	3,10	3,10	9,61
4	37	38,83	1,83	1,83	3,35
5	35	38,28	6,72	6,72	45,15
6	50	40,29	9,71	9,71	94,28
7	43	43,20	0,20	0,20	0,04
8	47	43,14	3,86	3,86	14,90
9	56	44,30	11,70	11,70	136,89
10	52	47,81	4,19	4,19	17,56
11	55	49,06	5,94	5,94	35,28
12	54	50,84	3,16	3,16	9,98
	520			53,41	376,04

$$\begin{aligned}
 MAD &= \frac{\sum |D_t - F_t|}{n} \\
 &= \frac{53,41}{12} = 4,85
 \end{aligned}$$

semakin kecil nilai MAD, semakin akurat ramalannya, meskipun jika dilihat sendiri, MAD sulit diakses. Dalam contoh ini, nilai data relatif kecil, dan nilai MAD 4,85 harus dinilai dengan tepat. Secara keseluruhan, itu tampaknya menjadi nilai "rendah" (yaitu, perkiraan tampaknya relatif akurat). Namun, jika besarnya nilai data dalam ribuan atau jutaan, maka nilai MAD dengan besaran yang sama mungkin tidak buruk.

Kita tidak dapat membandingkan nilai MAD 4,85 dengan nilai MAD 485 dan mengatakan yang pertama baik dan yang terakhir buruk, nilai tersebut sangat bergantung pada batas tertentu pada besaran relatif data.

Semakin rendah nilai MAD relatif terhadap besarnya data, semakin akurat ramalannya. Salah satu manfaat MAD

adalah dapat membandingkan keakuratan beberapa teknik peramalan yang berbeda, seperti yang kita lakukan dalam contoh ini. Nilai MAD untuk perkiraan yang tersisa adalah

Pemulusan eksponensial ($\alpha = 0,50$): MAD = 4,04

Pemulusan eksponensial yang disesuaikan ($\alpha = .50, \beta = .30$):
MAD = 3.81

Garis tren linier: MAD = 2.29

Ketika kita membandingkan keempat prakiraan, garis tren linier memiliki nilai MAD terendah, yaitu 2,29. Tampaknya itu yang paling akurat, meskipun secara visual terlihat signifikan lebih baik daripada perkiraan pemulusan eksponensial yang disesuaikan. Selanjutnya, kita dapat menyimpulkan dari nilai-

nilai MAD ini bahwa meningkatkan α dari .30 hingga .50 meningkatkan akurasi ramalan yang dihaluskan secara eksponensial. Perkiraan yang disesuaikan bahkan lebih akurat.

b) Mean absolute percent deviation (MAPD).

MAPD mengukur kesalahan absolut sebagai persentase permintaan daripada per periode. Hasilnya, ini menghilangkan masalah dalam menafsirkan ukuran akurasi relatif terhadap besarnya permintaan dan nilai perkiraan, seperti yang dilakukan MAD. Berikut adalah rumus yang digunakan:

$$MAPD = \frac{\sum |D_t - F_t|}{\sum D_t}$$

Menggunakan data perhitungan MAD sebelumnya, untuk perkiraan pemulusan eksponensial ($\alpha = .30$)

$$MAPD = \frac{53,41}{520} = 0,103 = 10,3\%$$

nilai MAPD yang lebih rendah menyiratkan perkiraan yang **lebih akurat**.

Nilai MAPD untuk tiga prakiraan kita lainnya adalah:

Pemulusan eksponensial ($\alpha = .50$): MAPD = 8.5%

Pemulusan eksponensial yang disesuaikan ($\alpha = .50, \beta = .30$):
MAPD = 8,1%

Garis tren linier: MAPD = 4,9%

c) Cumulative Error

dihitung dengan menjumlahkan kesalahan perkiraan, seperti yang ditunjukkan dalam rumus berikut:

$$E = \sum e_t$$

Kesalahan positif bernilai relatif besar ini untuk kesalahan kumulatif dan fakta bahwa kesalahan individu untuk setiap periode pada contoh di MAD adalah positif menunjukkan bahwa ini perkiraan sering di bawah permintaan aktual. Sekilas kembali ke plot perkiraan pemulusan eksponensial ($\alpha = 0,30$).

Kesalahan kumulatif untuk prakiraan lainnya adalah

Pemulusan eksponensial ($\alpha = 0,50$): $E = 33,21$

Pemulusan eksponensial yang disesuaikan ($\alpha = .50, \beta = .30$): $E = 21.14$

Kita tidak menunjukkan kesalahan kumulatif untuk garis tren linier. Hal tersebut dikarenakan E akan selalu mendekati nol untuk garis tren linier, sehingga bukan ukuran yang baik untuk perbandingan dasar dengan metode perkiraan lainnya.

Ukuran yang berkaitan erat dengan kesalahan kumulatif adalah kesalahan rata-rata.

d) *Mean Square Error (MSE)*

MSE menghitung eror dengan setiap nilai kesalahan individu dikuadratkan, dan kemudian nilai-nilai ini dijumlahkan dan dirata-ratakan. Kolom pada contoh perhitungan eror MAD menunjukkan jumlah kesalahan perkiraan kuadrat (yaitu, 376,04) untuk contoh perkiraan ($\alpha = 0,30$). MSE dihitung sebagai berikut:

$$MSE = \frac{376,04}{11} = 34,18$$

Seperti ukuran akurasi ramalan lainnya, **semakin kecil MSE, semakin baik.**

Hasilnya konsisten untuk keempat prakiraan, menunjukkan bahwa untuk data contoh, nilai yang lebih besar dari α lebih disukai untuk peramalan pemulusan eksponensial. Prakiraan yang disesuaikan lebih akurat daripada prakiraan pemulusan eksponensial, dan tren linier lebih akurat dari yang lainnya. Meskipun hasil ini adalah contoh spesifik, mereka menunjukkan bagaimana ukuran prakiraan yang berbeda untuk akurasi dapat digunakan untuk menyesuaikan metode peramalan atau memilih metode terbaik.

B.2 Metode Regresi

Teknik deret waktu pemulusan eksponensial dan rata-rata bergerak menghubungkan variabel tunggal yang diramalkan (seperti permintaan) dengan waktu. Sebaliknya, **regresi adalah teknik peramalan yang mengukur hubungan satu variabel dengan satu atau lebih variabel lainnya.** Misalnya, jika kita tahu bahwa sesuatu memiliki menyebabkan permintaan produk berperilaku dengan cara tertentu di masa lalu, kami mungkin ingin mengidentifikasi hubungan itu. Jika hal yang sama terjadi lagi di masa depan, kita bisa kemudian memprediksi apa permintaan akan. Misalnya, ada hubungan yang terkenal antara peningkatan permintaan perumahan baru dan tingkat suku bunga yang lebih rendah. Sejalan dengan itu, segudang produk dan layanan bangunan menunjukkan peningkatan permintaan jika perumahan baru mulai meningkat.

1) Regresi linier

Bentuk paling sederhana dari regresi adalah regresi linier, yang akan kita gunakan sebelumnya untuk mengembangkan garis tren linier untuk peramalan. Berikut ini bagian kami akan menunjukkan bagaimana mengembangkan model regresi untuk variabel yang terkait

dengan item selain waktu. Regresi linier sederhana menghubungkan satu variabel terikat dengan satu variabel bebas dalam bentuk persamaan linier:

$$Y = a + bx$$

Regresi linier menghubungkan permintaan (variabel dependen) dengan variabel independen. Untuk mengembangkan persamaan linier, kemiringan, b , dan titik potong, a , harus terlebih dahulu dihitung dengan menggunakan rumus kuadrat terkecil berikut:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \text{rata - rata nilai } x$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \text{rata - rata nilai } y$$

Departemen atletik ingin mengembangkan anggarannya untuk tahun mendatang, menggunakan perkiraan kehadiran sepak bola. Kehadiran sepak bola menyumbang porsi terbesar dari pendapatannya, dan direktur atletik percaya bahwa kehadiran secara langsung terkait dengan jumlah kemenangan tim. Manajer bisnis telah mengumpulkan total angka kehadiran tahunan selama 8 tahun terakhir:

Kemenangan	Kehadiran
4	36.300
6	40.100
6	41.200
8	53.000
6	44.000
7	45.600
5	39.000
7	47.500

Mengingat jumlah starter yang kembali dan keketatan jadwal, direktur atletik yakin tim akan memenangkan setidaknya tujuh pertandingan tahun depan. Dia ingin mengembangkan persamaan regresi sederhana untuk data ini guna meramalkan kehadiran untuk tingkat keberhasilan ini. Perhitungan yang diperlukan untuk menghitung a dan b, menggunakan rumus kuadrat terkecil, diringkas dalam sebagai berikut (Perhatikan bahwa besarnya y telah dikurangi untuk membuat perhitungan manual lebih mudah.):

x	y	Xy (dlm rb)	x ²
4	36.300	145,2	16
6	40.100	240,6	36
6	41.200	247,2	36
8	53.000	424,0	64
6	44.000	264,0	36
7	45.600	319,2	49
5	39.000	195,0	25
7	47.500	332,5	49
49	346.700	2.167,7	311

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{49}{8} = 6,125$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} = \frac{346,7}{8} = 43,34$$

$$b = \frac{2167 - ((8)(6,125)(43,34))}{311 - (8)6,125^2} = 4,06$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 43,34 - 4,06(6,125) = 18,46$$

$$Y = 18,46 + 4,06x$$

Jadi, untuk x = 7 (menang), ramalan kehadirannya adalah

$$y = 18,46 + 4,06(7) = 46,88 \text{ atau } 46.880$$

Jadi, untuk x = 7 (menang), ramalan kehadirannya adalah

$$y = 18,46 + 4,06(7) = 46,88 \text{ atau } 46.880$$

Jadi, untuk x = 7 (menang), ramalan kehadirannya adalah

$$y = 18,46 + 4,06(7) = 46,88 \text{ atau } 46.880$$

Mengamati garis regresi relatif terhadap titik data, akan tampak bahwa data mengikuti tren linier ke atas yang berbeda, yang akan menunjukkan bahwa perkiraan harus relatif akurat. Faktanya, nilai MAD untuk model peramalan ini adalah 1,41, yang menunjukkan perkiraan yang akurat.

2) Korelasi

Korelasi dalam persamaan regresi linier merupakan ukuran kekuatan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat. Rumus untuk koefisien korelasinya adalah

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Korelasi adalah ukuran kekuatan hubungan antara variabel independen dan dependen.

Nilai r bervariasi antara $-1,00$ dan $+1,00$, dengan nilai $\pm 1,00$ menunjukkan hubungan linier yang kuat antar variabel. Jika $r = 1,00$, maka terjadi peningkatan dalam variabel independen akan menghasilkan peningkatan linier yang sesuai pada variabel dependen. Jika $r = -1,00$, peningkatan variabel dependen akan menghasilkan dalam penurunan linier pada variabel dependen. Nilai r mendekati nol menyiratkan bahwa ada sedikit atau tidak ada hubungan linier antara variabel.

Kita dapat menentukan koefisien korelasi untuk persamaan regresi linier yang ditentukan dalam contoh sebelumnya dengan mengganti sebagian besar suku dihitung untuk rumus kuadrat terkecil (kecuali $\sum y^2$) ke dalam rumus untuk r :

$$r = \frac{8(2.167,7) - (49)(346,7)}{\sqrt{[8(311) - 49^2] [8(15.224,7) - 346,7^2]}} = 0,948$$

Nilai koefisien korelasi ini sangat dekat dengan satu, menunjukkan hubungan linier yang kuat antara jumlah kemenangan dan kehadiran di rumah. Ukuran lain dari kekuatan hubungan antar variabel dalam persamaan regresi linier adalah koefisien determinasi. Itu dihitung dengan hanya mengkuadratkan nilai r . Hal ini menunjukkan persentase variasi variabel dependen yang merupakan akibat dari perilaku independen variabel. Untuk contoh kita, $r = 0,948$; koefisien determinasinya adalah

$$r^2 = (0,948)^2 = 0,899$$

Koefisien determinasi adalah persentase variasi variabel dependen yang dihasilkan dari variabel independen. Nilai koefisien determinasi ini berarti bahwa 89,9% dari jumlah variasi kehadiran dapat dikaitkan dengan jumlah kemenangan tim. (dengan 10,1% sisanya karena faktor lain yang tidak dapat dijelaskan, seperti cuaca, awal yang baik atau buruk, publisitas, dll.). Nilai satu (atau 100%) akan menunjukkan bahwa kehadiran benar-benar tergantung pada kemenangan. Namun, karena 10,1% variasi merupakan hasil dari faktor lain, sejumlah kesalahan perkiraan dapat diperkirakan.

B.3 Peluang

Ketidakpastian berarti bahwa salah satu dari sejumlah hasil yang mungkin akan terjadi dan itu tidak mungkin untuk menyatakan, dengan pasti, yang mana dari hasil-hasil ini yang akan terjadi. Jumlah hasil yang mungkin mungkin kecil (misalnya jumlah kasus yang jarang terjadi) penyakit yang dapat dilaporkan pada tahun XX atau harga saham Microsoft di New York Stock Pertukaran akan naik sebesar $0, 1, 2, \dots, U$ sen atau akan turun sebesar $1, 2, 3, \dots, D$ sen besok, di mana U dan D adalah angka kecil, seperti 5 hingga

15 sen) atau mungkin besar (misalnya jumlah CD yang terjual dari rilisan terbaru oleh band terkenal). Dalam beberapa Misalnya, rentang hasil potensial atau teoretis mungkin sangat besar (missalnya waktu sampai gempa berikutnya di Paris, tidak terletak di wilayah rawan gempa).³⁹

Rentang hasil yang mungkin bahkan mungkin tidak dapat diketahui. Jika kita mengetahui kisaran hasil yang mungkin, hal terbaik yang dapat kita lakukan adalah membuat sebuah pernyataan numerik tentang kemungkinan masing-masing jika setiap hasil diskrit (misalnya jumlah kedatangan selama periode tertentu), atau bahwa hasilnya jatuh ke dalam interval tertentu jika hasilnya adalah bilangan real (misalnya waktu antara kedatangan berurutan).⁴⁰

Berikut ini contoh sederhana menyoroti **dua karakteristik fundamental** dari probabilitas.⁴¹

Pertama, peluang suatu kejadian selalu lebih besar atau sama dengan nol dan kurang dari atau sama dengan satu [yaitu, $0 \leq P(\text{peristiwa}) \leq 1,0$]. Dalam contoh pelemparan koin kami, setiap peristiwa memiliki probabilitas 0,50, yang berada dalam kisaran 0 hingga 1,0.

Kedua, probabilitas semua peristiwa yang termasuk dalam eksperimen harus berjumlah satu. Perhatikan dalam contoh kita bahwa peluang masing-masing dari dua kejadian adalah 0,50, dan jumlah dari kedua probabilitas ini adalah 1,0.

Dua dasar probabilitas: **$0 \leq P(\text{kejadian}) \leq 1,0$** , dan probabilitas semua kejadian dalam eksperimen **berjumlah satu**.

Contoh spesifik pelemparan koin juga menunjukkan karakteristik ketiga: Peristiwa dalam serangkaian peristiwa saling eksklusif. Peristiwa

³⁹ Dixon, W. J., dan Massey, F. J. (1983). *Introduction to Statistical Analysis*. New York: McGraw-Hill.

⁴⁰ Wright, G. dan Ayton, P. (1994) *Subjective Probability*. Chichester: Wiley.

⁴¹ Hays, W. L., dan Winkler, R. L. (1975). *Statistics: Probability, Inference, and Decision*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

dalam percobaan saling eksklusif jika hanya salah satu dari mereka dapat terjadi pada suatu waktu. Dalam konteks percobaan kami, istilah saling eksklusif berarti bahwa setiap saat koin itu dilempar, hanya satu dari dua peristiwa yang dapat terjadi baik kepala atau ekor dapat terjadi, tetapi tidak keduanya. Pertimbangkan seorang pelanggan yang memasuki toko untuk berbelanja sepatu. Manajer toko memperkirakan bahwa ada probabilitas 0,60 bahwa pelanggan akan membeli sepasang sepatu dan probabilitas 0,40 bahwa pelanggan tidak akan membeli sepasang sepatu. Kedua peristiwa ini saling eksklusif karena tidak mungkin membeli sepatu dan tidak membeli sepatu secara bersamaan. Secara umum, peristiwa saling eksklusif jika hanya salah satu peristiwa yang dapat terjadi, tetapi tidak keduanya. Peristiwa dalam eksperimen saling eksklusif jika hanya satu yang dapat terjadi pada suatu waktu.

Probabilitas yang diatur menurut kejadian dalam percobaan, disebut **distribusi frekuensi**. Daftar probabilitas yang sesuai untuk masing-masing peristiwa di kolom terakhir disebut sebagai distribusi probabilitas. **Distribusi frekuensi** adalah organisasi data numerik tentang peristiwa dalam percobaan. Semua kejadian dalam contoh ini saling eksklusif; tidak mungkin dua atau lebih peristiwa ini terjadi pada waktu yang bersamaan. Siswa hanya dapat membuat satu nilai dalam kursus, bukan dua atau lebih nilai. Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, probabilitas yang saling eksklusif dari suatu eksperimen dapat dijumlahkan menjadi sama dengan satu. Ada lima kejadian yang saling lepas dalam eksperimen ini, probabilitasnya (.10, .20, .50, .15, dan .05) berjumlah satu.

Aset peristiwa secara kolektif lengkap bila mencakup semua peristiwa yang dapat terjadi dalam percobaan. Probabilitas suatu peristiwa tunggal yang terjadi, seperti seorang siswa menerima nilai A dalam suatu mata kuliah, direpresentasikan secara simbolis sebagai $P(A)$. Probabilitas ini disebut

probabilitas marjinal dalam terminologi probabilitas. Untuk contoh kita, probabilitas marjinal seorang siswa mendapatkan ilmu manajemen Ain adalah **Probabilitas marjinal** adalah probabilitas dari satu peristiwa yang terjadi.

Jika $P(A) = .10$

Untuk kejadian yang saling lepas, mungkin untuk menentukan probabilitas bahwa satu atau yang lain dari beberapa kejadian akan terjadi. Hal ini dilakukan dengan menjumlahkan probabilitas marjinal individu dari peristiwa. Misalnya, probabilitas seorang siswa menerima A atau B ditentukan sebagai berikut:

$$P(A \text{ atau } B) = P(A) + P(B) = .10 + .20 = .30$$

Dengan kata lain, 300 siswa menerima A dan 600 siswa menerima B; jadi, jumlah siswa yang menerima A atau a B adalah 900. Membagi 900 siswa yang menerima A atau a B dengan jumlah siswa, 3.000, menghasilkan probabilitas seorang siswa menerima A atau B [yaitu, $P(A \text{ atau } B) = 0,30$].

Sekarang mari kita pertimbangkan kasus di mana dua peristiwa tidak saling eksklusif. Dalam hal ini peluang terjadinya A atau B atau keduanya dinyatakan sebagai

$$P(A \text{ atau } B) = P(A) + P(B) - P(AB)$$

di mana istilah $P(AB)$, yang disebut sebagai peluang gabungan A dan B, adalah peluang bahwa A dan B akan terjadi. Untuk kejadian yang saling lepas, istilah ini harus sama dengan nol karena kedua peristiwa tidak dapat terjadi bersama-sama. Jadi, untuk peristiwa yang saling eksklusif, rumus kita akan menjadi

Probabilitas gabungan adalah probabilitas bahwa dua atau lebih peristiwa yang tidak saling eksklusif dapat terjadi secara bersamaan.⁴²

⁴² Mendenhall, W., Reinmuth, J. E., Beaver, R., dan Duhan, D. (1986). *Statistics for Management and Economics*. North Scituate, MA: Duxbury Press.

Statistik Independen dan dependen

Secara statistik, peristiwa adalah independen atau dependen. Jika terjadinya suatu peristiwa tidak mempengaruhi peluang terjadinya peristiwa lain, maka peristiwa bersifat mandiri / independen. Sebaliknya, jika terjadinya suatu peristiwa mempengaruhi probabilitas terjadinya peristiwa lain, maka peristiwa tersebut dependen. Kami pertama-tama akan mengalihkan perhatian kami ke diskusi tentang peristiwa independen.

1) Kejadian Independen

Ketika kita melempar sebuah koin, dua kejadian yang mendapatkan kepala dan mendapatkan ekor adalah independen. Jika kita mendapatkan kepala pada lemparan pertama, hasil ini sama sekali tidak berpengaruh pada peluang mendapatkan kepala atau ekor pada lemparan berikutnya. Probabilitas mendapatkan kepala atau ekor akan tetap 0,50, terlepas dari hasil lemparan sebelumnya. Dengan kata lain, kedua peristiwa tersebut merupakan peristiwa yang berdiri sendiri. Urutan kejadian yang tidak saling mempengaruhi adalah kejadian yang berdiri sendiri.

Ketika kejadian-kejadian saling bebas, adalah mungkin untuk menentukan peluang dari kedua kejadian yang terjadi secara berurutan dengan mengalikan peluang dari setiap kejadian. Misalnya, berapa peluang mendapatkan kepala pada lemparan pertama dan ekor pada lemparan kedua? Jawabannya adalah

$$P(HT) = P(H) \times P(T)$$

di mana

$$P(H) = \text{probabilitas kepala}$$

$$P(T) = \text{peluang munculnya ekor}$$

$$P(HT) = \text{peluang gabungan kepala dan sebuah ekor}$$

$$\text{Karena itu, } P(HT) = P(H) \times P(T) = (.5)(.5) = .25$$

Probabilitas kejadian independen yang terjadi secara berurutan dihitung dengan mengalikan probabilitas setiap kejadian. Seperti yang kita tunjukkan sebelumnya, probabilitas dari kedua peristiwa yang terjadi, $P(HT)$, disebut sebagai **probabilitas gabungan**.

a) Probabilitas bersyarat

Properti lain dari peristiwa independen berhubungan dengan probabilitas bersyarat. Probabilitas bersyarat adalah probabilitas bahwa peristiwa A akan terjadi mengingat peristiwa itu B sudah terjadi. Hubungan ini dinyatakan secara simbolis sebagai Probabilitas bersyarat adalah probabilitas bahwa suatu peristiwa akan terjadi, mengingat bahwa peristiwa lain telah terjadi.

$$P(A|B)$$

Istilah dalam tanda kurung, "slash B," berarti "A, mengingat terjadinya B." Jadi, seluruh suku $P(A|B)$ diinterpretasikan sebagai peluang A akan terjadi, jika diberikan bahwa B telah terjadi. Jika A dan B adalah kejadian bebas, maka

$$P(A|B) = P(A)$$

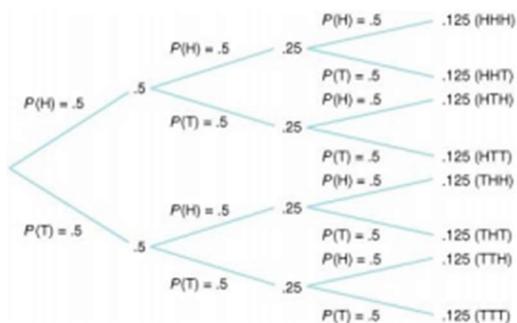
Dengan kata lain, hasil ini mengatakan bahwa jika A dan B saling bebas, maka peluang A, mengingat terjadinya peristiwa B, sama dengan peluang A. Karena peristiwa-peristiwa itu saling bebas, terjadinya peristiwa B akan tidak berpengaruh pada terjadinya A. Oleh karena itu, probabilitas A sama sekali tidak bergantung pada terjadinya B.

Singkatnya, jika peristiwa A dan B independen, dua properti berikut berlaku:

$$1. P(AB) = P(A) \times P(B)$$

$$2. P(A|B) = P(A)$$

b) Pohon Probabilitas



Gambar 6.6 Pohon Probabilitas dari Pelemparan Koin

Pohon probabilitas pada Gambar diatas menunjukkan probabilitas dari berbagai kejadian, diberikan tiga lemparan koin. Perhatikan bahwa pada setiap pelemparan, probabilitas terjadinya salah satu peristiwa tetap sama: $P(H) = P(T) = ,5$. Dengan demikian, peristiwa itu independen. Selanjutnya, probabilitas gabungan dari peristiwa yang terjadi di suksepsi dihitung dengan mengalikan probabilitas semua kejadian. Misalnya, peluang mendapatkan kepala pada lemparan pertama, ekor pada pelemparan kedua, dan ekor pada yang ketiga adalah 0,125:

$$P(HTT) = P(H) \times P(T) \times P(T) = (.5)(.5)(.5) = .125$$

Namun, jangan bingung hasil di pohon probabilitas dengan probabilitas bersyarat. Peluang munculnya satu kepala dan kemudian dua ekor muncul pada tiga lemparan berturut-turut dihitung sebelum lemparan terjadi. Jika dua lemparan pertama sudah terjadi, peluang mendapatkan ekor pada lemparan ketiga adalah masih ,5:

$$P(T|HT) = P(T) = ,5$$

c) Distribusi Binomial

Beberapa informasi tambahan dapat diambil dari pohon probabilitas dari contoh kita. Misalnya, berapa probabilitas mencapai tepat dua ekor pada tiga melempar? Jawabannya dapat ditemukan dengan mengamati contoh di mana dua ekor terjadi. Dapat dilihat bahwa dua ekor dalam tiga kali lemparan terjadi tiga kali, setiap kali dengan probabilitas 0,125. Jadi, peluang mendapatkan tepat dua ekor dalam tiga kali pelemparan adalah jumlah dari ketiga peluang ini, atau 0,375. Penggunaan pohon probabilitas bisa menjadi sangat rumit, terutama jika kita mempertimbangkan contoh dengan 20 lemparan. Namun, contoh melempar koin menunjukkan properti tertentu yang memungkinkan kita untuk mendefinisikannya sebagai proses Bernoulli.

Sifat-sifat proses Bernoulli adalah sebagai berikut:

- i. Ada dua kemungkinan hasil untuk setiap percobaan (yaitu, setiap lemparan koin). Hasil bisa sukses atau gagal, ya atau tidak, kepala atau ekor, baik atau buruk, dan segera.
- ii. Probabilitas hasil tetap konstan dari waktu ke waktu. Dengan kata lain, kemungkinan mendapatkan kepala pada lemparan koin tetap sama, terlepas dari itu dari jumlah lemparan.
- iii. Hasil dari uji coba adalah independen. Fakta bahwa kita mendapatkan keunggulan pada lemparan pertama tidak mempengaruhi probabilitas pada lemparan berikutnya.
- iv. Jumlah percobaan adalah diskrit dan bilangan bulat. Istilah diskrit menunjukkan nilai yang dapat dihitung dan, dengan demikian, biasanya bilangan bulat misalnya, 1 mobil atau 2 orang daripada 1,34 mobil atau 2,51 orang. Ada 1, 2, 3, 4, 5, ... lemparan koin, bukan 3,36 lemparan.

Mengingat sifat-sifat proses Bernoulli, fungsi distribusi binomial dapat digunakan untuk menentukan probabilitas sejumlah keberhasilan dalam n percobaan. **Distribusi binomial** adalah contoh dari distribusi diskrit karena nilai distribusi (jumlah keberhasilan) adalah diskrit, seperti jumlah percobaan. Rumus untuk distribusi binomial adalah

$$P(r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r q^{n-r}$$

p = peluang sukses

$q = 1 - p$ = probabilitas kegagalan

n = jumlah percobaan

r = jumlah keberhasilan dalam n percobaan

2) Kejadian Dependen

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, jika terjadinya satu peristiwa mempengaruhi kemungkinan terjadinya peristiwa lain, peristiwa tersebut adalah peristiwa dependen. Pengikut contoh mengilustrasikan peristiwa yang bergantung.

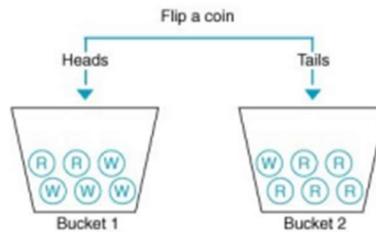
Dua ember masing-masing berisi sejumlah bola berwarna. Keranjang 1 berisi dua bola merah dan empat bola putih, dan ember 2 berisi satu bola biru dan lima bola merah bola. Sebuah koin dilempar. Jika hasil kepala, bola ditarik keluar dari ember 1. Jika hasil ekor, bola diambil dari ember 2.

n contoh ini peluang terambilnya bola biru jelas tergantung pada apakah muncul kepala atau ekor pada lemparan koin. Jika ada ekor, ada $1/6$ peluang terambilnya bola biru dari ember 2. Namun, jika hasil head, tidak ada kemungkinan terambilnya bola biru dari ember 1. Dengan kata lain, peluang kejadian "mengambil bola biru" tergantung pada kejadian "melempar koin".

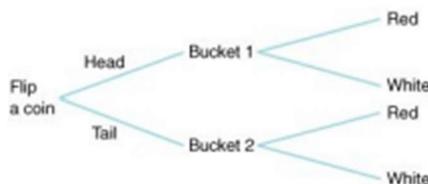
Seperti peristiwa independen secara statistik, peristiwa dependen menunjukkan sifat-sifat tertentu yang menentukan. Untuk menggambarkan properti ini, kami akan mengubah sebelumnya contoh sedikit, sehingga ember 2 berisi satu bola putih dan lima bola merah. Contoh baru kami ditunjukkan pada Gambar 6.7. Hasil yang dapat dihasilkan dari peristiwa yang diilustrasikan pada Gambar 6.7 ditunjukkan pada Gambar 6.8. Ketika koin dibalik, salah satu dari dua hasil yang mungkin, kepala atau ekor. Kemungkinan mendapatkan kepala adalah 0,50, dan probabilitas mendapatkan ekor adalah 0,50:

$$P(H) = .50$$

$$P(T) = .50$$



Gambar 6.7 Peluang Lemparan Koin



Gambar 6.8 Digaram Pohon Peluang Lemparan

Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, probabilitas ini disebut sebagai probabilitas marjinal. Mereka juga probabilitas tanpa syarat karena mereka adalah probabilitas terjadinya satu peristiwa dan tidak bergantung pada terjadinya peristiwa lain. Mereka sama dengan probabilitas peristiwa independen yang didefinisikan sebelumnya, dan

seperti peristiwa independen, probabilitas marginal dari serangkaian peristiwa yang lengkap secara kolektif berjumlah satu.

Setelah koin dilempar dan menghasilkan kepala atau ekor, sebuah bola diambil dari salah satu ember. Jika hasil kepala, sebuah bola diambil dari ember 1; ada $\frac{2}{6}$, atau 0,33, peluang terambilnya bola merah dan $\frac{4}{6}$, atau 0,67 peluang terambilnya bola putih. Jika sebuah ekor dihasilkan, sebuah bola diambil dari ember 2; ada $\frac{5}{6}$, atau ,83, peluang terambilnya bola merah dan $\frac{1}{6}$, atau ,17, peluang terambilnya bola putih. Peluang terambilnya bola merah atau putih disebut probabilitas bersyarat karena mereka bergantung pada hasil dari peristiwa pelemparan koin. Secara simbolis, probabilitas bersyarat ini dinyatakan sebagai berikut:

Suku pertama, yang dapat dinyatakan secara lisan sebagai "peluang terambilnya bola merah, jika kepala dihasilkan dari lemparan koin", sama dengan $\frac{1}{3}$.

Suku probabilitas bersyarat dinyatakan dengan cara yang sama. Probabilitas bersyarat juga dapat didefinisikan dengan hubungan matematis berikut. Diberikan dua kejadian dependen A dan B, istilah $P(AB)$ adalah probabilitas gabungan dari dua peristiwa, seperti yang disebutkan sebelumnya. Hubungan ini dapat dimanipulasi dengan mengalikan kedua ruas dengan $P(B)$, untuk menghasilkan

$$P(A|B) \times P(B) = P(AB)$$

Dengan demikian, probabilitas gabungan dapat ditentukan dengan mengalikan probabilitas bersyarat A dengan probabilitas marginal B. Ingat dari diskusi kita sebelumnya tentang peristiwa independen bahwa $P(AB) = P(A) \times P(B)$

Mengganti hasil ini ke dalam hubungan untuk menghasilkan probabilitas bersyarat.

$$P(A | B) = P(A) \times P(B) : P(B) = P(A)$$

C. Kriteria Keputusan didalam Ketidakpastian

Sebagian besar pembuat keputusan lebih suka membuat keputusan di bawah kepastian daripada di bawah ketidakpastian. Semakin tinggi ketidakpastian, semakin tinggi ketidaknyamanan dan kecemasan pengambil keputusan. Oleh karena itu tidak mengherankan bahwa upaya substansial dilakukan untuk menciptakan pengambilan keputusan struktur yang mengurangi atau menghindari ketidakpastian. Berikut ini pendekatan yang dapat dilakukan:⁴³

1) Mengumpulkan lebih banyak informasi.

Pendekatan yang jelas untuk mengurangi ketidakpastian adalah dengan mengumpulkan lebih banyak informasi, dan karenanya meningkatkan prediksi kami, baik itu dalam hal perkiraan nilai tunggal atau probabilitas distribusi. Misalnya, sebuah perusahaan telah mengalami pertumbuhan yang stabil untuk salah satu lini produk selama 18 bulan terakhir. Jika tren ini berlanjut, penjualan akan meningkat sebesar 40% lainnya selama tahun depan. Fasilitas produksi yang ada sekarang dikenakan pajak untuk batas. Investasi besar dalam pabrik dan peralatan baru diperlukan untuk meningkatkan dia. Namun, ada ketidakpastian yang cukup besar tentang potensi jangka panjang untuk ini lini produk. Akankah tren pertumbuhan dipertahankan, dan jika demikian, untuk berapa lama lagi? Menghadapi situasi seperti itu, sebagian besar perusahaan akan melakukan pasar yang komprehensif

⁴³ Tversky, A. dan Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases. *Science*. Vol. 185, Sept., pp. 1124–31.

Mengumpulkan lebih banyak informasi mahal dan memakan waktu. Ini hanya dibenarkan jika informasi baru yang diperoleh mengurangi ketidakpastian dan mengarah pada keputusan yang lebih baik.

Seringkali kondisi untuk menerapkan analisis ini tidak terpenuhi atau analisisnya tidak memuaskan terlalu kompleks. Pada saat itu, itu adalah naluri kreatif alami kita, lebih sering disebut sebagai firasat, yang akan menuntun kita untuk mendapatkan lebih banyak informasi atau puas dengan apa yang kita miliki. Jika informasinya mudah dan relatif murah didapat dan kami menilai itu itu mungkin membawa peningkatan yang cukup besar dalam proses pengambilan keputusan — atau setidaknya mengurangi kecemasan kami tentang hal itu — kami mengumpulkan informasi tambahan adalah suatu kepeperluan.

2) Analisis sensitivitas

Pendekatan kedua adalah memastikan betapa pentingnya mendapatkan informasi yang akurat tentang kejadian yang tidak pasti. Analisis sensitivitas datang untuk menyelamatkan. Kita secara sistematis mengevaluasi rentang nilai apa untuk parameter yang tidak pasti keputusan terbaik tetap sama seperti untuk perkiraan yang digunakan untuk menurunkannya. Jika rentang itu kecil, maka ini dapat menjadi insentif untuk memperoleh informasi yang lebih akurat. Jika jangkauannya adalah lebar dan kami merasa cukup yakin bahwa nilai sebenarnya dari parameter yang tidak pasti terletak baik dalam kisaran itu, tidak ada yang akan diperoleh dengan menghabiskan waktu dan dana untuk menjadi lebih baik informasi.

3) Menjaga opsi tetap terbuka

Pendekatan ketiga adalah memilih strategi keputusan yang menutup pintu paling sedikit untuk tindakan masa depan. Dengan kata lain,

setiap tindakan yang mengikat kita dengan kuat ke arah tertentu dan menghilangkan sejumlah besar kemungkinan tindakan di masa depan dapat dihindari atau ditunda sampai informasi yang lebih banyak dan lebih baik tersedia. Secara alami, banyak keputusan akan mempersempit pilihan masa depan. Ini adalah masalah menemukan keseimbangan yang baik antara memaksimalkan manfaat dari tindakan yang akan dipilih dan menjaga pilihan terbuka — versi masalah abadi dalam pengambilan keputusan, yaitu menyeimbangkan manfaat terhadap biaya, yang keduanya tidak dapat sepenuhnya dinyatakan dalam numerik istilah saja.

4) Membuat opsi masa depan

Dikarenakan menjaga opsi tetap terbuka, mungkin disarankan secara strategis untuk mengambil tindakan yang menciptakan opsi masa depan baru. Misalnya, perusahaan yang berlokasi di area pertumbuhan di mana lahan yang sesuai menjadi langka dapat memutuskan untuk membeli lokasi sekarang untuk mengantisipasi kemungkinan perluasan fasilitas produksi di masa depan, meskipun tidak ada keputusan atau bahkan perencanaan eksplorasi telah dibuat pada saat pembelian. Sederhananya dengan menciptakan pilihan baru untuk masa depan. Jika tidak ada ekspansi yang dilakukan dalam waktu 5 sampai 10 tahun, tanah bisa dijual lagi — semoga mendapat untung besar. Demikian pula, perusahaan yang berinvestasi besar-besaran dalam penelitian jelas melakukan ini untuk mengantisipasi membuka opsi masa depan baru, yaitu produk baru.

5) Analisis skenario

Organisasi selalu harus merencanakan acara di masa depan yang jauh dan sering menghadapi tantangan lingkungan yang sangat bergejolak

dalam hal potensi perubahan teknologi, potensi bergerak oleh pesaing atau musuh, atau ketidakpastian yang tinggi mengenai ekonomi masa depan iklim. Daripada mempertimbangkan hanya satu kemungkinan masa depan yang mencoba mengakomodasi variabilitas dan ketidakpastian yang terlibat dalam semua faktor, mungkin lebih efektif dan berwawasan luas untuk mempertimbangkan beberapa kemungkinan masa depan atau skenario. Meskipun sebuah organisasi menghadapi kemungkinan masa depan yang tak terbatas, jumlah skenario yang berbeda dieksplorasi jarang lebih dari tiga atau empat. Setiap skenario membuat asumsi tertentu tentang faktor-faktor penting yang mendorong apa yang mungkin terjadi di masa depan; dengan kata lain, masing-masing membuat penilaian batas yang berbeda, biasanya berkaitan dengan lingkungan sistem. Penting bahwa penilaian batas ini secara jelas diidentifikasi dan dibenarkan sebagai wajar. Skenario tidak boleh menyertakan pilihan keputusan dan kemungkinan tanggapan lingkungan untuk pilihan tersebut. Itu harus menjadi bagian dari analisis selanjutnya setelah skenario dikembangkan.

D. *Highlight* Ketidakpastian

Berikut ini kesimpulan tentang ketidakpastian:

- a) Beberapa hal di dunia nyata diketahui dengan pasti. Deterministik model sering kali merupakan pendekatan penyederhanaan yang nyaman. Ketidakpastian mengakibatkan jenis baru dari perilaku sistem.
- b) Ekspresi dalam bahasa sehari-hari tentang ketidakpastian rentan terhadap ambiguitas. Ini dapat menyebabkan kesalahpahaman tentang makna yang dimaksudkan.

- c) Ketidakpastian memiliki tiga penyebab utama: pemahaman yang tidak memadai tentang fenomena tersebut, informasi berdasarkan sampel dari populasi yang tidak diketahui, dan pengukuran kesalahan.
- d) Tingkat ketidakpastian dapat berkisar dari ketidaktahuan yang hampir sepenuhnya tentang fenomena ke prinsip-prinsip yang dipahami dengan baik tentang hal itu atau dapat diandalkan dan luas pengamatan kejadian masa lalu.
- e) Sebagian besar pengambilan keputusan bergantung pada informasi yang baik tentang masa depan acara. Metode untuk memprediksi masa depan terbagi dalam lima kelompok: **ketekunan prediksi, prediksi tren, prediksi siklik, prediksi asosiatif, dan prediksi berdasarkan penilaian ahli**. Prediksi biasanya didasarkan pada masa lalu perilaku. Oleh karena itu, semua metode mengasumsikan pada tingkat yang lebih kecil atau lebih besar bahwa masa lalu adalah peramal yang baik untuk masa depan.
- f) Probabilitas objektif dapat diartikan sebagai frekuensi berbagai (biasanya berulang) peristiwa yang terjadi dalam jangka panjang. Probabilitas subyektif mengungkapkan seseorang kekuatan keyakinan akan terjadinya berbagai (biasanya unik) peristiwa.
- g) Penelitian perilaku menunjukkan bahwa kita cenderung menggunakan heuristik penyederhanaan saat membuat penilaian tentang peristiwa yang tidak pasti. Ini rentan terhadap bias dan kesalahan sistematis, seperti stereotip, mengabaikan ukuran sampel, mengabaikan regresi ke mean, menurunkan perkiraan berdasarkan kemudahan mengambil contoh acara, berlabuh ke kerangka awal, kekeliruan penjudi, dan angan-angan, yang semuanya dipengaruhi oleh ketidakmampuan kita untuk mempertimbangkan lebih dari beberapa aspek atau dimensi dari fenomena apapun atau situasi pada saat yang bersamaan.

- h) Distribusi probabilitas teoretis tertentu, seperti Poisson dan Normal, cenderung mendekati banyak fenomena dalam kehidupan nyata.
- i) Sebagian besar pengambilan keputusan berkaitan dengan menangani atau mengurangi ketidakpastian atau efek ketidakpastian, seperti mengumpulkan lebih banyak informasi, melakukan analisis sensitivitas sehubungan dengan aspek yang tidak pasti, mengeksplorasi lebih dari satu kemungkinan masa depan melalui analisis skenario, dan memilih keputusan yang tetap terbuka atau membuat pilihan masa depan yang baru.
- j) Kriteria keputusan untuk memilih opsi terbaik perlu mencerminkan tingkat ketidakpastian. Untuk keputusan tipe berulang, memaksimalkan atau meminimalkan yang diharapkan nilai hasil yang paling tepat. Argumen teoretis menunjukkan bahwa genap untuk penawaran unik atau sekali pakai, ini tetap menjadi kriteria yang sesuai, tetapi interpretasi perubahan nilai yang diharapkan. Namun, untuk keputusan yang dapat mengarah untuk hasil yang sangat merugikan, mis. kerugian moneter yang besar, bencana lingkungan, atau cedera serius dan kehilangan nyawa, jenis kriteria keputusan lain yang menawarkan perlindungan tambahan mungkin lebih tepat.

E. Studi Kasus

Berikut ini adalah studi kasus untuk pengaplikasian dari ketidakpastian:

- 1) Bayangkan Anda bertanggung jawab atas sebuah organisasi (bisnis, sekolah, klub olahraga atau pemerintah). Berikan contoh untuk masing-masing heuristik berikut yang mungkin Anda gunakan untuk berbagai peristiwa tidak pasti yang mungkin Anda hadapi, seperti: mengabaikan ukuran sampel, membuat penilaian berdasarkan pengamatan tunggal, kemudahan mengingat contoh (berdasarkan

peristiwa masa lalu), kesulitan mengingat contoh, kemudahan membayangkan situasi di mana peristiwa itu terjadi, kesulitan membayangkan situasi di mana peristiwa itu mungkin terjadi, penyesuaian yang tidak memadai karena penahan, terlalu percaya diri, atau mungkin hal lain yang dapat terjadi.

2) Untuk setiap situasi yang dijelaskan di bawah ini, tunjukkan satu atau lebih pendekatan yang mungkin untuk menangani atau mengurangi ketidakpastian dan mengapa masing-masing merupakan pendekatan yang masuk akal:

(a) Sebuah perusahaan memiliki data rinci yang tersedia dari penjualannya, berdasarkan dokumen pengiriman untuk masing-masing transaksi penjualan. Namun, karena berbagai alasan (pemogokan pemasok dan keterlambatan pengiriman, kerusakan mesin, dll.) sejumlah besar pesanan dari pelanggan tidak dapat bertemu. Karena kehilangan penjualan ini, ukuran permintaan sebenarnya tidak diketahui.

(b) Sebuah perusahaan menghadapi dilema apakah harus berinvestasi dalam ekspansi yang mahal atau tidak fasilitas penelitian produknya. Ada bukti desas-desus bahwa kompetisi itu mempertimbangkan tindakan serupa. Kemajuan pesat baru-baru ini dalam teknologi yang relevan untuk keduanya penelitian dan produksi telah menciptakan ketidakpastian tambahan mengenai apakah tren ini akan berlanjut, dalam hal ini ekspansi prematur dapat mengunci perusahaan pada tingkat teknologi yang mungkin akan segera menjadi usang. Di sisi lain, pengalaman juga menunjukkan bahwa kemajuan teknologi cenderung melalui siklus aktivitas yang tinggi dan stagnasi.

- 3) Proses kontrol kualitas di pabrik manufaktur mengharuskan setiap lot unit jadi diambil sampelnya untuk item yang cacat. Dua puluh unit dari masing-masing banyak diperiksa. Jika ditemukan lima atau lebih unit yang rusak, lot ditolak. Jika suatu lot diketahui mengandung 10% barang cacat, berapa peluangnya? bahwa lot akan ditolak? Atau diterima?
- 4) Perusahaan manufaktur memiliki 10 mesin yang beroperasi terus menerus selama satu hari kerja. Probabilitas bahwa satu mesin akan rusak siang hari adalah 0,10. Tentukan probabilitas bahwa selama hari tertentu 3 mesin akan rusak.
- 5) Pemilik stasiun servis menjual ban, yang dipesan dari distributor ban lokal. Distributor menerima ban dari dua pabrik, A dan B. Ketika pemilik bengkel menerima pesanan dari distributor, ada kemungkinan 0,50 pesanan tersebut terdiri dari ban dari pabrik A atau pabrik B. Namun, distributor tidak akan memberi tahu pemilik dari pabrik mana ban tersebut berasal. Pemilik mengetahui bahwa 20% dari semua ban yang diproduksi di pabrik A rusak, sedangkan hanya 10% dari ban yang diproduksi di pabrik B rusak. Ketika pesanan tiba di stasiun, pemilik diizinkan untuk memeriksanya secara singkat. Pemilik mengambil kesempatan ini untuk memeriksa satu ban untuk melihat apakah itu rusak. Jika pemilik yakin ban tersebut berasal dari pabrik A, maka pesanan akan dikirim kembali. Dengan menggunakan aturan Bayes, tentukan peluang posterior bahwa sebuah ban berasal dari pabrik A, jika pemilik menemukan bahwa ban tersebut berasal dari pabrik A.

BAB 7

PENGAMBILAN KEPUTUSAN DENGAN BATASAN

Tujuan Pembelajaran

Dengan mempelajari materi pada Bab ini, Saudara diharapkan mampu untuk:

- a. Memahami konsep konstrain dalam manajemen sains.
- b. Mengetahui dan memahami berbagai konstrain dalam pengambilan keputusan dari sudut pandang manajemen sains.
- c. Mengetahui dan memahami konsep aplikasi multiple konstrain / linier programming.

Pada penjelasan bab sebelumnya, pengambilan keputusan atas masalah tidak melibatkan pembatasan / konstrain kuantitatif pada variabel keputusan atau alternatif kombinasi tindakan yang dapat dilakukan. Dalam bab ini kita akan melihat pengaruh pembatasan / konstrain pada pilihan keputusan atau pada perilaku sistem. Pembatasan / konstrain tersebut dapat berupa keterbatasan sumber daya, seperti dana, kapasitas mesin, dan sebagainya, atau bentuk kondisi lain, seperti persyaratan output minimum, kualitas standar minimum, atau hubungan tetap antar aktivitas produksi. Beberapa pembatasan / konstrain mungkin fisik, seperti kapasitas produksi mesin maksimum — yang disebut batasan keras. Atau mungkin merupakan hasil dari keputusan manajemen atau kebijakan — yang disebut batasan lunak, seperti pembudjetan iklan untuk pemasaran, jumlah rekrut pegawai baru, dsb.

A. Pemrograman Linier

Pemrograman Linier lahir tahun 1940-an, digagas oleh Departemen Pertahanan Inggris dan Amerika untuk menjawab masalah optimisasi perencanaan operasi perang melawan Jerman dalam Perang Dunia ke-II dan dikembangkan oleh Dantzig (1947).

Pemrograman linear merupakan salah satu metode menyelesaikan permasalahan yang memiliki beberapa konstrain dengan tujuan optimasi (maksimum atau minimum) dengan menggunakan persamaan dan pertidaksamaan linear.⁴⁴ Fungsi yang dimaksud adalah suatu aturan padanan yang menghubungkan setiap obyek x dalam satu himpunan, yang disebut daerah asal, dengan sebuah nilai tunggal $f(x)$ dari suatu himpunan kedua, himpunan nilai yang diperoleh secara demikian disebut daerah hasil fungsi.⁴⁵

Pemrograman linear juga dapat disebut sebagai metode matematis yang berbentuk linear untuk menentukan suatu penyelesaian optimal dengan cara memaksimumkan atau meminimumkan fungsi tujuan terhadap suatu susunan kendala.⁴⁶ Secara keseluruhan, berdasarkan definisi maka tujuan pemrograman linear adalah memecahkan persoalan memaksimumkan atau meminimumkan untuk mendapatkan penyelesaian yang optimal.

Setidaknya terdapat empat unsur yang menyusun pemrograman linear:

- a. Variabel keputusan yaitu variabel yang mempengaruhi nilai tujuan.

Pada proses pembentukan suatu model, menentukan variabel

⁴⁴ Supranto, Johannes. (2006). *Riset Operasi, Untuk Pengambilan Keputusan*. Jakarta: Universitas Indonesia hal 43.

⁴⁵ Varberg, D., Purcell, E. J., dan Rigdon, S. E. (2011). *Kalkulus Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga, hal 57

⁴⁶ Siswanto. (2007). *Pengantar Manajemen*. Jakarta: PT. Bumi Aksara, Hal. 26

keputusan merupakan langkah pertama sebelum menentukan fungsi tujuan dan fungsi kendala.

- b. Fungsi tujuan yang berbentuk fungsi linear. Selanjutnya, fungsi tujuan tersebut dimaksimalkan atau diminimalkan terhadap fungsi -fungsi kendala yang ada.

Biasa dinotasikan $Z =$ Fungsi maksimasi / minimasi.

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_jx_j \dots\dots\dots 7.1$$

- c. Fungsi kendala yaitu suatu fungsi yang digunakan sebagai pembatas terhadap variabel-variabel keputusan. Fungsi kendala juga dipersyaratkan berupa fungsi linear.

Biasa dinotasikan dengan Fungsi batasan syarat ($\leq, =, \geq$)

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq / \geq b_1 \dots\dots\dots 7.2$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq / \geq b_2 \dots\dots\dots 7.3$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{ij}x_j \leq / \geq b_i \dots\dots\dots 7.4$$

- d. Fungsi non-*negative*, yaitu fungsi yang menyatakan bahwa setiap variabel yang terdapat di dalam model pemrograman linear tidak boleh negatif. Secara matematis ditulis sebagai $x_1, x_2, \dots, x_j \geq 0$

Keterangan:

x_j : variabel keputusan ke-j/ banyaknya produk ke-j ($j = 1, 2, \dots, n$)

b_i : suku tetap / bahan mentah jenis ke-i yang tersedia ($i = 1, 2, \dots, m$)

a_{ij} : koefisien kendala /bahan mentah ke-i yang digunakan untuk memproduksi satu unit produk j

c_j : koefisien ongkos /harga jual satu unit j

Untuk dapat memberikan hasil yang optimal pemrograman liner diharapkan dapat memenuhi asumsi – asumsi sbb:⁴⁷

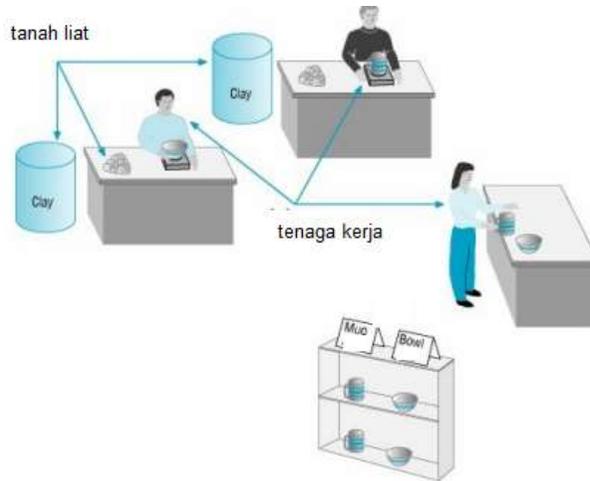
⁴⁷ Djarwanto Ps dan Pangestu Subagyo. (1993). *Statistik Industri*. Yogyakarta: BPFE Yogyakarta. Hal 14.

- a. *Proportionality* (proporsional), pemrograman liner mengasumsikan bahwa fluktuasi nilai fungsi tujuan dan penggunaan sumber atau fasilitas yang tersedia akan berubah secara proportional pada setiap perubahan tingkat kegiatan.
- b. *Additivity*, pemrograman liner mengasumsikan bahwa nilai fungsi tujuan tiap kegiatan tidak saling mempengaruhi, atau dalam pemrograman linear dianggap bahwa kenaikan dari nilai tujuan yang diakibatkan oleh kenaikan suatu kegiatan dapat ditambahkan tanpa mempengaruhi bagian nilai tujuan yang diperoleh dari kegiatan lain.
- c. *Divisibility* (dapat dibagi), pemrograman liner mengasumsikan bahwa keluaran (output) yang dihasilkan oleh setiap kegiatan dapat berupa bilangan pecahan. Demikian pula dengan nilai tujuan yang dihasilkan.
- d. *Deterministic* (kepastian), pemrograman liner mengasumsikan bahwa semua parameter yang tersedia dan digunakan dalam model bersifat deterministik atau dapat diperkirakan dengan pasti.

Contoh Kasus Maksimasi:

Sebuah perusahaan kerajinan kecil yang memproduksi mangkuk tanah liat dan cangkir. Dua sumber daya utama yang digunakan oleh perusahaan adalah tanah liat dan tenaga kerja terampil. Perusahaan ingin mengetahui berapa banyak mangkuk dan mug yang harus diproduksi setiap hari untuk memaksimalkan keuntungan, jika sumberdaya tanah liat dan tenaga kerja terbatas.⁴⁸

⁴⁸ Taylor, Bernard W. *Introduction to Management Science*. Virginia Polytechnic Institute and State University: Prentice Hall.



Gambar 7.1 Rich Picture Kasus Maksimasi

Berikut ini adalah parameter yang tersedia:

Produk	Kebutuhan Sumberdaya		
	Tenaga kerja (jam/unit)	Tanah liat (Kg/unit)	laba (Rp. rb./unit)
Mangkuk	1	4	40
Cangkir	2	3	50

Tersedia 40 jam kerja dan 120 kg tanah liat yang tersedia setiap hari untuk produksi. Kita akan merumuskan masalah ini sebagai model pemrograman linier dengan mendefinisikan setiap komponen model secara terpisah dan kemudian menggabungkan komponen menjadi satu model. Langkah-langkah dalam proses formulasi ini adalah diringkas sebagai berikut:

A.1 Menentukan Variabel Keputusan

Keputusan yang dihadapi manajemen dalam masalah ini adalah berapa banyak mangkuk dan cangkir yang harus diproduksi. Dua variabel keputusan mewakili jumlah mangkuk dan cangkir yang akan diproduksi setiap hari. Kuantitas yang akan diproduksi dapat direpresentasikan secara simbolis sebagai:

x_1 = jumlah mangkuk yang akan diproduksi

x_2 = jumlah cangkir yang akan diproduksi

A.2 Mendefinisikan Fungsi Objektif

Tujuan perusahaan adalah memaksimumkan keuntungan total. Keuntungan perusahaan adalah jumlah keuntungan individu yang diperoleh dari setiap mangkuk dan cangkir.

Keuntungan yang diperoleh dari mangkuk ditentukan dengan mengalikan keuntungan unit setiap mangkuk, Rp.40rb, dengan jumlah mangkuk yang diproduksi, x_1 . Demikian juga, keuntungan yang diperoleh dari cangkir diperoleh dari keuntungan unit mug, Rp50rb, dikalikan dengan jumlah mug yang diproduksi, x_2 .

Jadi, keuntungan total, yang akan kita definisikan secara simbolis sebagai Z , dapat dinyatakan secara matematis sebagai $40 x_1 + 50 x_2$. Dengan menempatkan istilah memaksimumkan di depan fungsi laba, kita menyatakan tujuan perusahaan untuk memaksimumkan laba total:

maksimumkan $Z = 40 x_1 + 50 x_2$

di mana

Z = total keuntungan per hari

$40 x_1$ = untung dari mangkuk

$50 x_2$ = untung dari cangkir

A.3 Menentukan Batasan Model

Dalam masalah ini dua sumber daya yang digunakan untuk produksi tenaga kerja dan tanah liat yang keduanya terbatas. Produksi mangkuk dan cangkir membutuhkan tenaga kerja dan tanah liat. Untuk setiap mangkuk

diproduksi, 1 jam tenaga kerja diperlukan. Oleh karena itu, tenaga kerja yang digunakan untuk produksi mangkok adalah $1x_1$ jam. Demikian pula, setiap cangkir membutuhkan 2 jam tenaga kerja, dengan demikian, tenaga kerja yang digunakan untuk memproduksi cangkir setiap hari adalah $2x_2$ jam. Total tenaga kerja yang digunakan oleh perusahaan adalah jumlah dari jumlah tenaga kerja individu yang digunakan untuk setiap produk:

$$1x_1 + 2x_2$$

Namun, jumlah tenaga kerja yang diwakili oleh $1x_1 + 2x_2$ dibatasi hingga 40 jam per hari, dengan demikian, kendala tenaga kerja lengkap adalah

$$1x_1 + 2x_2 \leq 40 \text{ jam}$$

Ketidaksetaraan "kurang dari atau sama dengan" (\leq) digunakan sebagai ganti persamaan ($=$) karena 40 jam kerja adalah batasan maksimum yang dapat digunakan, bukan jumlah yang harus digunakan. Kendala ini memungkinkan beberapa fleksibilitas bagi perusahaan, perusahaan tidak dibatasi untuk menggunakan tepat 40 jam tetapi dapat menggunakan apa saja jumlah yang diperlukan untuk memaksimalkan keuntungan, hingga dan termasuk 40 jam. Ini berarti bahwa ada kemungkinan untuk memiliki kapasitas menganggur, atau kelebihan, (yaitu, beberapa dari 40 jam mungkin tidak digunakan).

Batasan untuk tanah liat diformulasikan dengan cara yang sama seperti batasan tenaga kerja. Karena setiap mangkuk membutuhkan 4 pon tanah liat, jumlah tanah liat yang digunakan setiap hari untuk produksi mangkuk adalah $4x_1$ kg; dan karena setiap cangkir membutuhkan 3 kg tanah liat, jumlah tanah liat yang digunakan setiap hari untuk cangkir adalah $3x_2$.

Mengingat bahwa jumlah tanah liat yang tersedia untuk produksi setiap hari adalah 120 kg, batasan material dapat dirumuskan sebagai:

$$4 x_1 + 3 x_2 \leq 120 \text{ kg.}$$

Batasan terakhir adalah jumlah mangkuk dan cangkir yang diproduksi harus nol atau bernilai positif karena tidak mungkin menghasilkan barang negatif. Pembatasan ini disebut sebagai kendala nonnegatif dan dinyatakan secara matematis sebagai **Kendala nonnegatif** yang membatasi variabel keputusan menjadi nol atau nilai positif.

$$x_1 \geq 0 \text{ dan } x_2 \geq 0$$

secara lengkap model linier programnya sbb:

$$Z = 40 x_1 + 50 x_2$$

$$\text{Dimana } x_1 + 2 x_2 \leq 40$$

$$4 x_1 + 3 x_2 \leq 120$$

$$x_1 \geq 0 \text{ dan } x_2 \geq 0$$

Solusi dari model tersebut akan menghasilkan nilai numerik untuk x_1 dan x_2 yang akan memaksimalkan keuntungan total, Z . Sebagai salah satu solusi yang mungkin, pertimbangkan $x_1 = 5$ mangkuk dan $x_2 = 10$ cangkir.

Pertama, kita akan mengganti solusi hipotetis ini ke dalam setiap kendala untuk memastikan bahwa solusi tersebut tidak memerlukan lebih banyak sumber daya dari pada batasan yang ditampilkan tersedia:

$$x_1 + 2 x_2 \leq 40$$

$$5 + 2(10) \leq 40$$

$$25 \leq 40$$

dan

$$4 x_1 + 3 x_2 \leq 120$$

$$4(5) + 3(10) \leq 120$$

$$50 \leq 120$$

Karena tidak ada kendala yang dilanggar oleh solusi hipotetis, kita katakan solusi tersebut layak (yaitu, mungkin). Mengganti nilai solusi ini dalam fungsi tujuan memberikan $Z = 40(5) + 50(10) = \text{Rp}700\text{rb}$. Namun, untuk saat ini, kami tidak memiliki cara untuk mengetahui apakah Rp700rb adalah keuntungan maksimum.

Catatan: Sebuah solusi yang layak (**solusi yang feasible**) tidak melanggar salah satu kendala.

Sekarang pertimbangkan solusi $x_1 = 10$ mangkuk dan $x_2 = 20$ cangkir. Solusi ini menghasilkan keuntungan sebesar $Z = 40(10) + 50(20) = \text{Rp}1.400\text{rb}$.

Meskipun solusi kedua merupakan solusi yang lebih baik dalam hal keuntungan, solusi tersebut dinyatakan tidak layak (yaitu, tidak mungkin) karena melanggar batasan sumber daya untuk tenaga kerja:

$$x_1 + 2x_2 \leq 40$$

$$10 + 2(20) \leq 40$$

$$50 > 40$$

Catatan: Sebuah solusi yang tidak layak (**solusi yang infeasible**) melanggar setidaknya salah satu fungsi batasan / kendala.

a) Metode Grafik

Untuk memecahkan permasalahan tersebut, kita dapat menggunakan metode grafis, akan tetapi **solusi grafik terbatas pada masalah pemrograman linier dengan hanya dua variabel keputusan.**

Metode grafis secara realistis terbatas pada model dengan hanya dua variabel keputusan, yang dapat direpresentasikan pada grafik dua dimensi. Model dengan tiga variabel keputusan dapat digambarkan dalam tiga dimensi, tetapi prosesnya cukup rumit, dan model empat atau lebih variabel keputusan tidak dapat digrafik sama sekali.

Meskipun begitu, walaupun metode grafis terbatas sebagai pendekatan solusi, tetapi sangat berguna pada saat ini dalam presentasi kami tentang pemrograman linier karena memberikan gambaran tentang bagaimana solusi diperoleh. Grafik dapat memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang bagaimana pendekatan solusi komputer dan matematis yang disajikan di bawah ini bab bekerja dan, dengan demikian, akan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang solusi yang diperoleh.

Kita akan mencoba menyelesaikan permasalahan maksimasi sebelumnya dengan menggunakan metode grafis.

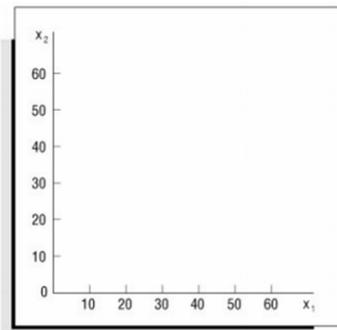
$$Z = 40 x_1 + 50 x_2$$

$$\text{Dimana } x_1 + 2 x_2 \leq 40$$

$$4x_1 + 3 x_2 \leq 120$$

$$x_1 \geq 0 \text{ dan } x_2 \geq 0$$

Langkah 1 adalah menggambar grafik sbb:



Gambar 7.2 Contoh Grafik Awal

Kemudian kita akan mencoba menggambar grafik model dengan memplot kendala (fungsi batasan) pada grafik. Hal ini dilakukan dengan memperlakukan kedua kendala sebagai persamaan (atau garis

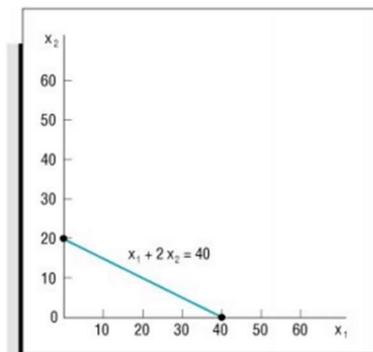
lurus) dan memplot setiap garis pada grafik. Mari kita pertimbangkan garis kendala tenaga kerja terlebih dahulu:

$$x_1 + 2x_2 = 40$$

Garis kendala diplot sebagai persamaan.

Prosedur sederhana untuk memplot garis adalah dengan menentukan dua titik yang berada pada garis dan kemudian menggambar garis lurus melalui titik-titik tersebut.

Satu titik dapat ditemukan dengan membiarkan $x_1 = 0$ dan menyelesaikan x_2 , yaitu 20, sehingga di dapatkan titik (0,20). Kemudian jika $x_2 = 0$ maka $x_1 = 40$, sehingga didapatkan titik berikutnya (40,0). Kedua titik tersebut kemudian ditarik garis sesuai gambar berikut:



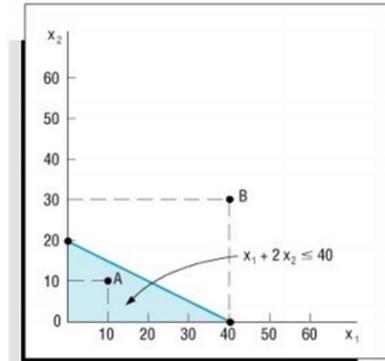
Gambar 7.3 Plot Garis Menghubungkan Koordinat X dan Y

Untuk menguji kebenaran daerah kendala, kita akan memeriksa dua titik satu di dalam daerah kendala dan satu di luar. Misalnya, periksa titik A pada Gambar, yang berada di perpotongan $x_1 = 10$ dan $x_2 = 10$. Substitusikan nilai-nilai ini ke dalam batasan tenaga kerja berikut,

$$x_1 + 2x_2 \leq 40$$

$$10 + 2(10) \leq 40$$

$$30 \leq 40$$



Gambar 7.4 Pemeriksaan Titik didalam Area Kendala

Hasil diatas memang menunjukkan bahwa titik A berada dalam area kendala, karena nilai untuk x_1 dan x_2 ini menghasilkan kuantitas yang tidak melebihi batas 40 jam. Selanjutnya, kita memeriksa titik B di $x_1 = 40$ dan $x_2 = 30$.

$$x_1 + 2 x_2 \leq 40$$

$$40 + 2(30) \leq 40$$

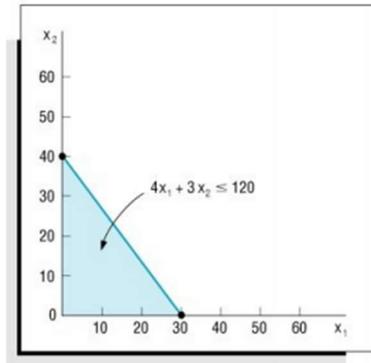
$$100 > 40$$

Titik B jelas berada di luar daerah kendala karena nilai x_1 dan x_2 menghasilkan besaran (100) yang melebihi batas 40 jam.

Kemudian kita akan menggambar garis untuk kendala tanah liat dengan cara yang sama seperti garis untuk kendala tenaga kerja dengan menemukan dua titik pada garis kendala dan menghubungkannya dengan sebuah garis lurus.

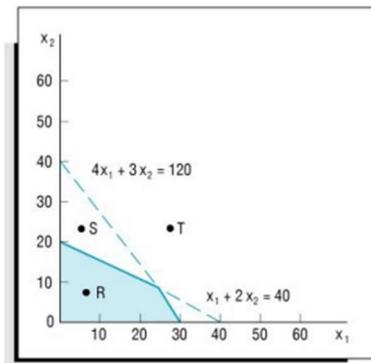
$$\text{Untuk } 4x_1 + 3 x_2 = 120$$

Pertama, misalkan $x_1 = 0$ dan sehingga x_2 adalah 40, sehingga didapatkan titik (0,40). Kemudian jika $x_2 = 0$ maka x_1 adalah 30, sehingga didapatkan titik berikutnya (30,0). Berdasarkan hasil tersebut kita dapat menggambar grafik sbb:



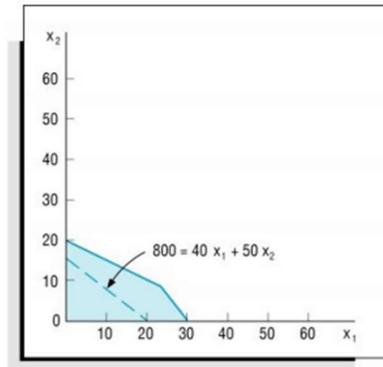
Gambar 7.5 Area dalam Batas

Langkah selanjutnya adalah menggabungkan dua grafik individu untuk tenaga kerja dan tanah liat yang merupakan grafik kendala model. penggabungan grafik tersebut akan menghasilkan area optimum dimana satu-satunya area pada grafik yang berisi titik (yaitu, nilai untuk x_1 dan x_2) yang akan memenuhi kedua kendala secara bersamaan. Sebagai contoh, perhatikan titik R, S, dan T pada. Titik R memenuhi kedua kendala; dengan demikian, kami mengatakan itu adalah titik solusi yang layak. Titik S memenuhi kendala tanah liat ($4x_1 + 3x_2 \leq 120$) tetapi melebihi kendala tenaga kerja; dengan demikian, tidak mungkin. Titik T tidak memenuhi kendala; dengan demikian, itu juga tidak mungkin.



Gambar 7.6 Menghubungkan Garis Kendala

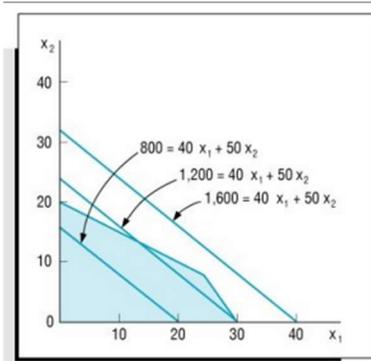
Berdasarkan Gambar tersebut kita mengetahui bahwa terdapat Area fisibel / Area solusi layak yang merupakan area pada grafik yang dibatasi oleh persamaan kendala.



Gambar 7.7 Area Solusi Feasible

Langkah terakhir adalah menentukan menentukan solusi dari gambar grafik. Langkah tersebut yaitu dengan mencari titik di area solusi yang layak yang akan menghasilkan total keuntungan terbesar. Untuk memulai analisis solusi, pertama-tama kita plot garis fungsi tujuan untuk tingkat keuntungan yang dipilih secara sewenang-wenang. Sebagai contoh, jika kita katakan laba, Z , adalah Rp.800rb, fungsi tujuannya adalah $\text{Rp}800\text{rb} = 40 x_1 + 50 x_2$.

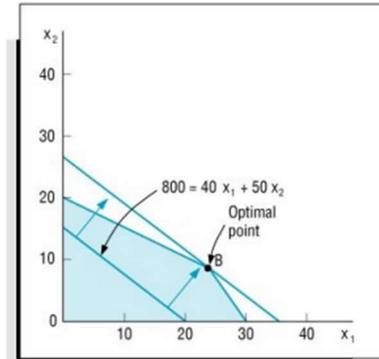
Memplot garis ini sama seperti kita memplot hasil garis kendala pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar. Setiap titik pada garis ini berada pada daerah solusi fisibel dan akan menghasilkan keuntungan sebesar Rp.800rb (yaitu, setiap kombinasi x_1 dan x_2 pada baris ini akan memberikan nilai Z sebesar Rp.800rb). Namun, mari kita lihat apakah keuntungan yang lebih besar akan tetap memberikan solusi yang layak. Misalnya, pertimbangkan keuntungan Rp.1.200rb dan Rp1.600rb, seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 7.8 Pengecekan Alternatif Solusi

Bagian dari garis fungsi tujuan untuk keuntungan Rp1.200rb berada di luar area solusi yang layak, tetapi bagian dari garis tersebut tetap berada di dalam area yang layak. Karena itu, garis keuntungan ini menunjukkan bahwa ada titik solusi yang layak yang memberikan keuntungan lebih besar dari Rp800rb. Sekarang mari kita tingkatkan profit lagi, menjadi Rp1.600rb. Garis keuntungan ini juga ditunjukkan pada Gambar sebelumnya, benar-benar di luar area solusi yang layak. Fakta bahwa tidak ada titik pada garis ini yang layak menunjukkan bahwa keuntungan sebesar Rp1.600rb tidak bisa menjadi alternatif solusi.

Karena keuntungan Rp1.600rb terlalu besar untuk batasan batasan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar sebelumnya, pertanyaan tentang nilai keuntungan maksimum tetap ada. Kita bisa melihat dari Gambar sebelumnya, bahwa keuntungan meningkat ketika garis fungsi tujuan menjauh dari titik asal (yaitu, titik $x_1 = 0$, $x_2 = 0$). Mengingat karakteristik ini, maksimum keuntungan akan diperoleh pada titik di mana garis fungsi tujuan terjauh dari titik asal dan masih menyentuh titik di daerah solusi yang layak. Titik ini ditunjukkan sebagai titik B pada Gambar berikut.



Gambar 7.9 Penentuan Titik Optimal

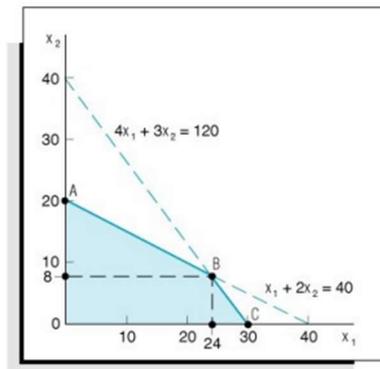
Untuk menemukan titik B, kita menempatkan garis lurus sejajar dengan garis fungsi tujuan $Rp800rb = 40 x_1 + 50 x_2$ pada Gambar tersebut dan memindahkannya keluar dari titik asal sejauh mungkin tanpa kehilangan kontak dengan area solusi yang layak. Titik B disebut sebagai solusi optimal (yaitu, terbaik).

Catatan: Solusi optimal adalah solusi fisibel terbaik.

Koordinat grafis yang sesuai dengan titik B pada Gambar sebelumnya adalah $x_1 = 24$ dan $x_2 = 8$. Ini adalah solusi optimal untuk variabel keputusan dalam masalah. Namun, kecuali benar-benar akurat grafik digambar, seringkali sulit untuk menentukan solusi yang benar langsung dari grafik. Pendekatan yang lebih tepat adalah menentukan nilai solusi secara matematis setelah titik optimal pada grafik telah ditentukan. Pendekatan matematis untuk menentukan solusi dijelaskan sebagai berikut, tetapi sebelumnya pertama-tama, kita akan mempertimbangkan beberapa karakteristik solusi.

Pada Gambar 7.10, dimana seiring dengan peningkatan fungsi tujuan, titik terakhir yang disentuhnya pada daerah solusi layak adalah pada batas daerah solusi layak. Titik penyelesaian selalu pada batas ini karena batas tersebut berisi titik-titik terjauh dari titik asal (yaitu, titik-

titik yang bersesuaian dengan titik terbesar laba). Karakteristik masalah program linier ini sangat mengurangi jumlah titik solusi yang mungkin, dari semua titik di area solusi menjadi hanya titik-titik di perbatasan. Namun, jumlah titik solusi yang mungkin berkurang lebih banyak lagi oleh karakteristik lain dari pemrograman linier.



Gambar 7.10 Refleksi Titik Solusi

Titik solusi akan berada pada batas daerah solusi fisibel dan pada salah satu sudut batas dimana dua garis kendala berpotongan. (sumbu grafis, Anda akan ingat, juga kendala karena $x_1 \geq 0$ dan $x_2 \geq 0$.) Sudut-sudut tersebut (titik A, B, dan C pada Gambar sebelumnya) adalah tonjolan, atau titik ekstrem, di area solusi yang layak, titik ini kemudian disebut titik ekstrim. Telah dibuktikan secara matematis bahwa solusi optimal dalam model program linier akan selalu terjadi pada titik ekstrim. Oleh karena itu, dalam masalah sampel kami, titik solusi yang mungkin terbatas pada tiga titik ekstrem, A, B, dan C.

Titik ekstrim optimal adalah titik ekstrim yang terakhir disentuh fungsi tujuan saat meninggalkan area solusi yang layak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar sebelumnya.

Catatan: Titik ekstrim adalah titik sudut pada batas daerah solusi fisibel.

b) Penyelesaian dengan Variabel Slack

Ada prosedur standar untuk mengubah kendala pertidaksamaan menjadi persamaan. Transformasi ini dicapai dengan menambahkan variabel baru, yang disebut variabel slack. **Variabel slack** ditambahkan ke (\leq/\geq) kendala untuk mengubahnya menjadi persamaan (=).

Kita masih menggunakan contoh soal sebelumnya, dimana:

$$Z = 40x_1 + 50x_2$$

$$\text{Dimana } x_1 + 2x_2 \leq 40 \quad \text{kendala tenaga kerja}$$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 120 \quad \text{kendala bahan baku}$$

$$x_1 \geq 0 \text{ dan } x_2 \geq 0$$

Penambahan variabel slack yang unik, s_1 , ke kendala tenaga kerja dan s_2 ke kendala untuk tanah liat menghasilkan persamaan berikut:

$$x_1 + 2x_2 + s_1 \leq 40$$

$$4x_1 + 3x_2 + s_2 \leq 120$$

Catatan: **Variabel slack** mewakili sumber daya yang tidak digunakan. Variabel slack dalam persamaan ini, s_1 dan s_2 , akan mengambil nilai apa pun yang diperlukan untuk membuat ruas kiri persamaan sama dengan ruas kanan. Untuk contoh, pertimbangkan solusi hipotetis dari $x_1 = 5$ dan $x_2 = 10$. Mensubstitusikan nilai-nilai ini ke dalam persamaan di atas menghasilkan:

$$x_1 + 2x_2 + s_1 = 40 \quad \text{jam untuk tenaga kerja}$$

$$5 + 2(10) + s_1 = 40 \quad \text{jam untuk tenaga kerja}$$

$$s_1 = 15 \quad \text{jam untuk tenaga kerja}$$

dan

$$4x_1 + 3x_2 + s_2 = 120 \quad \text{kg untuk jumlah tanah liat}$$

$$4(5) + 3(10) + s_2 = 120 \quad \text{kg untuk jumlah tanah liat}$$

$$s_2 = 70 \quad \text{kg untuk jumlah tanah liat}$$

Dalam contoh diatas, $x_1 = 5$ mangkuk dan $x_2 = 10$ cangkir mewakili solusi yang tidak menggunakan jumlah total tenaga kerja dan tanah liat

yang tersedia. Dalam fungsi kendala tenaga kerja, 5 mangkuk dan 10 cangkir hanya membutuhkan 25 jam kerja. Ini menyisakan 15 jam yang tidak digunakan. s_1 mewakili jumlah tenaga kerja yang tidak digunakan, atau variabel slack. Dalam fungsi kendala tanah liat, 5 mangkuk dan 10 cangkir hanya membutuhkan 50 kg tanah liat. Ini menyisakan 70 kg tanah liat yang tidak digunakan. Jadi, s_2 mewakili jumlah tenaga kerja yang tidak digunakan, atau variabel slack.

Mari kita perhatikan apabila sumber daya yang tidak digunakan terjadi di titik asal, di mana $x_1 = 0$ dan $x_2 = 0$. Kemudian kita substitusikan nilai-nilai ini ke dalam persamaan menghasilkan:

$$\begin{aligned} x_1 + 2x_2 + s_1 &= 40 && \text{jam untuk tenaga kerja} \\ 0 + 2(0) + s_1 &= 40 && \text{jam untuk tenaga kerja} \\ s_1 &= 40 && \text{jam untuk tenaga kerja} \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned} 4x_1 + 3x_2 + s_2 &= 120 && \text{kg untuk jumlah tanah liat} \\ 4(0) + 3(0) + s_2 &= 120 && \text{kg untuk jumlah tanah liat} \\ s_2 &= 120 && \text{kg untuk jumlah tanah liat} \end{aligned}$$

Karena tidak ada produksi yang terjadi, semua sumber daya tidak digunakan, dengan kata lain variabel slack sama dengan jumlah total yang tersedia dari setiap sumber daya: $s_1 = 40$ jam kerja dan $s_2 = 120$ kg tanah liat.

Sekarang kita akan melihat efek dari variabel slack pada fungsi tujuan sesuai permasalahan sebelumnya.

$$Z = 40x_1 + 50x_2$$

Koefisien 40 adalah kontribusi keuntungan dari setiap mangkuk dan 50 adalah kontribusi untuk keuntungan setiap cangkir. Jadi, apa yang dilakukan variabel slack s_1 dan s_2 ? Mereka tidak memberikan kontribusi apapun untuk keuntungan karena mereka mewakili sumber

daya yang tidak terpakai. Keuntungan dibuat hanya setelah sumber daya digunakan untuk membuat mangkuk dan cangkir.

Catatan: **Variabel slack** tidak memberikan kontribusi apa pun pada nilai fungsi tujuan.

Menggunakan variabel slack, kita dapat menulis fungsi tujuan sebagai berikut:

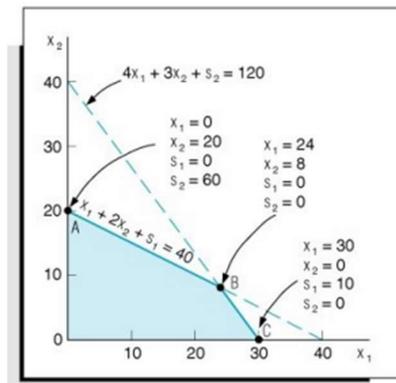
$$\text{Maksimasi } Z = 40x_1 + 50x_2 + 0s_1 + 0s_2$$

dengan

$$x_1 + 2x_2 + s_1 \leq 40$$

$$4x_1 + 3x_2 + s_2 \leq 120$$

$$x_1, x_2, s_1, s_2 \geq 0$$



Gambar 7.11 Nilai Slack pada Titik Area Solusi

Berikut ini adalah simpulan hasil:

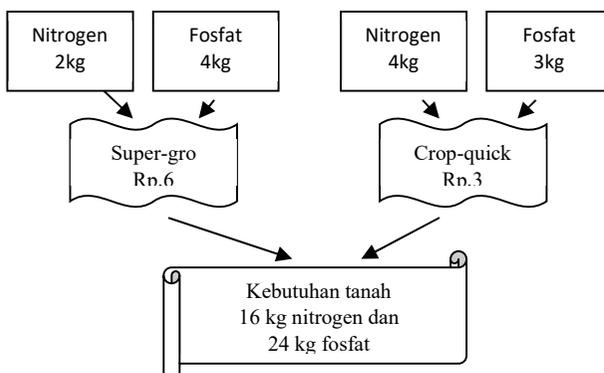
Titik	Nilai Solusi	Z	Slack
A	$x_1 = 0$ mangkok $x_2 = 20$ cangkir	Rp. 1.000rb,-	$s_1 = 0$ jam $s_2 = 60$ kg
B	$x_1 = 24$ mangkok $x_2 = 8$ cangkir	Rp. 1.360rb,-	$s_1 = 0$ jam $s_2 = 0$ kg
C	$x_1 = 20$ mangkok $x_2 = 0$ cangkir	Rp. 1.200rb,-	$s_1 = 10$ jam $s_2 = 0$ kg

Contoh Kasus Minimasi:

Petani sedang bersiap untuk menanam tanaman di musim semi dan perlu menyuburkan ladang. Ada dua merek pupuk yang bisa dipilih, Super-gro dan Crop-quick. Setiap merek menghasilkan nitrogen dan fosfat dalam jumlah tertentu per kantong, sebagai berikut:

Merk	Kontribusi Bahan Kimia	
	Nitrogen	Fosfat
Super-gro	2	4
Crop-quick	4	3

Ladang petani membutuhkan setidaknya 16 kg nitrogen dan 24 kg fosfat. Super-gro berharga Rp.6rb per kantong, dan Crop-quick berharga Rp3rb. Petani ingin untuk mengetahui berapa banyak kantong dari masing-masing merek yang harus dibeli untuk **meminimalkan** total biaya pemupukan.



Gambar 7.12 Rich Picture Kasus Minimasi

Variabel Keputusan

Soal ini berisi dua variabel keputusan, yang mewakili jumlah kantong setiap merek pupuk yang akan dibeli:

x_1 = kantong Super-gro

x_2 = kantong Crop-quick

Fungsi Objektif

Tujuan petani adalah untuk meminimalkan total biaya pemupukan. Total biaya adalah jumlah biaya individu dari setiap jenis pupuk yang dibeli. Fungsi tujuan yang mewakili total biaya dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Minimasi } Z = 6x_1 + 3x_2$$

dimana $6x_1$ = biaya pembelian Super-gro dan

$3x_2$ = biaya pembelian Crop-quick

Fungsi Batasan

Persyaratan untuk nitrogen dan fosfat mewakili fungsi batasan. Setiap kantong pupuk menyumbang sejumlah pon nitrogen dan fosfat ke tanah yang akan digunakan oleh petani. Batasan untuk nitrogen adalah sebagai berikut:

$$2x_1 + 4x_2 \geq 16 \text{ kg.}$$

di mana

$2x_1$ = kontribusi nitrogen (kg.) per kantong Super-gro

$4x_2$ = kontribusi nitrogen (kg.) per kantong Crop-quick

kendala ini membutuhkan negasi \geq (lebih besar dari atau sama dengan) sebagai fungsi ketidaksamaan. Ini karena kandungan nitrogen untuk lapangan adalah persyaratan minimum yang menetapkan bahwa setidaknya 16 kg nitrogen yang terkandung pada ladang petani. Jika solusi biaya minimum menghasilkan lebih dari 16 kg nitrogen di dalam tanah, itu dapat diterima, namun jika sebaliknya jumlah kandungan nitrogen tidak boleh kurang dari 16 kg didalam tanah.

Batasan untuk fosfat dibangun seperti batasan untuk nitrogen:

$$4x_1 + 3x_2 \geq 24 \text{ kg.}$$

Seperti dalam model maksimalisasi sebelumnya, ada juga kendala nonnegatif dalam masalah ini untuk menunjukkan bahwa kantong negatif pupuk tidak dapat dibeli:

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Formulasi lengkap sebagai berikut:

$$\text{Minimasi } Z = 6x_1 + 3x_2$$

$$\text{Dimana } 2x_1 + 4x_2 \geq 16$$

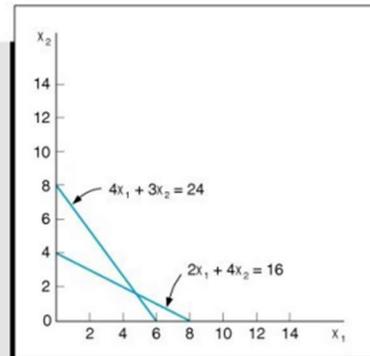
$$4x_1 + 3x_2 \geq 24$$

$$x_1 \geq 0 \text{ dan } x_2 \geq 0$$

1) Penyelesaian Minimisasi dengan Grafis

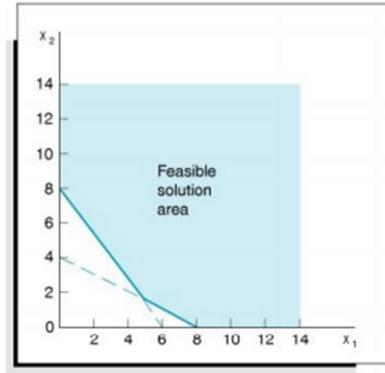
Kita mengikuti langkah-langkah dasar yang sama dalam solusi grafis seperti dalam model maksimalisasi pada contoh kasus sebelumnya. Formulasi penggunaan pupuk akan digunakan untuk mendemonstrasikan solusi grafis dari model minimisasi.

Langkah pertama adalah membuat grafik persamaan dari dua kendala model, seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



Gambar 7.13 Grafik Batasan pada Studi Kasus Minimasi

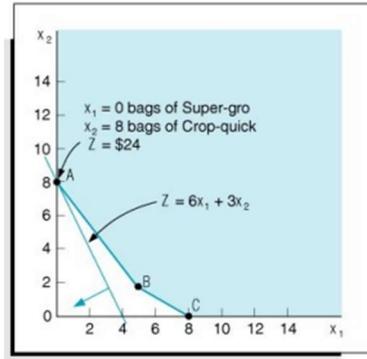
Selanjutnya, area solusi yang layak dipilih, untuk mencerminkan ketidaksetaraan dalam kendala, seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 7.14 Area Solusi pada Studi Kasus Minimasi

Setelah area solusi fisibel ditentukan, langkah berikutnya dalam pendekatan solusi grafis adalah mencari titik optimal. Ingatlah bahwa dalam masalah maksimisasi, solusi optimal berada pada batas area solusi layak yang berisi titik-titik terjauh dari titik asal. Solusi optimal atau titik solusi dalam masalah minimasi juga berada pada batas area solusi fisibel, namun, batasnya berisi titik-titik yang paling dekat dengan titik asal (dimana nilai nol menjadi biaya yang paling rendah). Catatan: **Solusi optimal** dari masalah minimisasi adalah pada **titik ekstrim yang paling dekat dengan titik asal**.

Seperti dalam masalah maksimisasi, solusi optimal terletak di salah satu titik ekstrim dari batas. Dalam hal ini titik sudut mewakili ekstremitas dibatas daerah solusi fisibel yang paling dekat dengan titik asal. Gambar berikut menunjukkan tiga titik sudut A, B, dan C sebagai garis fungsi tujuan. Karena fungsi tujuan mengarah ke titik asal, titik terakhir yang disentuhnya di daerah solusi yang layak adalah A. Dengan kata lain, titik A adalah yang terdekat dengan tujuan. fungsi bisa sampai ke titik asal tanpa mencakup poin yang tidak layak. Dengan demikian, itu sesuai dengan biaya terendah yang dapat dicapai.



Gambar 7.15 Titik Solusi pada Studi Kasus Minimasi

Langkah terakhir dalam pendekatan solusi grafis adalah menyelesaikan nilai x_1 dan x_2 di titik A. Karena titik A berada pada sumbu x_2 maka $x_1 = 0$; sehingga:

$$4(0) + 3 x_2 = 24$$

$$x_2 = 8$$

Jika solusi optimal adalah $x_1 = 0$, $x_2 = 8$, biaya minimum, Z , adalah

$$Z = 6 x_1 + 3 x_2$$

$$Z = 6 (0) + 3 (8)$$

$$Z = \text{Rp}24\text{rb}$$

Ini berarti petani tidak boleh membeli Super-gro tetapi, harus membeli delapan kantong Crop-quick, dengan total biaya Rp24rb.

2) Variabel Surplus

Karena masalah ini memiliki kendala \geq yang bertentangan dengan kendala dari contoh maksimalisasi sebelumnya, kendala tersebut akan dikonversi ke persamaan yang sedikit berbeda.

Kemudian kita menyebutnya sebagai **Variabel surplus** yang merupakan fungsi pengurangan dari kendala \geq untuk mengubahnya menjadi persamaan (=).

Catatan: **Sebuah variabel surplus mewakili kelebihan di atas tingkat persyaratan kendala.**

Dibandingkan dengan menambahkan variabel slack dengan kendala, kita mengurangi variabel surplus. Sedangkan variabel slack ditambahkan dan mencerminkan sumber daya yang tidak digunakan, variabel surplus dikurangi dan mencerminkan kelebihan di atas tingkat kebutuhan sumber daya minimum. Seperti variabel slack, variabel surplus diwakili secara simbolis dengan s_1 dan harus nonnegatif.

Untuk kendala nitrogen, pengurangan variabel surplus memberikan:

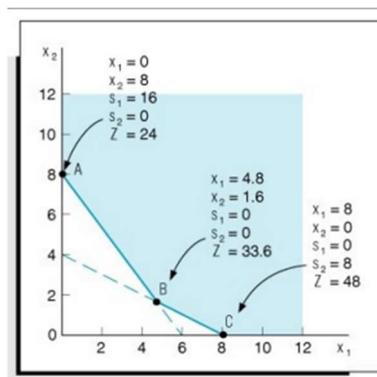
$$\text{Minimasi } Z = 6x_1 + 3x_2 + 0s_1 + 0s_2$$

$$\text{Dimana } 2x_1 + 4x_2 - s_1 \geq 16$$

$$4x_1 + 3x_2 - s_2 \geq 24$$

$$x_1, x_2, s_1, s_2 \geq 0$$

grafik dibawah menunjukkan solusi grafis untuk contoh kita, dengan variabel surplus disertakan pada setiap titik solusi.



Gambar 7.16 Nilai Slack pada Studi Kasus Minimasi

Contoh kasus:

Sebuah perusahaan pengepakan memproduksi hotdog campuran sebanyak 1.000 batch. Campuran tersebut terdiri dari daging ayam dan sapi. Biaya

pembelian daging ayam Rp.3rb/kg dan pembelian daging sapi Rp.5rb/kg. setiap batch memiliki resep sbb:

- setidaknya 500kg daging ayam
- setidaknya 200kg daging sapi

dengan rasio daging ayam dan sapi setidaknya 1:2. Perusahaan menginginkan formula yang optimal yang memiliki biaya termurah.

Berikut penyelesaian dengan pemrograman linier:

1) Identifikasi Variabel Keputusan

x_1 = kg dari daging ayam

x_2 = kg dari daging sapi

2) Formulasi Fungsi Tujuan

Minimasi $Z = 3 x_1 + 5 x_2$

dimana

Z = biaya per 1.000kg batch

x_1 = biaya dari pembelian daging ayam

x_2 = biaya dari pembelian daging sapi

3) Formulasi Fungsi Pembatas

$x_1 + x_2 = 1.000$ kg

$x_1 \geq 500$ kg daging ayam

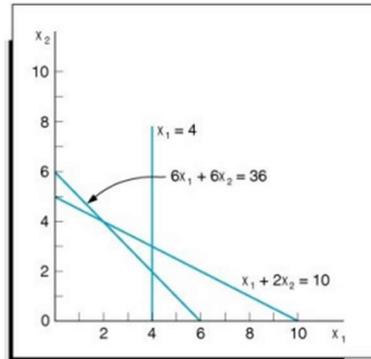
$x_2 \geq 300$ kg daging sapi

$x_1 : x_2 = 2 : 1$ sehingga $x_1 - x_2 \geq 0$

x_1 dan $x_2 \geq 0$

4) Solusi

- i. Plot Garis Kendala sebagai Persamaan

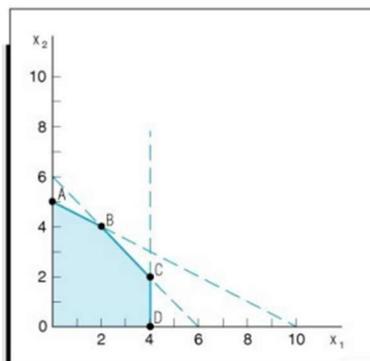


Gambar 7.17 Garis Batasan pada Contoh Kasus

- ii. Menentukan Area Solusi yang Layak / Fisibel

Solusi di titik A dapat ditentukan dengan mencatat bahwa garis kendala memotong sumbu x_2 di titik 5, sehingga, $x_2 = 5$, $x_1 = 0$, sehingga nilai $Z = 25$.

Solusinya pada titik D pada sumbu lainnya dapat ditentukan dengan cara yang sama; kendala memotong sumbu di $x_1 = 4$, $x_2 = 0$, sehingga nilai $Z = 16$.



Gambar 7.18 Area Solusi pada Contoh Kasus

Nilai di titik B dan C harus ditemukan dengan menyelesaikan persamaan simultan.

Perhatikan bahwa titik B dibentuk oleh perpotongan garis $x_1 + 2x_2 = 10$ dan $6x_1 + 6x_2 = 36$. Pertama, ubah kedua persamaan ini menjadi fungsi x_1 :

$$x_1 + 2x_2 = 10 \text{ menjadi } x_1 = 10 - 2x_2$$

$$6x_1 + 6x_2 = 36 \text{ menjadi } x_1 = 6 - x_2$$

sehingga

$$10 - 2x_2 = 6 - x_2$$

$$x_2 = 4$$

substitusi nilai x_2 pada $x_1 + 2x_2 = 10$

sehingga

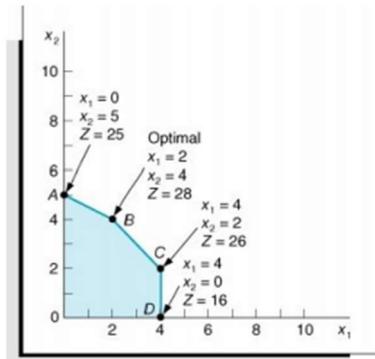
$$x_1 + 2(4) = 10$$

$$x_1 = 2$$

disimpulkan titik B $x_2 = 4$, $x_1 = 2$, sehingga nilai $Z = 28$.

Di titik C, $x_1 = 4$. Substitusi $x_1 = 4$ ke dalam persamaan $x_1 = 6 - x_2$ menghasilkan nilai $x_2 = 2$, maka disimpulkan titik C $x_2 = 2$, $x_1 = 4$, sehingga nilai $Z = 26$.

iii. Solusi Optimal



Gambar 7.19 Titik Solusi pada Contoh Kasus

Dikarenakan nilai x_1 dan $x_2 \geq 0$ sehingga solusi A dan D tidak dapat diterima, maka dapat diketahui solusi optimum berada pada titik C dengan $Z = 26$

Studi Kasus:

Sebuah Coffee Shop di Galleria Mall menyajikan dua campuran kopi yang diseduh setiap hari, Pomona dan Coastal. Masing-masing merupakan perpaduan dari tiga kopi berkualitas tinggi dari Kolombia, Kenya, dan Indonesia. Kedai kopi memiliki 10 ons masing-masing kopi ini tersedia setiap hari. Setiap ons kopi akan menghasilkan enam belas cangkir kopi 16 ons. Toko ini memiliki kapasitas pembuatan bir yang cukup untuk menyeduh 30 galon dari dua campuran kopi ini masing-masing hari. Pomona adalah campuran dari 20% Kolombia, 35% Kenya, dan 45% Indonesia, sedangkan Coastal adalah campuran dari 60% Kolombia, 10% Kenya, dan 30% Indonesia. Toko itu menjual Pomona 1,5 kali lebih banyak daripada Coastal setiap hari. Pomona dijual seharga Rp2,05rb per cangkir, dan Coastal dijual seharga Rp1,85rb per cangkir. Manajer ingin tahu berapa banyak cangkir dari setiap campuran untuk dijual setiap hari untuk memaksimalkan penjualan.

Rumuskan model pemrograman linier untuk masalah tersebut. Selesaikan model ini dengan menggunakan analisis grafis?

A.4 Karakteristik Masalah Pemrograman Linier

Karakteristik pertama adalah masalah, dimana dalam pemrograman linier membutuhkan pilihan antara tindakan alternatif (yaitu, keputusan). Keputusan direpresentasikan dalam model dengan keputusan variabel. Tugas pilihan untuk perusahaan bisnis adalah memutuskan berapa banyak dari beberapa produk berbeda yang akan diproduksi, seperti contoh kasus sebelumnya.

Karakteristik berikutnya adalah mengidentifikasi tugas pilihan dan mendefinisikan variabel keputusan biasanya merupakan langkah pertama dalam proses perumusan karena cukup sulit untuk membangun fungsi tujuan

dan kendala tanpa terlebih dahulu mengidentifikasi variabel keputusan. Masalah mencakup tujuan yang ingin dicapai oleh pembuat keputusan. Dua tujuan yang paling sering ditemui untuk bisnis adalah memaksimalkan keuntungan dan meminimalkan biaya.

Karakteristik ketiga dari masalah program linier adalah adanya pembatasan, yang membuat pencapaian tak terbatas dari fungsi tujuan menjadi tidak mungkin. Dalam sebuah bisnis pembatasan ini sering berbentuk sumber daya yang terbatas, seperti tenaga kerja atau material. Namun, model sampel dalam bab ini menunjukkan berbagai masalah pembatasan. Pembatasan ini, serta tujuannya, harus didefinisikan oleh hubungan fungsional matematis yang linier. Mendefinisikan hubungan ini biasanya merupakan bagian tersulit dari proses perumusan.

A.5 Properti didalam Pemrograman Linier

- 1) Proporsionalitas dimana bermaksud bahwa kemiringan suatu kendala atau garis fungsi tujuan adalah konstan.

Selain hubungan linier, model pemrograman linier juga memiliki beberapa sifat implisit lainnya. Istilah linier tidak hanya berarti bahwa fungsi dalam model digambarkan sebagai garis lurus, tetapi juga berarti bahwa hubungan menunjukkan proporsionalitas. Dengan kata lain, laju perubahan, atau kemiringan, fungsi adalah konstan, dan oleh karena itu, perubahan ukuran tertentu dalam nilai suatu variabel keputusan akan menghasilkan perubahan relatif yang sama persis pada nilai fungsionalnya.

- 2) Istilah dalam fungsi tujuan atau kendala adalah aditif/tambahan.

Pemrograman linier juga mensyaratkan bahwa istilah fungsi tujuan dan istilah kendala menjadi aditif. Misalnya, dalam model contoh maksimasi sebelumnya, total keuntungan (Z) harus sama dengan

jumlah keuntungan yang diperoleh dari pembuatan mangkuk ($40x_1$) dan cangkir ($50x_2$). Total sumber daya yang digunakan harus sama dengan jumlah dari sumber daya yang digunakan untuk setiap aktivitas dalam kendala (misalnya, tenaga kerja).

- 3) Nilai-nilai variabel keputusan kontinu atau habis apabila dibagi.

Properti lain dari model pemrograman linier adalah bahwa nilai solusi (dari variabel keputusan) tidak dapat dibatasi pada nilai integer, dimana keputusan variabel dapat mengambil nilai pecahan apa pun. Dengan demikian, variabel dikatakan kontinu atau habis dibagi, berlawanan dengan bilangan bulat atau diskrit. Misalnya, meskipun variabel keputusan yang mewakili mangkuk atau mug atau pesawat terbang atau mobil harus secara realistis memiliki solusi bilangan bulat (bilangan bulat), metode solusi untuk pemrograman linier tidak serta merta memberikan solusi seperti itu.

- 4) Semua parameter model diasumsikan diketahui dengan pasti.

Properti akhir dari model pemrograman linier adalah bahwa nilai semua parameter model diasumsikan konstan dan diketahui dengan pasti. Bagaimanapun, parameter model sering tidak pasti karena mereka mencerminkan masa depan serta saat ini, dan kondisi masa depan jarang diketahui dengan pasti.

B. Metode Simplex

Metode simpleks, adalah teknik solusi matematis umum untuk menyelesaikan masalah program linier. Dalam metode simpleks, model dimasukkan ke dalam bentuk tabel, dan kemudian sejumlah langkah matematika dilakukan pada tabel tersebut. Langkah-langkah matematis ini pada dasarnya meniru proses dalam analisis grafik bergerak dari satu titik ekstrim pada batas solusi yang lain. Namun, tidak seperti metode grafis, di

mana kita hanya bisa mencari melalui semua titik solusi untuk menemukan yang terbaik, metode simpleks bergerak dari satu solusi yang lebih baik ke yang lain sampai solusi yang terbaik ditemukan, dan kemudian berhenti.

Sampai batas tertentu, analisis grafik memberikan pemahaman tentang proses solusi, dan pengetahuan tentang metode simpleks lebih jauh memperluas pemahaman itu. Sebenarnya, solusi dengan menggunakan aplikasi komputer seperti QS dan Excel biasanya diturunkan dengan menggunakan metode simpleks. Akibatnya, banyak terminologi dan notasi yang digunakan dalam perangkat lunak komputer berasal dari metode simpleks. Oleh karena itu, bagi mahasiswa ilmu manajemen yang menginginkan pengetahuan yang lebih mendalam tentang pemrograman linier, ada baiknya mempelajari simpleks.

Langkah-langkah metode simpleks dilakukan dalam kerangka tabel, atau *tableau*. *Tableau* mengatur model ke dalam bentuk yang membuat penerapan langkah-langkah matematika lebih mudah. **Metode simpleks adalah sekumpulan langkah matematika untuk menyelesaikan masalah program linier yang dilakukan dalam sebuah tabel yang disebut simpleks *Tableau*.**

B1. Contoh Kasus Maksimasi Menggunakan Tabel Simpleks

Kita akan menggunakan contoh soal sebelumnya yaitu kasus maksimasi pada perusahaan kerajinan kecil yang memproduksi mangkuk dan cangkir dari tanah liat. Berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui formula model sbb:

$$\text{Maksimasi } Z = 40 x_1 + 50 x_2 + s_1 + s_2$$

$$\text{Dimana } x_1 + 2 x_2 + s_1 \leq 40$$

$$4 x_1 + 3 x_2 + s_2 \leq 120$$

$$x_1, x_2, s_1, s_2 \geq 0$$

berikut ini adalah awalan tabel simpleks

c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2

Langkah pertama dalam mengisi Tabel tersebut adalah mencatat variabel model sepanjang baris kedua dari atas. Dua variabel keputusan didaftar terlebih dahulu, dalam urutan besaran subskrip, diikuti oleh variabel slack, juga dicantumkan dalam urutan besaran subskripnya. Langkah ini menghasilkan baris dengan x_1 , x_2 , s_1 , dan s_2 .

Langkah selanjutnya adalah menentukan solusi fisibel dasar. Dengan kata lain, dua variabel mana yang akan membentuk solusi fisibel dasar dan mana yang akan diberi nilai nol, tidak seperti analisis grafis yang memilih titik secara sewenang-wenang (seperti yang kita lakukan dengan titik A, B, dan C di bagian sebelumnya), metode simpleks memilih titik asal sebagai solusi layak dasar awal karena nilai-nilai variabel keputusan di titik asal selalu diketahui dalam semua masalah program linier. Pada saat itu $x_1 = 0$ dan $x_2 = 0$, dengan demikian, variabel dalam solusi layak dasar adalah s_1 dan s_2 .

Batas 1, $x_1 + 2x_2 \leq 40$ menjadi $x_1 + 2x_2 + s_1 = 40$

Jika $x_1 = 0$ dan $x_2 = 0$, maka

$$0 + 2(0) + s_1 = 40 \text{ maka } s_1 = 40$$

Batas 2, $4x_1 + 3x_2 \leq 120$ menjadi $4x_1 + 3x_2 + s_2 = 120$

Jika $x_1 = 0$ dan $x_2 = 0$, maka

$$4(0) + 3(0) + s_2 = 120 \text{ maka } s_2 = 120$$

c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
	s_1	40				
	s_2	120				

Solusi layak dasar dalam tabel simpleks awal adalah titik asal dimana semua variabel keputusan sama dengan nol.

Tabel simpleks awal selalu dimulai dengan solusi di titik asal, di mana x_1 dan x_2 sama dengan nol. Jadi, variabel dasar pada titik asal adalah slak variabel, s_1 dan s_2 . Karena nilai kuantitas dalam solusi awal selalu muncul sebagai nilai sisi kanan dari persamaan kendala, mereka dapat dibaca langsung dari persamaan kendala asli.

Nilai kolom kuantitas adalah nilai solusi untuk variabel dalam solusi layak dasar. Dua baris teratas dan dua baris terbawah adalah standar untuk semua tabel. Pastikan jumlah baris tengah setara dengan jumlah kendala dalam model. Misalnya, masalah ini memiliki dua kendala, maka tabel akan memiliki dua baris tengah yang sesuai dengan s_1 dan s_2 . (*perhatikan: n variabel dikurangi m kendala sama dengan jumlah variabel dalam masalah dengan nilai nol. Ini juga berarti bahwa jumlah variabel dasar dengan nilai selain nol akan sama dengan m kendala.*)

Jumlah baris dalam tabel sama dengan jumlah kendala ditambah empat.

Tiga kolom di sisi kiri tabel adalah standar, dan kolom yang tersisa setara dengan jumlah variabel. Karena ada empat variabel dalam model ini, ada empat kolom di sebelah kanan tabel, sesuai dengan x_1 , x_2 , s_1 , dan s_2 . Jumlah kolom dalam tabel sama dengan jumlah variabel (termasuk slacks, dll.) ditambah tiga. Langkah selanjutnya adalah mengisi nilai c_j , yang merupakan koefisien fungsi tujuan, yang mewakili kontribusi terhadap laba (atau biaya) untuk setiap variabel x_j atau s_j di dalam fungsi tujuan.

Di baris atas nilai c_j 40, 50, 0, dan 0 dimasukkan untuk setiap variabel dalam model, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
0	s_1	40				
0	s_2	120				
	Z_j					
	$c_j Z_j$					

Nilai c_j adalah kontribusi terhadap laba (atau biaya) untuk setiap variabel

Nilai untuk c_j di sisi kiri tabel adalah kontribusi untuk keuntungan variabel-variabel dalam solusi layak dasar, dalam hal ini s_1 dan s_2 . Nilai tersebut dimasukkan pada tabel sehingga dapat digunakan nanti untuk menghitung nilai di baris Z_j .

Kolom di bawah setiap variabel (yaitu, x_1 , x_2 , s_1 , dan s_2) diisi dengan koefisien variabel keputusan dan variabel slack dalam kendala model persamaan. Baris s_1 mewakili batasan model pertama, sehingga, koefisien untuk x_1 adalah 1, koefisien untuk x_2 adalah 2, koefisien untuk s_1 adalah 1, dan koefisien untuk s_2 adalah 0. Nilai pada baris s_2 adalah koefisien persamaan kendala kedua, 4, 3, 0, dan 1, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
0	s_1	40	1	2	1	0
0	s_2	120	4	3	0	1
	Z_j					
	$c_j Z_j$					

Dalam proses melengkapi proses pengisian tabel simpleks awal, nilai yang tersisa pada baris Z_j dan $c_j Z_j$, serta nilai tabel berikutnya dihitung secara matematis menggunakan rumus simpleks. Berikut ini rangkuman langkah-langkah metode simpleks (untuk model maksimalisasi):

- a) Pertama, ubah semua pertidaksamaan menjadi persamaan dengan menambahkan variabel slack.
- b) Buatlah tabel simpleks dengan jumlah kolom sama dengan jumlah variabel ditambah tiga, dan jumlah baris sama dengan jumlah variabel kendala ditambah empat.
- c) Siapkan judul tabel yang mencantumkan variabel keputusan model dan variabel slack.
- d) Masukkan solusi fisibel awal, yang merupakan variabel slack dan nilai kuantitasnya.
- e) Tetapkan nilai c_j untuk variabel model di baris atas dan variabel solusi fisibel dasar di sisi kiri.
- f) Masukkan koefisien kendala model ke dalam badan tabel.

Menghitung Baris z_j dan $c_j z_j$

Sejauh ini tabel simpleks telah diatur menggunakan nilai yang diambil langsung dari model. Dari titik ini nilai-nilai ditentukan dengan perhitungan sbb. Pertama, nilai pada baris z_j dihitung dengan mengalikan setiap nilai kolom c_j (di sisi kiri) dengan setiap nilai kolom di bawah kuantitas, x_1 , x_2 , s_1 , dan s_2 lalu menjumlahkan masing-masing set nilai ini. Nilai z_j ditampilkan pada tabel berikut:

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
0	s_1	40	1	2	1	0
0	s_2	120	4	3	0	1
	z_j	0	0	0	0	0
	$c_j z_j$					

Nilai baris z_j dihitung dengan mengalikan nilai kolom c_j dengan nilai kolom variabel dan menjumlahkannya.

Misalnya, nilai pada baris z_j di bawah kolom kuantitas ditemukan sebagai berikut:

c_j jumlah (kuantitas)

$$0 \times 40 = 0$$

$$0 \times 120 = 0$$

$$z_q = 0$$

Nilai pada baris z_j di bawah kolom x_1 ditemukan dengan cara yang sama.

c_j x_1

$$0 \times 1 = 0$$

$$0 \times 4 = 0$$

$$Z_j = 0$$

Semua nilai baris z_j lainnya untuk tabel tersebut akan menjadi nol ketika dihitung menggunakan rumus ini.

Catatan: Metode simpleks bekerja dengan cara berpindah dari satu titik solusi (ekstrim) ke titik yang berdekatan hingga menemukan solusi terbaik.

Sekarang baris $c_j z_j$ dihitung dengan mengurangkan nilai baris z_j dari nilai baris c_j (atas). Misalnya, dalam kolom x_1 nilai baris $c_j z_j$ dihitung sebagai $40 - 0 = 40$. Nilai ini serta nilai $c_j z_j$ lainnya ditunjukkan pada Tabel berikut, yang merupakan tabel simpleks awal lengkap dengan semua nilai terisi. Tabel tersebut mewakili solusi di titik asal, di mana $x_1 = 0$, $x_2 = 0$, $s_1 = 40$, dan $s_2 = 120$. Keuntungan yang diwakili oleh solusi ini (yaitu, nilai z) diberikan dalam baris z_j di bawah kolom kuantitas.

Solusi tersebut jelas tidak optimal karena tidak ada keuntungan yang dihasilkan. Jadi, kami ingin pindah ke titik solusi yang akan memberikan solusi yang lebih baik. Dengan kata lain, kita ingin memproduksi beberapa mangkuk (x_1) atau beberapa cangkir (x_2). Salah satu variabel nonbasic (yaitu,

variabel yang tidak tersedia di solusi layak dasar saat ini) akan memasuki solusi dan menjadi dasar

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
0	s_1	40	1	2	1	0
0	s_2	120	4	3	0	1
	Z_j	0	0	0	0	0
	$c_j Z_j$		40	50	0	0

Penggunaan Variabel Nonbasic

Sebagai contoh, anggaplah perusahaan tembikar memutuskan untuk memproduksi beberapa mangkuk. Dengan keputusan ini x_1 akan menjadi variabel dasar. Untuk setiap unit x_1 (yaitu, setiap mangkuk) yang dihasilkan, keuntungan akan meningkat sebesar Rp40rb karena itu adalah kontribusi keuntungan dari mangkuk. Namun, ketika mangkuk (x_1) diproduksi, beberapa sumber daya yang sebelumnya tidak terpakai akan digunakan. Misalnya, jika

$$x_1 = 1$$

kemudian

$$x_1 + 2x_2 + s_1 = 40 \text{ jam kerja}$$

$$1 + 2(0) + s_1 = 40$$

$$s_1 = 39 \text{ jam kerja}$$

dan

$$4x_1 + 3x_2 + s_2 = 120 \text{ kg tanah liat}$$

$$4(1) + 3(0) + s_2 = 120$$

$$s_2 = 116 \text{ kg tanah liat}$$

pada fungsi batasan jam kerja, kita melihat bahwa, dengan produksi satu mangkuk, jumlah tenaga kerja yang berkurang (slack / tidak terpakai) berkurang 1 jam. pada fungsi batasan kg tanah liat, jumlah slack (kg yang tidak terpakai) berkurang 4 kg. Kemudian kita akan mensubstitusi kenaikan ini

(untuk x_1) dan penurunan (untuk slack) ke dalam fungsi tujuan sehingga memberikan:

$$\begin{aligned} Z &= 40(1) + 50(0) + 0(1) + 0(4) \\ Z &= \text{Rp}40\text{rb} \end{aligned}$$

Variabel dengan nilai c_j z_j positif terbesar adalah variabel yang masuk kedalam tabel simpleks.

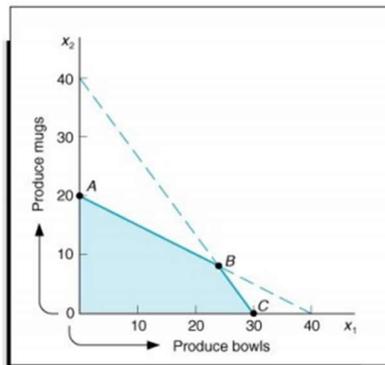
Bagian pertama dari hubungan fungsi tujuan ini mewakili nilai-nilai dalam baris c_j ; dan bagian kedua mewakili nilai dalam baris z_j . Fungsinya mengungkapkan fakta bahwa untuk menghasilkan beberapa mangkuk, kita harus menyerahkan sebagian dari keuntungan yang telah diperoleh dari barang-barang yang mereka ganti. Dalam hal ini produksi mangkuk hanya diganti slack, jadi tidak ada keuntungan yang hilang. Secara umum, nilai baris c_j z_j mewakili kenaikan bersih per unit memasukkan variabel nonbasis ke dalam solusi dasar. Tentu, kami ingin menghasilkan uang sebanyak mungkin, karena tujuannya adalah untuk memaksimalkan keuntungan. Oleh karena itu, kita masukkan variabel yang akan memberikan peningkatan laba bersih terbesar per unit. Dari Tabel berikut ini, kita memilih variabel x_2 sebagai variabel dasar masuk karena memiliki kenaikan bersih terbesar dalam profit per unit, Rp50rb nilai positif tertinggi di baris c_j z_j .

c_j	Variabel dasar	jumlah	40 x_1	50 x_2	0 s_1	0 s_2
0	s_1	40	1	2	1	0
0	s_2	120	4	3	0	1
	z_j	0	0	0	0	0
	c_j z_j		40	50	0	0

Kolom x_2 , yang disorot dalam Tabel sebelumnya, disebut sebagai kolom pivot. (Operasi yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan simultan sering disebut dalam terminologi matematika sebagai operasi pivot).

Kolom pivot adalah kolom yang sesuai dengan variabel yang masuk.

Pemilihan variabel dasar yang masuk juga ditunjukkan oleh grafik pada Gambar berikut. Dimana pada awalnya tidak ada yang dihasilkan. Dalam metode simpleks kita bergerak dari satu titik solusi ke titik yang berdekatan (yaitu, satu variabel dalam solusi layak dasar diganti dengan variabel yang sebelumnya nol). Pada Gambar berikut kita dapat bergerak sepanjang sumbu x_1 atau sumbu x_2 untuk mencari solusi yang lebih baik. Karena peningkatan x_2 akan menghasilkan keuntungan yang lebih besar, kita memilih x_2 .



Gambar 7.20 Pergerakan Sumbu x dan y dalam Proses Mencari Solusi

Keluarnya Variabel Dasar

Karena setiap solusi fisibel dasar hanya berisi dua variabel dengan nilai bukan nol, salah satu dari dua variabel dasar yang ada, s_1 atau s_2 , harus meninggalkan solusi dan menjadi nol. Karena kita telah memutuskan untuk memproduksi cangkir (x_2), kita ingin memproduksi sebanyak mungkin atau, dengan kata lain, sebanyak mungkin sumber daya yang kita miliki. Kita melihat batasan jam tenaga kerja yang merencanakan akan menggunakan semua tenaga kerja

untuk membuat cangkir (karena tidak ada mangkuk yang akan diproduksi, $x_1 = 0$; dan karena kita akan menggunakan semua jam kerja yang mungkin dan $s_1 =$ sumber tenaga kerja yang tidak digunakan, maka nilai $s_1 = 0$).

$$1x_1 + 2x_2 + s_1 = 40 \text{ jam kerja}$$

$$1(0) + 2x_2 + 0 = 40 \text{ jam kerja}$$

$$x_2 = 40 \text{ jam kerja} / 2 \text{ jam /cangkir}$$

$$x_2 = 20 \text{ cangkir}$$

dan

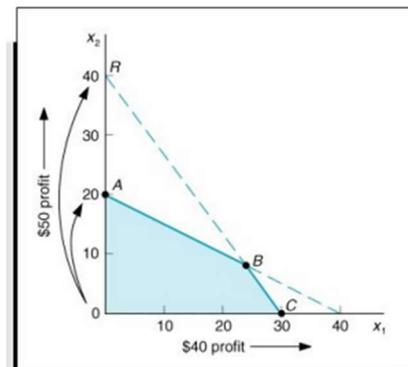
$$4x_1 + 3x_2 + s_2 = 120 \text{ kg tanah liat}$$

$$4(0) + 3x_2 + 0 = 120 \text{ kg tanah liat}$$

$$x_2 = 120 \text{ jam kerja} / 3 \text{ kg /cangkir}$$

$$x_2 = 40 \text{ cangkir}$$

Hal ini menunjukkan bahwa tanah liat yang ada cukup untuk menghasilkan 40 cangkir. Tapi tenaga kerja cukup untuk memproduksi 20 cangkir saja. Kita membatasi produksi hanya 20 cangkir karena kita tidak memiliki tenaga kerja yang cukup untuk memproduksi lebih dari itu. Analisis ini ditampilkan secara grafis sebagai berikut:



Gambar 7.21 Pergerakan Titik Solusi

Karena kita bergerak keluar dari sumbu x_2 , kita dapat bergerak dari titik asal ke titik A atau titik R. Kita memilih titik A karena titik tersebut paling dibatasi dan dengan demikian layak, sedangkan titik R tidak layak. Analisis ini

dilakukan dalam metode simpleks dengan membagi nilai kuantitas variabel solusi dasar dengan kolom pivot.

Variabel dasar	jumlah	x_2
s_1	40	$+2 = 20$, merupakan variabel yang keluar
s_2	120	$+3 = 40$

variabel yang keluar ditentukan dengan membagi nilai kuantitas dengan nilai kolom pivot dan memilih nilai minimum yang mungkin atau nol.

Variabel dasar yang keluar dari tabel simpleks adalah variabel yang sesuai dengan hasil bagi nonnegatif minimum, yang dalam hal ini adalah 20. (Perhatikan bahwa nilai nol akan memenuhi syarat sebagai hasil bagi minimum dan akan menjadi pilihan untuk variabel yang meninggalkan.) Oleh karena itu, s_1 adalah variabel yang meninggalkan. (Pada titik A pada Gambar sebelumnya, s_1 sama dengan nol)

karena semua tenaga digunakan untuk membuat 20 mug.) Baris s_1 , disorot pada Tabel A-8, juga disebut sebagai baris pivot

c_j	Variabel dasar	jumlah	40	50	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2
0	s_1	40	1	2	1	0
0	s_2	120	4	3	0	1
	Z_j	0	0	0	0	0
	$c_j Z_j$		40	50	0	0

Baris pivot adalah baris yang sesuai dengan variabel keluar. Nilai 2 pada perpotongan baris pivot dan kolom pivot disebut angka pivot. Nomor pivot, baris, dan kolom semuanya berperan dalam mengembangkan tabel berikutnya. Kami sekarang siap untuk melanjutkan ke tabel simpleks kedua dan solusi yang lebih baik. Nomor pivot adalah nomor di persimpangan kolom pivot dan baris pivot.

Mengembangkan Tabel Simpleks Baru

Tabel berikut menunjukkan tabel simpleks kedua dengan variabel solusi layak dasar baru x_2 dan s_2 dan nilai c_j yang sesuai.

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
50	s_1					
0	s_2					
	Z_j					
	$c_j Z_j$					

Berbagai nilai baris pada tabel kedua dihitung menggunakan beberapa rumus simpleks. Pertama, baris x_2 , yang disebut baris tabel pivot baru, dihitung dengan cara membagi setiap nilai di baris pivot dari tabel pertama (lama) dengan nomor pivot. Rumus untuk perhitungan ini adalah sbb:

$$\text{baris baru pivot} = \frac{\text{baris pivot pada tabel sebelumnya}}{\text{nomor pivot}}$$

Menghitung nilai baris tabel pivot baru.

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
50	s_1	20	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0
0	s_2					
	Z_j					
	$c_j Z_j$					

Untuk menghitung semua nilai baris yang tersisa (dalam hal ini hanya ada satu baris lainnya), rumus lain digunakan. Menghitung semua nilai baris yang tersisa:

nilai pada baris tabel baru

= *nilai pada baris lama* (koefisien yang sesuai di kolom pivot \times nilai baris pivot tabel baru yang sesuai)

rumus ini membutuhkan penggunaan tabel lama dan tabel baru. Nilai baris s_2 dihitung dalam tabel berikut:

Kolom	Nilai baris pada tabel yang lama	-	(koefisien yang sesuai di kolom pivot	x	nilai baris pivot tabel baru)	=	Nilai baris pada tabel baru
Jumlah	120	-	(3	x	20)	=	60
x_1	4	-	(3	x	$\frac{1}{2}$)	=	$\frac{5}{2}$
x_2	3	-	(3	x	1)	=	0
s_1	0	-	(3	x	$\frac{1}{2}$)	=	$-\frac{3}{2}$
s_2	1	-	(3	x	0)	=	1

Nilai-nilai ini telah dimasukkan ke dalam tabel simpleks yang baru. Solusi ini sesuai dengan titik A dalam grafik model ini pada Gambar sebelumnya. Solusi pada titik ini adalah $x_1 = 0$, $x_2 = 20$, $s_1 = 0$, $s_2 = 60$. Dengan kata lain, 20 cangkir diproduksi dan 60 kg tanah liat tidak terpakai. Tidak ada mangkuk yang diproduksi dan tidak ada jam kerja yang tidak digunakan.

c_j	Variabel dasar	jumlah	40	50	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2
50	s_1	20	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0
0	s_2	60	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{3}{2}$	1
	Z_j					
	$c_j Z_j$					

Tabel simpleks kedua diselesaikan dengan menghitung nilai baris z_j dan $c_j z_j$ dengan cara yang sama seperti menghitung pada tabel pertama. Baris z_j dihitung dengan menjumlahkan produk dari kolom c_j dan semua nilai kolom lainnya:

Kolom				
Jumlah	z_j	$= (50) (20)$	$+ (0) (60)$	$= 1.000$
x_1	z_1	$= (50) (1/2)$	$+ (0) (5/2)$	$= 25$
x_2	z_2	$= (50) (1)$	$+ (0) (0)$	$= 50$
s_1	z_3	$= (50) (1/2)$	$+ (0) (3/2)$	$= 25$
s_2	z_4	$= (50) (0)$	$+ (0) (1)$	$= 0$

Nilai baris z_j dan nilai baris $c_j z_j$ ditambahkan ke tabel untuk memberikan tabel simpleks kedua lengkap yang ditunjukkan pada Tabel berikutnya. Nilai 1.000 in baris z_j adalah nilai fungsi tujuan (laba) untuk solusi layak dasar berikutnya:

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
50	s_1	20	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0
0	s_2	60	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{3}{2}$	1
	z_j	1.000	25	50	25	0
	$c_j z_j$		15	0	25	0

Langkah-langkah komputasi yang kami ikuti untuk mendapatkan tabel kedua pada dasarnya menyelesaikan hal yang sama seperti operasi baris dalam solusi persamaan simultan. Langkah-langkah yang sama ini digunakan untuk menurunkan setiap tabel berikutnya, yang disebut iterasi.

Setiap tabel sama dengan melakukan operasi baris untuk satu set persamaan simultan.

Tabel Simpleks Optimal

Langkah-langkah yang kita ikuti untuk menurunkan tabel simpleks kedua diulang untuk mengembangkan tabel ketiga. Pertama, kolom pivot atau memasukkan variabel dasar ditentukan. Karena 15 pada baris $c_j z_j$ menunjukkan peningkatan laba bersih positif terbesar, x_1 menjadi variabel nonbasis yang masuk. Membagi poros nilai kolom menjadi nilai di kolom kuantitas menunjukkan bahwa s_2 adalah variabel dasar yang meninggalkan dan sesuai dengan baris pivot.

			40	50	0	0
c_j	Variabel dasar	jumlah	x_1	x_2	s_1	s_2
50	s_1	20	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$	0
0	s_2	60	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{3}{2}$	1
	z_j	1.000	25	50	25	0

c_j Z_j	15	0	25	0
-------------	----	---	----	---

Pada titik ini kita mungkin bertanya-tanya mengapa peningkatan bersih laba per mangkuk (x_1) adalah Rp.15rb daripada laba awal Rp.40rb. Hal ini karena produksi mangkuk (x_1) akan membutuhkan beberapa sumber daya yang sebelumnya digunakan untuk memproduksi cangkir (x_2) saja. Memproduksi beberapa mangkuk berarti tidak memproduksi sebanyak mungkin cangkir; dengan demikian, kita mengorbankan sebagian dari keuntungan yang diperoleh dari memproduksi cangkir untuk mendapatkan lebih banyak lagi dengan memproduksi mangkuk. Perbedaan ini adalah peningkatan bersih sebesar Rp.15rb.

Baris pivot tabel simpleks baru (x_1) di tabel simpleks simpleks ketiga dihitung menggunakan rumus yang sama yang digunakan sebelumnya. Dengan demikian, semua nilai baris pivot lama dibagi melalui oleh $5/2$, nomor pivot. Nilai-nilai ini ditunjukkan pada Tabel berikut. Nilai untuk baris lainnya (x_2) dihitung seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Kolom	Nilai baris pada tabel yang lama	-	(koefisien yang sesuai di kolom pivot	x	nilai baris pivot tabel baru)	=	Nilai baris pada tabel baru
Jumlah	20	-	($1/2$	x	24)	=	8
x_1	$1/2$	-	($1/2$	x	1)	=	0
x_2	1	-	($1/2$	x	0)	=	1
s_1	$1/2$	-	($1/2$	x	-3/5)	=	4/5
s_2	0	-	($1/2$	x	2/5)	=	-1/5

Berikut adalah hasil tabel simpleks ketiga:

c_j	Variabel dasar	jumlah	40	50	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2
50	s_1	8	0	1	4/5	1/5
40	s_2	24	1	0	3/5	2/5
	Z_j	1.360	40	50	16	6
	$c_j - Z_j$		0	0	16	6

Nilai baris baru ini, serta baris z_j baru dan baris $c_j z_j$, ditampilkan dalam tabel simpleks ketiga yang lengkap pada Tabel sebelumnya.

Mengamati baris $c_j z_j$ untuk menentukan variabel yang masuk, kita melihat bahwa variabel nonbasis tidak akan menghasilkan peningkatan laba bersih yang positif, karena semua nilai dalam baris $c_j z_j$ adalah nol atau negatif. Ini berarti bahwa solusi optimal telah tercapai. Solusinya adalah

$$\begin{aligned} x_1 &= 24 \text{ mangkok} \\ x_2 &= 8 \text{ cangkir} \\ Z &= \text{Rp.1.360rb (laba / keuntungan)} \end{aligned}$$

B2. Contoh Kasus Minimasi

Kita akan menggunakan contoh soal sebelumnya yaitu kasus minimasi pada permasalahan penentuan pupuk pada lahan petani. Berdasarkan perhitungan sebelumnya diketahui formula model sbb:

$$\begin{aligned} \text{Minimasi } Z &= 6x_1 + 3x_2 \\ \text{Dimana } 2x_1 + 4x_2 &\geq 16 \\ 4x_1 + 3x_2 &\geq 24 \\ x_1 \geq 0 \text{ dan } x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

x_1 = kantong Super-gro
 x_2 = kantong Crop-quick
 Z = total biaya pembelian oleh petani

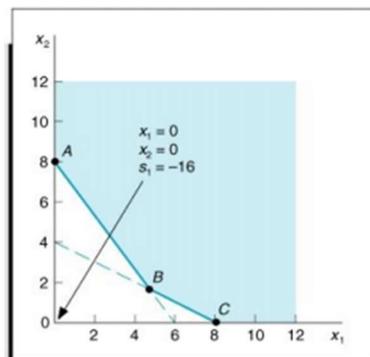
Model sebelumnya akan ditransformasikan ke dalam bentuk standar dengan mengurangi variabel surplus dari dua \geq kendala, model baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Minimasi } Z &= 6x_1 + 3x_2 + s_1 + s_2 \\ \text{Dimana } 2x_1 + 4x_2 - s_1 &= 16 \\ 4x_1 + 3x_2 - s_2 &= 24 \\ x_1, x_2, s_1, s_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Variabel surplus mewakili jumlah tambahan nitrogen dan fosfat yang melebihi persyaratan minimum yang ditentukan dalam batasan. Namun, metode simpleks mensyaratkan bahwa solusi layak dasar awal berada di titik asal, di mana $x_1 = 0$ dan $x_2 = 0$. Menguji nilai solusi ini, kita memiliki

$$\begin{aligned} 2x_1 + 4x_2 - s_1 &= 16 \\ 2(0) + 4(0) - s_1 &= 16 \\ s_1 &= -16 \end{aligned}$$

Gagasan "negatif kelebihan nitrogen" tidak logis dan melanggar pembatasan nonnegativitas dari pemrograman linier. Alasan variabel surplus tidak bekerja ditunjukkan pada Gambar berikut, dimana solusi di titik asal berada di luar ruang solusi fisibel.



Gambar 7.22 Solusi Titik Berada di Luar Area Solusi

Untuk menyelesaikan permasalahan ini dan mendapatkan solusi di titik asal, kami menambahkan variabel buatan (a_1) ke persamaan kendala.

$$2x_1 + 4x_2 - s_1 + a_1 = 16$$

Catatan: Sebuah **variabel buatan** memungkinkan untuk solusi layak dasar awal di titik asal, tetapi tidak memiliki arti yang sebenarnya.

Variabel artifisial “a₁” tidak memiliki arti sebagai variabel slack atau variabel surplus. Itu dimasukkan ke dalam persamaan hanya untuk memberikan positif solusi di awal dimana dimaksudkan kita secara artifisial menciptakan solusi.

$$2x_1 + 4x_2 - s_1 + a_1 = 16$$

$$2(0) + 4(0) - s_1 + a_1 = 16$$

$$-s_1 + a_1 = 16 \text{ jika } s = 0 \text{ maka } a_1 = 16$$

Variabel buatan berlaku seperti analog dengan roket pendorong tujuannya adalah untuk membuat kita keluar dari masalah, tapi begitu kita masuk kedalam permasalahan, variabel buatan tersebut tidak ada gunanya dan dengan demikian dibuang. Solusi buatan membantu memulai proses simpleks, tetapi kita tidak ingin itu berakhir di solusi optimal, karena tidak memiliki arti yang sebenarnya.

Ketika variabel surplus dikurangi dan variabel buatan ditambahkan, kendala fosfat menjadi:

$$4x_1 + 3x_2 - s_2 + a_2 = 24$$

Pengaruh variabel surplus dan buatan pada fungsi tujuan sekarang harus dipertimbangkan. Seperti variabel slack, variabel surplus tidak berpengaruh pada fungsi tujuan dalam hal kenaikan atau penurunan biaya. Misalnya, kelebihan 24 kg nitrogen tidak berkontribusi pada biaya tujuan fungsi, karena biaya ditentukan semata-mata oleh jumlah kantong pupuk yang dibeli (yaitu, nilai x_1 dan x_2). Jadi, koefisien 0 diberikan untuk setiap variabel surplus dalam fungsi tujuan. Dengan menetapkan "biaya" sebesar Rp.0rb untuk setiap variabel surplus, kita tidak melarangnya berada dalam solusi optimal akhir. Akan sangat realistis untuk memiliki optimal campuran yang menunjukkan beberapa kelebihan nitrogen atau fosfat. Demikian juga, menetapkan biaya Rp.0rb ke variabel buatan dalam fungsi tujuan tidak akan melarangnya dari berada dalam solusi optimal akhir.

Namun, jika variabel artifisial muncul dalam solusi, itu akan membuat solusi akhir menjadi tidak berarti. Oleh karena itu, kita harus memastikan bahwa variabel buatan tidak ada dalam solusi akhir. Seperti disebutkan sebelumnya, keberadaan variabel tertentu dalam solusi akhir didasarkan pada keuntungan atau biaya relatifnya. Misalnya, jika sekantong Super-gro berharga Rp.600rb bukannya Rp.6rb dan Crop-quick tetap di Rp.3rb, diragukan bahwa petani akan membeli Super-gro (yaitu, x_1 tidak akan ada dalam solusi). Dengan demikian, kita bisa melarang variabel berada di solusi akhir dengan menetapkan biaya yang sangat besar. Daripada membebankan biaya pembelian ke variabel buatan, kita akan menetapkan nilai M, yang mewakili biaya positif yang besar (katakanlah, Rp1.000.000). Operasi ini diharapkan menghasilkan fungsi tujuan yang diharapkan untuk contoh kita.

$$\text{Minimasi } Z = 6x_1 + 3x_2 + 0s_1 + 0s_2 + Ma_1 + Ma_2$$

Model minimalisasi yang sepenuhnya berubah sekarang dapat diringkas sebagai berikut:

$$\text{Minimasi } Z = 6x_1 + 3x_2 + 0s_1 + 0s_2 + Ma_1 + Ma_2$$

$$\text{dengan } 2x_1 + 4x_2 - s_1 + a_1 = 16$$

$$4x_1 + 3x_2 - s_2 + a_2 = 24$$

$$x_1, x_2, s_1, s_2, a_1, a_2 \geq 0$$

Variabel buatan diberi biaya besar dalam fungsi tujuan (dengan inisial M yaitu million / jutaan) untuk menghilangkannya dari solusi akhir.

Tabel Simpleks untuk Masalah Minimalisasi

Tabel simpleks awal untuk model minimalisasi dikembangkan dengan cara yang sama seperti untuk model maksimalisasi. Perbedaan terjadi pada perhitungan $c_j - z_j$ di baris bawah tabel, kita menghitung $c_j - z_j$, yang mewakili penurunan bersih per unit dalam biaya, dan nilai positif terbesar adalah dipilih

sebagai variabel masuk dan kolom pivot. (Alternatifnya adalah membiarkan baris bawah sebagai $c_j z_j$ dan memilih nilai negatif terbesar sebagai pivotkolom. Namun, untuk mempertahankan aturan yang konsisten untuk memilih kolom pivot, kami akan menggunakan $c_j z_j$).

Baris $c_j z_j$ diubah menjadi $c_j z_j$ dalam tabel simpleks untuk masalah minimisasi. Tabel simpleks awal untuk model ini ditunjukkan pada Tabel berikut ini. Perhatikan bahwa a_1 dan a_2 membentuk solusi awal di titik asal, karena itulah alasan untuk memasukkannya di tempat pertama untuk mendapatkan solusi di titik asal. Ini bukan solusi fisibel dasar, karena titik asal tidak dalam area solusi fisibel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar sebelumnya. Seperti yang ditunjukkan sebelumnya, ini adalah solusi yang dibuat secara artifisial. Namun, proses simpleks akan bergerak menuju kelayakan di tabel berikutnya.

Catatan: bahwa di bagian atas variabel keputusan didaftar terlebih dahulu, kemudian variabel surplus, dan akhirnya variabel buatan.

c_j	Variabel dasar	jumlah	6	3	0	0	M	M
			x_1	x_2	s_1	s_2	a_1	a_2
M	a_1	16	2	4	1	0	1	0
M	a_2	24	4	3	0	1	0	1
	z_j	40M	6M	7M	M	M	M	M
	$z_j c_j$		6M	7M	M	M		
			6	3				

Pada Tabel berikut kolom x_2 dipilih sebagai kolom pivot karena $7M/3$ adalah nilai positif terbesar pada baris $z_j c_j$. a_1 dipilih sebagai dasar meninggalkan variabel (dan baris pivot) karena hasil bagi 4 untuk baris ini adalah nilai baris positif minimum.

Setelah variabel buatan dipilih sebagai variabel yang meninggalkan, itu tidak akan pernah masuk kembali ke tabel, sehingga dapat dihilangkan. Tabel

simpleks kedua dikembangkan menggunakan rumus simpleks yang disajikan sebelumnya. Hal ini ditunjukkan pada Tabel berikut. Perhatikan bahwa kolom a_1 telah dihilangkan di tabel simpleks kedua. Setelah variabel buatan meninggalkan solusi dasar yang layak, variabel tersebut tidak akan pernah kembali karena biayanya yang tinggi. Ingat, variabel buatan adalah satu-satunya variabel yang dapat diperlakukan dengan cara ini.

c_j	Variabel dasar	jumlah	6 x_1	3 x_2	0 s_1	0 s_2	M a_2
3	x_2	4	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{4}$	0	0
M	a_2	12	$\frac{5}{2}$	0	$\frac{3}{4}$	1	1
	z_j	$12M+2$	$5M/2+3/2$	3	$\frac{3}{4} +$ $3/M4$	M	M
	$z_j c_j$		$5M/29/2$	0	$\frac{3}{4} +$ $3/M4$	M	0

Tabel simpleks ketiga, dengan x_1 menggantikan a_2 , ditunjukkan pada Tabel berikut. Kedua kolom a_1 dan a_2 telah dihilangkan karena kedua variabel telah meninggalkan persamaan. Baris x_1 dipilih sebagai baris pivot karena sesuai dengan rasio positif minimum 16. Dalam memilih baris pivot, nilai 4 untuk x_2 baris tidak dipertimbangkan karena nilai positif minimum atau nol dipilih. Memilih baris x_2 akan menghasilkan nilai kuantitas negatif untuk s_1 di tabel iterasi keempat, dan hal tersebut tidak fisibel.

c_j	Variabel dasar	jumlah	6 x_1	3 x_2	0 s_1	0 s_2
3	x_2	$8/5$	0	1	$2/5$	$1/5$
6	x_1	$24/5$	1	0	$3/10$	$2/5$
	z_j	$168/5$	6	3	$3/5$	$9/5$
	$z_j c_j$		0	0	$3/5$	$9/5$

Pada iterasi keempat tabel simpleks, dengan s_1 menggantikan x_1 , ditunjukkan pada Tabel berikut ini, maka dapat dipastikan tabel tersebut adalah tabel

simpleks optimal karena baris $z_j - c_j$ tidak mengandung nilai-nilai yang positif.
Solusi optimalnya adalah

c_j	Variabel dasar	jumlah	6 x_1	3 x_2	0 s_1	0 s_2
3	x_2	8	4/3	1	0	1/3
0	s_1	16	10/3	0	1	4/3
	z_j	24	4	3	0	1
	$z_j - c_j$		2	0	0	1

$x_1 = 0$ kantong Super-gro yang dibeli

$s_1 = 16$ kg kelebihan nitrogen

$x_2 = 8$ kantong Crop-quick yang dibeli

$s_2 = 0$ kg kelebihan fosfat

Nilai $Z = \text{Rp}24\text{rb}$, sebagai nilai terminimal dalam membeli pupuk

C. Masalah Pemrograman Linier yang Tidak Lazim

Terdapat beberapa jenis masalah program linier khusus atau tidak biasa. Meskipun kasus-kasus khusus ini tidak sering terjadi, masalah itu akan dijelaskan dalam kerangka simpleks sehingga kita dapat memahaminya ketika masalah tersebut muncul.

Catatan: Untuk masalah tak beraturan, prosedur simpleks umum tidak selalu berlaku.

C.1 Multi Solusi Optimal

Mari kita perhatikan contoh soal maksimasi sebelumnya:

Maksimasi $Z = 40 x_1 + 50 x_2$

persamaan diatas kita ubah menjadi:

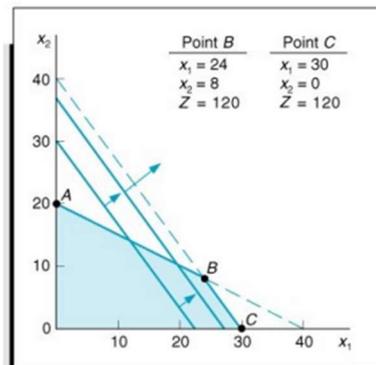
Maksimasi $Z = 40 x_1 + 30 x_2$

Dimana $x_1 + 2 x_2 \leq 40$

$$4x_1 + 3x_2 \leq 120$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

Gambar berikut akan menampilkan model grafik. Sedikit perubahan pada fungsi tujuan membuatnya sekarang sejajar dengan garis kendala, $4x_1 + 3x_2 \leq 120$. Oleh karena itu, ketika tepi fungsi tujuan bergerak keluar dari titik asal, ia menyentuh seluruh segmen garis BC daripada satu titik sudut ekstrem sebelumnya, dan meninggalkan daerah solusi yang layak. Titik akhir segmen garis ini, B dan C, biasanya disebut sebagai solusi optimal alternatif. Dipahami bahwa titik-titik ini mewakili titik akhir dari berbagai solusi optimal.



Gambar 7.23 Pergerakan Garis didalam Area Solusi

Alternatif solusi optimal memiliki nilai Z yang sama tetapi nilai variabel yang berbeda. Tabel simpleks yang optimal untuk masalah ini ditunjukkan pada Tabel berikut. Hal ini sesuai dengan titik C pada Gambar sebelumnya.

c_j	Variabel dasar	jumlah	40	50	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2
0	s_2	10	0	$5/4$	1	$1/4$
40	x_1	30	1	$3/4$	0	$1/4$
	z_j	1.200	40	30	0	10
	$z_j c_j$		0	0	0	10

Untuk solusi optimal berganda, nilai $c_j z_j$ (atau $z_j c_j$) untuk variabel nonbasis dalam tabel akhir sama dengan nol.

Fakta bahwa masalah ini berisi beberapa solusi optimal dapat ditentukan dari baris $c_j z_j$. Ingatlah bahwa nilai baris $c_j z_j$ adalah peningkatan laba bersih per unit untuk variabel di setiap kolom. Dengan demikian, $c_j z_j$ yang bernilai nol menunjukkan tidak ada kenaikan laba bersih dan tidak ada rugi laba bersih. Kita mengharapkan bahwa variabel dasar, yaitu s_1 dan x_1 , memiliki nilai $c_j z_j$ sebesar nol karena merupakan bagian dari solusi layak dasar; hal tersebut mengindikasikan sudah ada solusi sehingga tidak bisa dimasuki variabel lain. Namun, kolom x_2 memiliki nilai $c_j z_j$ sebesar nol dan bukan merupakan bagian dari solusi layak dasar. Ini berarti bahwa jika beberapa cangkir (x_2) diproduksi, kita akan memiliki bauran produk baru tetapi total laba yang sama. Dengan demikian, solusi optimal berganda ditunjukkan oleh nilai baris $c_j z_j$ (atau $z_j c_j$) nol untuk variabel nonbasis.

Untuk menentukan solusi titik akhir alternatif, biarkan x_2 menjadi variabel masuk (kolom pivot) dan pilih baris pivot seperti biasa. Seleksi ini menghasilkan s_1 baris menjadi baris pivot. Solusi alternatif yang sesuai dengan titik B pada Gambar sebelumnya ditunjukkan pada Tabel berikut ini.

c_j	Variabel dasar	jumlah	40 x_1	50 x_2	0 s_1	0 s_2
50	x_1	8	0	1	4/5	1/5
40	x_1	24	1	0	3/5	2/5
	z_j	1.200	40	30	0	10
	$z_j c_j$		0	0	0	10

Solusi optimal alternatif ditentukan dengan memilih variabel nonbasis dengan $c_j z_j = 0$ sebagai variabel masuk.

C.2 Masalah yang Tidak Memiliki Hasil

Ketidakteraturan program linier lainnya adalah kasus di mana masalah tidak memiliki area solusi yang layak. Sehingga, tidak ada solusi dasar yang

layak untuk masalah tersebut. Masalah yang tidak layak tidak memiliki ruang solusi yang layak.

Contoh masalah yang tidak layak dirumuskan sebagai berikut dan digambarkan secara grafis pada Gambar berikut:

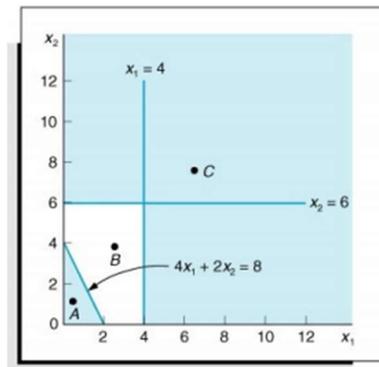
Maksimasi $Z = 5x_1 + 3x_2$

Dimana $4x_1 + 2x_2 \leq 8$

$x_1 \geq 4$

$x_2 \geq 6$

$x_1, x_2 \geq 0$



Gambar 7.24 Area Solusi dengan Masalah yang Tidak Memiliki Hasil

Ketiga kendala tidak tumpang tindih untuk membentuk daerah solusi yang layak. Karena tidak ada titik yang memenuhi ketiga kendala secara bersamaan, maka tidak ada solusi untuk masalah. Tabel simpleks terakhir untuk masalah ini ditunjukkan pada Tabel berikut.

c_j	Variabel dasar	jumlah	6	3	0	0	0	M	M
			x_1	x_2	s_1	s_2	s_2	A_1	A_2
3	x_2	4	2	1	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0
M	A_1	4	1	0	0	1	0	1	0
M	A_2	2	2	0	$\frac{1}{2}$	0	1	0	1
	z_j	126M	6+M	3	$3/2+M/2$	M	M	M	M
	$z_j c_j$		1M	0	$3/2M/2$	M	M	0	0

Masalah yang tidak layak memiliki variabel buatan dalam tabel simpleks akhir. Tabel pada sebelumnya memiliki semua nilai nol atau negatif pada baris

$c_j z_j$, menunjukkan bahwa itu optimal. Namun, solusinya adalah $x_2 = 4$, $A_1 = 4$, dan $A_2 = 2$.

Karena keberadaan variabel buatan dalam solusi akhir membuat solusi tidak berarti, dapat disimpulkan nilai tabel tersebut bukan solusi nyata. Secara umum, setiap saat $c_j z_j$ (atau $z_j c_j$) baris menunjukkan bahwa solusinya optimal tetapi ada variabel buatan dalam solusi, solusinya tidak layak. Masalah yang tidak layak biasanya tidak terjadi, tetapi ketika itu terjadi biasanya merupakan akibat dari kesalahan dalam mendefinisikan masalah atau dalam merumuskan model pemrograman linier.

C.3 Masalah Tanpa Batas

Dalam beberapa masalah, area solusi fisibel yang dibentuk oleh kendala model tidak tertutup. Dalam kasus ini adalah mungkin untuk fungsi tujuan meningkat tanpa batas tanpa pernah mencapai nilai maksimum karena tidak pernah mencapai batas daerah solusi layak.

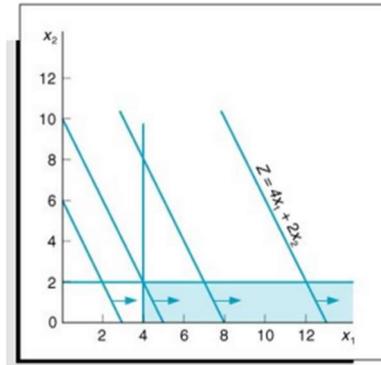
Dalam masalah tak terbatas, fungsi tujuan dapat meningkat tanpa batas karena ruang solusi tidak tertutup. Contoh dari jenis masalah ini dirumuskan berikut ini dan ditunjukkan secara grafis pada Gambar berikutnya:

$$\begin{aligned} \text{Maksimasi} \quad & Z = 4x_1 + 2x_2 \\ \text{Dimana} \quad & x_1 \geq 4 \\ & x_2 \leq 6 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

Catatan: **Baris pivot tidak dapat dipilih untuk masalah tak terbatas.**

Tabel kedua untuk masalah ini ditunjukkan pada Tabel berikut. Dalam tabel simpleks ini, s_1 dipilih sebagai variabel nonbasic masuk dan kolom pivot. Namun, tidak ada baris pivot atau meninggalkan variabel dasar. Satu nilai baris adalah 4 dan yang lainnya tidak terdefinisi. Ini menunjukkan bahwa titik

"paling dibatasi" tidak ada dan bahwa solusinya tidak terbatas. Secara umum, solusi tidak terbatas jika rasio nilai baris semuanya negatif atau tidak terdefinisi.



Gambar 7.25 Area Solusi Masalah Tanpa Batas

c_j	Variabel dasar	jumlah	4	2	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2
4	x_1	4	0	0	-1	0
0	x_2	2	1	1	0	1
	Z_j	16	4	0	-4	0
	$Z_j - c_j$		0	2	4	0

Keuntungan tak terbatas tidak mungkin ada di dunia nyata, solusi tak terbatas, menjadi sebuah solusi yang tidak layak, biasanya mencerminkan kesalahan dalam mendefinisikan masalah atau dalam merumuskan modelnya.

C.4 Dual

Setiap model pemrograman linier memiliki dua bentuk: primal dan dual. Bentuk asli dari model pemrograman linier disebut primal. Semua contoh yang kita bahas sebelumnya adalah model primal.

Dual adalah bentuk model alternatif yang diturunkan sepenuhnya dari primal. Dual berguna karena memberikan pengambil keputusan dengan cara alternatif untuk melihat suatu masalah. Sedangkan primal memberikan hasil penyelesaian berupa besarnya keuntungan yang diperoleh dari berproduksi

produk, dual memberikan informasi tentang nilai sumber daya yang dibatasi dalam mencapai keuntungan itu.

Catatan: **Model program linier asli disebut primal, dan bentuk alternatifnya adalah dual.**

Contoh berikut akan menunjukkan bagaimana bentuk model dual diturunkan dan bagaimana maksud dari model tersebut.

Perusahaan Furnitur memproduksi meja dan kursi sehari-hari. Setiap meja menghasilkan laba Rp160rb dan setiap kursi menghasilkan laba Rp200rb. Produksi meja dan kursi tergantung pada ketersediaan sumber daya yang terbatas tenaga kerja, kayu, dan ruang penyimpanan. Persyaratan sumber daya untuk produksi meja dan kursi dan total sumber daya tersedia adalah sebagai berikut.

Catatan: Variabel solusi ganda / dual, memberikan nilai sumber daya, yaitu *shadow price*.

Sumberdaya	Kebutuhan sumberdaya		Ketersediaan perhari
	Meja	Kursi	
Tenaga kerja (jam)	2	4	40
Kayu (m)	18	18	216
Penyimpanan (m ²)	24	12	240

Perusahaan ingin mengetahui jumlah meja dan kursi yang harus diproduksi per hari untuk memaksimalkan keuntungan. Model untuk masalah ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Maksimasi} \quad & Z = 160x_1 + 200x_2 \\
 \text{Dimana} \quad & 2x_1 + 4x_2 \leq 40 \text{ jam kerja} \\
 & 18x_1 + 18x_2 \leq 216 \text{ m kayu} \\
 & 24x_1 + 12x_2 \leq 240 \text{ m}^2 \text{ penyimpanan} \\
 & x_1, x_2 \geq 0
 \end{aligned}$$

di mana

x_1 = jumlah meja yang diproduksi

x_2 = jumlah kursi yang diproduksi

Model ini mewakili bentuk primal. Untuk model maksimalisasi primal, bentuk gandanya adalah model minimalisasi. Bentuk ganda dari contoh adalah sbb:

$$\text{Minimisasi} \quad Z = 40y_1 + 216y_2 + 240y_3$$

$$\text{Dimana} \quad 2y_1 + 18y_2 + 24y_3 \geq 160$$

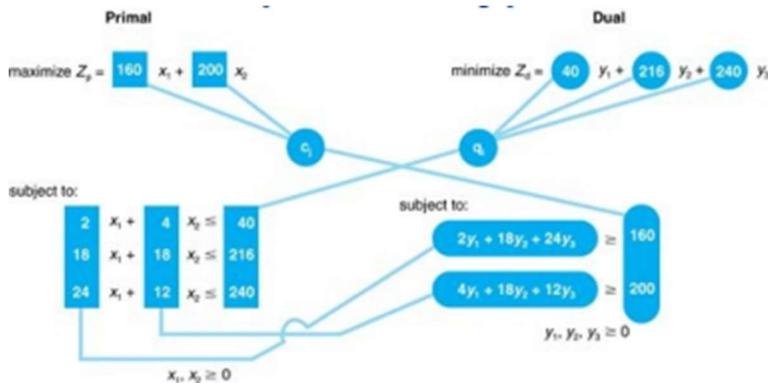
$$4y_1 + 18y_2 + 12y_3 \geq 200$$

$$y_1, y_2, y_3 \geq 0$$

Hubungan khusus antara primal dan dual yang ditunjukkan dalam contoh sebelumnya adalah sebagai berikut:

- a. Variabel ganda, y_1 , y_2 , dan y_3 , sesuai dengan batasan model dalam primal. Untuk setiap kendala di primal akan ada variabel di dual. Misalnya, dalam hal ini primal memiliki tiga kendala, sehingga dual memiliki tiga variabel keputusan.
- b. Nilai kuantitas di sisi kanan kendala pertidaksamaan primal adalah koefisien fungsi tujuan dalam dual. Kuantitas kendala nilai dalam primal, 40, 216, dan 240, membentuk fungsi tujuan ganda: $Z = 40y_1 + 216y_2 + 240y_3$.
- c. Koefisien kendala model dalam primal adalah koefisien variabel keputusan dalam dual. Misalnya, kendala tenaga kerja di primal memiliki koefisien 2 dan 4. Nilai-nilai ini adalah koefisien variabel y_1 dalam model kendala ganda: $2y_1$ dan $4y_1$.
- d. Koefisien fungsi tujuan dalam primal, 160 dan 200, mewakili persyaratan kendala model (nilai kuantitas di sisi kanan kendala) di ganda.
- e. Jika model primal maksimalisasi memiliki kendala, model ganda minimalisasi memiliki kendala.

Hubungan awal dapat diamati dengan membandingkan dua bentuk model yang ditunjukkan pada Gambar berikut:



Gambar 7.26 Hubungan Model Primal dan Dual

Sekarang kita telah mengembangkan bentuk ganda dari model, langkah selanjutnya adalah menentukan apa arti ganda. Dengan kata lain, apa variabel keputusan y_1 , y_2 , dan y_3 berarti, apa arti kendala model \geq , dan apa yang diminimalkan dalam fungsi tujuan ganda?

Model maksimalisasi primal dengan kendala diubah menjadi model minimalisasi ganda dengan kendala, dan sebaliknya.

Menafsirkan Model Ganda

Model ganda dapat diinterpretasikan dengan mengamati solusi simpleks ke bentuk primal model. Solusi simpleks untuk model primal ditunjukkan pada Tabel berikut:

c_j	Variabel dasar	jumlah	160	200	0	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2	s_3
200	x_2	8	0	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	0
160	x_1	4	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{9}$	0
0	s_3	48	0	0	6	2	1
	Z_j	2.240	160	200	20	$\frac{20}{3}$	0
	$Z_j - C_j$		0	0	20	$\frac{20}{3}$	0

Menafsirkan solusi primal ini, kita memiliki

$x_1 = 4$ tabel

$x_2 = 8$ kursi

$s_3 = 48 \text{ m}^2$ ruang penyimpanan

$Z =$ keuntungan Rp2.240rb

Tabel simpleks primal optimal ini juga mengandung informasi tentang dual. Pada baris $c_j z_j$ Tabel sebelumnya, nilai negatif dari 20 dan $20/3$ di bawah s_1 dan s_2 kolom menunjukkan bahwa jika satu unit baik s_1 atau s_2 dimasukkan ke dalam solusi, laba akan turun masing-masing sebesar Rp.20rb atau Rp.6,67rb (yaitu, $20/3$).

Perhatikan bahwa s_1 mewakili tenaga kerja yang tidak digunakan dan s_2 mewakili kayu yang tidak digunakan. Dalam solusi ini s_1 dan s_2 bukan variabel dasar, jadi keduanya sama dengan nol. Ini berarti bahwa semua bahan dan tenaga kerja digunakan untuk membuat meja dan kursi, dan tidak ada kelebihan (kendur) jam kerja atau kaki papan bahan yang tersisa. Jadi, jika kita memasukkan s_1 atau s_2 ke dalam solusi, maka s_1 atau s_2 tidak lagi sama dengan nol, kita akan mengurangi penggunaan tenaga kerja atau kayu. Jika, misalnya, satu unit s_1 dimasukkan ke dalam solusi, maka satu unit tenaga kerja yang sebelumnya digunakan tidak digunakan, dan laba berkurang Rp20rb.

Mari kita asumsikan bahwa satu unit s_1 telah dimasukkan ke dalam solusi sehingga kita memiliki satu jam tenaga kerja yang tidak terpakai ($s_1 = 1$). Sekarang mari kita hapus jam yang tidak digunakan ini tenaga kerja dari solusi sehingga semua tenaga kerja digunakan kembali. Kami sebelumnya mencatat bahwa laba berkurang Rp.20rb dengan memasukkan satu jam tenaga kerja yang tidak terpakai, dengan demikian, dapat diharapkan bahwa jika kita mengambil jam kerja tersebut kembali (dan menggunakannya lagi), keuntungan akan meningkat sebesar Rp20rb. Analogi yang digunakan yaitu dengan mengatakan bahwa jika kita bisa mendapatkan satu jam kerja, kita bisa meningkatkan keuntungan sebesar Rp20rb. Oleh karena itu, jika kita dapat

membeli satu jam tenaga kerja, kita akan bersedia membayar hingga Rp.20rb untuk itu karena itulah jumlah yang akan meningkatkan keuntungan.

Nilai baris c_j z_j negatif dari Rp20rb dan Rp6,67rb masing-masing adalah nilai marginal tenaga kerja (s_1) dan kayu (s_2). Nilai ganda ini juga sering disebut sebagai **harga bayangan**, karena mencerminkan "harga" maksimum yang **bersedia dibayar oleh seseorang untuk memperoleh satu unit sumber daya lagi**.

Nilai c_j z_j untuk variabel slack adalah nilai marjinal dari sumber kendala, yaitu harga bayangan. Apa yang terjadi dengan sumber daya ketiga, yaitu ruang penyimpanan? Jawabannya dapat dilihat pada Tabel sebelumnya. Perhatikan bahwa nilai baris c_j z_j untuk s_3 (yang mewakili tidak digunakan ruang penyimpanan) adalah nol. Ini berarti bahwa ruang penyimpanan memiliki nilai marjinal nol, yang berarti, kita tidak akan bersedia membayar apa pun untuk kaki penyimpanan ekstra atau ruang penyimpanan.

Catata: Jika sumber daya tidak sepenuhnya digunakan, yaitu ada slack, nilai marjinalnya adalah nol.

Mengapa lebih banyak ruang penyimpanan tidak memiliki nilai marjinal adalah karena ruang penyimpanan tidak menjadi batasan dalam produksi meja dan kursi. Pada Tabel sebelumnya menunjukkan bahwa 48 m² ruang penyimpanan tidak terpakai (yaitu, $s_3 = 48$) setelah 4 meja dan 8 kursi diproduksi.

Karena perusahaan sudah memiliki 48 m² ruang penyimpanan yang tersisa, kaki persegi ekstra tidak akan memiliki nilai tambahan; perusahaan bahkan tidak dapat menggunakan semua ruang penyimpanan yang tersedia. Kita perlu mempertimbangkan satu aspek tambahan dari nilai-nilai marjinal ini. Dalam diskusi kami tentang nilai marjinal sumber daya ini, kami telah menunjukkan

bahwa nilai marjinal (atau **harga bayangan**) adalah jumlah maksimum yang akan dibayarkan untuk sumber daya tambahan. Nilai marjinal Rp60rb untuk satu jam kerja tidak tentu apa yang akan dibayar oleh Perusahaan Perabotan untuk satu jam kerja. Hal ini tergantung pada bagaimana fungsi tujuan didefinisikan. Dalam contoh ini kita dengan asumsi bahwa semua sumber daya yang tersedia, 40 jam kerja, 216 m papan kayu, dan 240 meter persegi ruang penyimpanan, sudah dibayar. Bahkan jika perusahaan tidak menggunakan semua sumber daya, tetap harus membayarnya. Biaya tersebut adalah **biaya hangus**. Dengan kata lain, biaya sumber daya tambahan yang dijamin adalah termasuk dalam koefisien fungsi tujuan. Dengan demikian, nilai keuntungan dalam fungsi tujuan untuk setiap produk tidak terpengaruh oleh seberapa banyak sumber daya itu benar-benar digunakan, dimana keuntungan tidak tergantung pada sumber daya yang digunakan. Jika biaya sumber daya tidak termasuk dalam fungsi laba, maka mengamankan tambahan sumber daya akan mengurangi nilai marjinal.

Catatan: *Shadow price* / Harga bayangan adalah jumlah maksimum yang harus dibayar untuk satu unit tambahan sumber daya.

Melanjutkan analisis sebelumnya, kita mencatat bahwa keuntungan dalam model awal terbukti Rp.2.240rb. Untuk perusahaan furnitur, nilai sumber daya yang digunakan untuk menghasilkan meja dan kursi harus dalam hal keuntungan ini. Dengan kata lain, nilai tenaga kerja dan sumber daya kayu ditentukan oleh kontribusi mereka terhadap keuntungan Rp.2.240rb. Jadi, jika perusahaan ingin memberikan nilai pada sumber daya yang digunakannya, perusahaan tidak dapat menetapkan jumlah yang lebih besar dari laba yang diperoleh oleh perusahaan.

Sebaliknya, dengan logika yang sama, nilai total sumber daya juga harus setidaknya sebesar keuntungan yang diperolehnya. Jadi, nilai semua sumber

daya harus sama persis dengan keuntungan yang diperoleh dari solusi optimal.
Nilai marjinal dari total sumber daya sama dengan keuntungan optimal.

Sekarang mari kita lihat kembali bentuk ganda dari model tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Minimisasi} \quad & Z = 40y_1 + 216y_2 + 240y_3 \\ \text{Dimana} \quad & 2y_1 + 18y_2 + 24y_3 \geq 160 \\ & 4y_1 + 18y_2 + 12y_3 \geq 200 \\ & y_1, y_2, y_3 \geq 0 \end{aligned}$$

Variabel ganda dual pada dasarnya sama dengan nilai marjinal sumber daya, atau disebut juga harga bayangan.

Mengingat diskusi sebelumnya tentang nilai sumber daya model, sekarang kita dapat mendefinisikan variabel keputusan dari dual, y_1 , y_2 , dan y_3 , untuk mewakili nilai marjinal sumber daya:

$$y_1 = \text{nilai marjinal 1 jam kerja} = \text{Rp}20$$

$$y_2 = \text{nilai marjinal 1 bd ft kayu} = \text{Rp}6.67$$

$$y_3 = \text{nilai marjinal dari 1 m}^2 \text{ ruang penyimpanan} = \text{Rp}0$$

Penggunaan Dual / Ganda

Pentingnya dual bagi pengambil keputusan terletak pada informasi yang diberikannya tentang sumber daya model. Seringkali manajer kurang memperhatikan keuntungan daripada tentang penggunaan sumber daya karena manajer sering kali memiliki kontrol lebih besar atas penggunaan sumber daya daripada atas akumulasi keuntungan. Solusi ganda memberi tahu pemegang keputusan tentang nilai sumber daya, yang penting dalam memutuskan apakah akan mengamankan lebih banyak sumber daya atau tidak dan berapa banyak yang harus dibayar untuk ini sumber daya tambahan.

Dual menyediakan pembuat keputusan dengan dasar untuk memutuskan berapa banyak untuk membayar lebih banyak sumber daya. Jika pembuat keputusan mengamankan lebih banyak sumber daya, pertanyaan berikutnya adalah "Bagaimana hal ini memengaruhi solusi awal?" Area solusi yang layak ditentukan oleh nilai-nilai membentuk kendala model, dan jika nilai-nilai itu diubah, adalah mungkin untuk daerah solusi yang layak untuk berubah. Efek pada solusi perubahan ke model adalah subjek analisis sensitivitas.

D. Analisis Sensitivitas

Pada bagian ini kita akan menjelaskan bagaimana rentang sensitivitas ditentukan secara matematis menggunakan metode simpleks. Meskipun ini tidak seefisien atau secepat menggunakan komputer, pemeriksaan metode simpleks untuk melakukan analisis sensitivitas dapat memberikan pemahaman topik yang lebih menyeluruh.

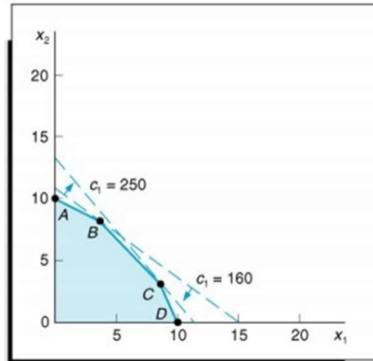
Perubahan Koefisien Fungsi Tujuan

Untuk mendemonstrasikan analisis sensitivitas untuk koefisien dalam fungsi tujuan, kita akan menggunakan contoh yang digunakan pada subbab Dual yaitu perusahaan Furniture yang dikembangkan sebelumnya. Model untuk contoh ini dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Minimisasi} \quad & Z = 40y_1 + 216y_2 + 240y_3 \\ \text{Dimana} \quad & 2y_1 + 18y_2 + 24y_3 \geq 160 \\ & 4y_1 + 18y_2 + 12y_3 \geq 200 \\ & y_1, y_2, y_3 \geq 0 \end{aligned}$$

Koefisien dalam fungsi tujuan akan direpresentasikan secara simbolis sebagai c_j (notasi yang sama digunakan dalam tabel simpleks). Jadi, $c_1 = 160$ dan $c_2 = 200$. Sekarang, mari kita perhatikan perubahan salah satu nilai c_j dengan jumlah delta. Sebagai contoh, mari kita ubah $c_1 = 160$ dengan $\delta = 90$.

Dengan kata lain, kita mengubah c_1 dari Rp.160 hingga Rp.250. Efek dari perubahan ini pada solusi model ini ditunjukkan secara grafis pada Gambar berikut:



Gambar 7.27 Area Solusi Perubahan Koefisien Fungsi Tujuan

Awalnya, solusi untuk masalah ini terletak di titik B pada Gambar sebelumnya, di mana $x_1 = 4$ dan $x_2 = 8$. Namun, peningkatan c_1 dari Rp.160 menjadi Rp.250 menggeser kemiringan fungsi tujuan sehingga titik C ($x_1 = 8$, $x_2 = 4$) menjadi solusi optimal. Ini menunjukkan bahwa perubahan salah satu koefisien dari fungsi tujuan dapat mengubah solusi optimal. Oleh karena itu, analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan rentang di mana c_j dapat diubah tanpa mengubah solusi optimal.

Rentang sensitivitas untuk nilai c_j adalah rentang nilai di mana solusi optimal saat ini akan tetap optimal. Kisaran c_j yang akan mempertahankan solusi optimal dapat ditentukan langsung dari tabel simpleks optimal. Tabel simpleks yang optimal untuk contoh perusahaan furnitur ditunjukkan pada Tabel berikutnya:

c_j	Variabel dasar	jumlah	160	200	0	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2	s_3
200	x_2	8	0	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	0
160	x_1	4	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{9}$	0
0	s_3	48	0	0	6	2	1
	z_j	2.240	160	200	20	$\frac{20}{3}$	0
	$z_j - c_j$		0	0	20	$\frac{20}{3}$	0

Pertama, pertimbangkan perubahan Δ untuk c_1 . Ini akan mengubah nilai c_1 dari $c_1 = 160$ menjadi $c_1 = 160 + \Delta$, seperti yang ditunjukkan pada Tabel dibawah ini. Perhatikan bahwa ketika c_1 diubah menjadi $160 + \Delta$, nilai baru dimasukkan tidak hanya di baris c_j atas tetapi juga di kolom c_j sebelah kiri. Ini karena x_1 adalah variabel solusi dasar. Karena $160 + \Delta$ ada dikolom sebelah kiri, ini menjadi kelipatan dari nilai kolom ketika nilai baris z_j baru dan nilai baris c_j z_j berikutnya, juga ditunjukkan pada Tabel berikut:

c_j	Variabel dasar	jumlah	$160+\Delta$ x_1	200 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3
200	x_2	8	0	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{8}$	0
$160+\Delta$	x_1	4	1	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{9}$	0
0	s_3	48	0	0	6	2	1
	z_j	$2.240+4\Delta$	$160+\Delta$	200	$20-\Delta/2$	$20/3+\Delta/9$	0
	$z_j c_j$		0	0	$20+\Delta/2$	$20/3-\Delta/9$	0

Agar solusi tetap optimal, semua nilai pada baris c_j z_j harus 0.

Solusi yang ditunjukkan pada Tabel sebelumnya akan tetap optimal selama nilai baris c_j z_j tetap negatif. (Jika c_j z_j menjadi positif, bauran produk akan berubah, dan jika menjadi nol, akan ada solusi alternatif.) Jadi, agar solusi tetap optimal:

$$20 + \Delta/2 \leq 0$$

dan

$$20/3 - \Delta/9 \leq 0$$

Kedua pertidaksamaan ini harus diselesaikan untuk Δ

$$20 + \Delta/2 \leq 0$$

$$-20 + \Delta/2 \leq 0$$

$$\Delta/2 \leq 20$$

$$\Delta \leq 40$$

dan

$$20/3 - \Delta/9 \leq 0$$

$$\begin{aligned}
-20/3 - \Delta/9 &\leq 0 \\
-\Delta/9 &\leq 20/3 \\
\Delta &\leq -60
\end{aligned}$$

Jadi, $\Delta \leq 40$ dan $\Delta \geq -60$. Sekarang perhatikan bahwa $c_1 = 160 + \Delta$; oleh karena itu, $\Delta = c_1 - 160$. Substitusikan jumlah $c_1 - 160$ untuk Δ dalam pertidaksamaan:

$$\begin{aligned}
\Delta &\leq 40 \\
c_1 - 160 &\leq 40 \\
c_1 &\leq 200
\end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned}
\Delta &\geq -60 \\
c_1 - 160 &\geq -60 \\
c_1 &\geq 100
\end{aligned}$$

Oleh karena itu, rentang nilai untuk c_1 di mana basis solusi akan tetap optimal (walaupun nilai fungsi tujuan dapat berubah)

$$100 \leq c_1 \leq 200$$

Selanjutnya, perhatikan perubahan Δ pada c_2 sehingga $c_2 = 200 + \Delta$. Efek dari perubahan ini pada tabel simpleks akhir ditunjukkan sbb:

c_j	Variabel dasar	jumlah	160	200+ Δ	0	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2	s_3
200+ Δ	x_2	8	0	1	1/2	1/8	0
160	x_1	4	1	0	1/2	1/9	0
0	s_3	48	0	0	6	2	1
	z_j	2.240+8 Δ	160	200+ Δ	20+ $\Delta/2$	20/3- $\Delta/18$	0
	$z_j c_j$		0	0	20- $\Delta/2$	20/3+ $\Delta/18$	0

Seperti sebelumnya, solusi yang ditunjukkan pada Tabel sebelumnya akan tetap optimal selama nilai baris $c_j z_j$ tetap negatif atau nol. Jadi, agar solusi tetap optimal, kita harus punya

$$20 - \Delta/2 \leq 0$$

dan

$$20/3 + \Delta/18 \leq 0$$

Kedua pertidaksamaan ini harus diselesaikan untuk Δ

$$20 - \Delta/2 \leq 0$$

$$-20 + \Delta/2 \leq 0$$

$$\Delta/2 \leq 20$$

$$\Delta \leq -40$$

dan

$$20/3 + \Delta/18 \leq 0$$

$$-20/3 - \Delta/18 \leq 0$$

$$\Delta/18 \leq 20/3$$

$$\Delta \leq 120$$

Jadi, $\Delta \geq -40$ dan $\Delta \leq 120$. Sekarang perhatikan bahwa $c_2 = 200 + \Delta$; oleh karena itu, $\Delta = c_2 - 200$. Substitusikan jumlah $c_2 - 200$ untuk Δ dalam pertidaksamaan:

$$\Delta \geq -40$$

$$c_2 - 200 \geq -40$$

$$c_1 \geq 160$$

dan

$$\Delta \leq -60$$

$$c_1 - 200 \leq -120$$

$$c_1 \leq 320$$

Oleh karena itu, rentang nilai untuk c_2 di mana basis solusi akan tetap optimal (walaupun nilai fungsi tujuan dapat berubah)

$$160 \leq c_2 \leq 320$$

Kisaran untuk kedua koefisien fungsi tujuan adalah sebagai berikut:

$$100 \leq c_1 \leq 200$$

$$160 \leq c_2 \leq 320$$

Namun, rentang ini mencerminkan kemungkinan perubahan pada c_1 atau c_2 , bukan perubahan simultan pada c_1 dan c_2 . Kedua koefisien fungsi tujuan dalam contoh ini adalah untuk variabel solusi dasar. Menentukan rentang sensitivitas c_j untuk variabel keputusan yang tidak mendasar jauh lebih sederhana. Karena tidak di kolom variabel dasar, perubahan Δ tidak menjadi kelipatan dari baris z_j . Dengan demikian, perubahan Δ akan muncul hanya dalam satu kolom pada baris c_j z_j .

E. Perubahan Nilai Kuantitas Kendala

Untuk mendemonstrasikan pengaruh perubahan nilai kuantitas dari kendala model, kita akan kembali menggunakan contoh perusahaan Furnitur sebelumnya (pada penjelasan D.4).

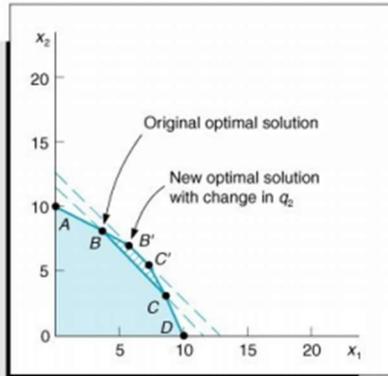
$$\begin{array}{ll}
 \text{Maksimasi} & Z = 160x_1 + 200x_2 \\
 \text{Dimana} & 2x_1 + 4x_2 \leq 40 \text{ jam kerja} \\
 & 18x_1 + 18x_2 \leq 216 \text{ m kayu} \\
 & 24x_1 + 12x_2 \leq 240 \text{ m}^2 \text{ penyimpanan} \\
 & x_1, x_2 \geq 0
 \end{array}$$

di mana

x_1 = jumlah meja yang diproduksi

x_2 = jumlah kursi yang diproduksi

Nilai kuantitas 40, 216, dan 240 akan direpresentasikan secara simbolis sebagai q_i . Maka menjadi, $q_1 = 40$, $q_2 = 216$, dan $q_3 = 240$. Sekarang mari kita perhatikan perubahan Δ pada q_2 . Untuk contoh, mari kita ubah $q_2 = 216$ dengan $\Delta = 18$. Dengan kata lain, q_2 diubah dari 216 m menjadi 234 m. Efek dari perubahan ini ditunjukkan secara grafis pada Gambar berikut:



Gambar 7.28 Area Solusi Perubahan Nilai Kendala

Pada Gambar sebelumnya, perubahan q_2 ditunjukkan memiliki efek mengubah area solusi layak dari 0 ABCD ke 0 AB'C'D. Awalnya, titik solusi optimal adalah B, kemudian, dengan perubahan q_2 menyebabkan 'B menjadi titik solusi optimal yang baru. Di titik B solusi optimalnya adalah

$$\begin{aligned} x_1 &= 4 \\ x_2 &= 8 \\ s_3 &= 48 \\ s_1 \text{ dan } s_2 &= 0 \\ Z &= \text{Rp.2.240rb} \end{aligned}$$

Pada titik B' solusi optimal yang baru adalah

$$\begin{aligned} x_1 &= 6 \\ x_2 &= 7 \\ s_3 &= 12 \\ s_1 \text{ dan } s_2 &= 0 \\ Z &= \text{Rp.2.360rb} \end{aligned}$$

Dengan demikian, perubahan nilai q_i dapat mengubah nilai solusi optimal. Pada titik tertentu peningkatan atau penurunan q_i akan mengubah variabel secara optimal dengan campuran solusi, termasuk variabel slack. Misalnya, jika q_2 meningkat menjadi 240 m^2 , maka titik solusi optimalnya adalah pada:

$$x_1 = 6,67$$

$$\begin{aligned}
 x_2 &= 6,67 \\
 s_3 &= 0 \\
 s_1 \text{ dan } s_2 &= 0 \\
 Z &= \text{Rp.2.400rb}
 \end{aligned}$$

Perhatikan bahwa s_3 telah meninggalkan solusi, dengan demikian, campuran solusi optimal telah berubah. Pada titik ini, di mana $q_2 = 240$, yang merupakan batas atas rentang sensitivitas untuk q_2 , harga bayangan juga akan berubah. Oleh karena itu, tujuan dari analisis sensitivitas adalah untuk menentukan kisaran q_i di mana campuran variabel yang optimal akan tetap sama dan harga bayangan akan tetap sama.

Rentang sensitivitas untuk q_i , nilai adalah rentang nilai di mana nilai sisi kanan dapat bervariasi tanpa mengubah campuran variabel solusi, termasuk variabel slack dan harga bayangan.

Seperti dalam kasus nilai c_j , kisaran q_i dapat ditentukan langsung dari tabel simpleks optimal. Sebagai contoh, pertimbangkan peningkatan Δ dalam jumlah jam kerja. Batasan model menjadi

$$\begin{aligned}
 2x_1 + 4x_2 &\leq 40 + 1\Delta \\
 18x_1 + 18x_2 &\leq 216 + 0\Delta \\
 24x_1 + 12x_2 &\leq 240 + 0\Delta
 \end{aligned}$$

Perhatikan pada tabel simpleks awal untuk contoh kita (Tabel berikut) bahwa perubahan pada kolom kuantitas sama dengan koefisien pada kolom s_1

c_j	Variabel dasar	jumlah	160	200	0	0	0
			x_1	x_2	s_1	s_2	s_3
0	x_2	$40 + 1\Delta$	2	4	1	0	0
0	s_2	$216 + 0\Delta$	18	18	0	1	0
0	s_3	$240 + 0\Delta$	24	12	0	0	1
	z_j	0	0	0	0	0	0
	$z_j c_j$		160	200	0	0	0

sebuah Δ dalam nilai q_i diduplikasi di kolom s_i pada tabel simpleks akhir:

Duplikasi ini akan terbawa melalui setiap tabel berikutnya, sehingga nilai kolom s_1 akan menduplikasi perubahan Δ pada kolom kuantitas di tabel simpleks akhir.

c_j	Variabel dasar	jumlah	160 x_1	200 x_2	0 s_1	0 s_2	0 s_3
200	x_2	$8 + \Delta/2$	0	1	$\frac{1}{2}$	$1/18$	0
160	x_1	$4 - \Delta/2$	1	0	$\frac{1}{2}$	$1/9$	0
0	s_3	$48 + 6\Delta$	0	0	6	2	1
	z_j	$2240 + 206\Delta$	160	200	20	$20/3$	0
	$z_j c_j$		0	0	20	$20/3$	0

Akibatnya, perubahan Δ membentuk kolom terpisah yang identik dengan kolom s_1 . Oleh karena itu, untuk menentukan perubahan Δ , kita hanya perlu mengamati kolom slack (s_i) sesuai dengan kuantitas kendala model (q_i) yang diubah.

Ingat, bahwa persyaratan metode simpleks adalah bahwa nilai kuantitas tidak negatif. Jika ada nilai q_i menjadi negatif, solusi saat ini tidak akan lagi layak dan variabel baru akan memasuki solusi. Sehingga, pertidaksamaan didefinisikan sbb:

$$8 + \Delta/2 \geq 0$$

$$4 - \Delta/2 \geq 0$$

$$48 + 6\Delta \geq 0$$

Menyelesaikan “ Δ ”

$$8 + \Delta/2 \geq 0$$

$$\Delta/2 \geq -8$$

$$\Delta \geq -16$$

dan

$$4 - \Delta/2 \geq 0$$

$$-\Delta/2 \geq -4$$

$$\Delta \leq 8$$

dan

$$48 + 6\Delta \geq 0$$

$$6\Delta \geq -48$$

$$\Delta \geq -8$$

dikarenakan

$$q_1 = 40 + \Delta$$

maka

$$\Delta = q_1 - 40$$

Nilai tsb disubstitusikan ke dalam pertidaksamaan $\Delta \geq -8$, $\Delta \geq -16$ dan $\Delta \leq 8$.

$$\Delta \geq -16$$

$$q_1 - 40 \geq -16$$

$$q_1 \geq -16 + 40$$

$$q_1 \geq 24$$

$$\Delta \leq 8$$

$$q_1 - 40 \leq 8$$

$$q_1 \leq 8 + 40$$

$$q_1 \leq 48$$

$$\Delta \geq -8$$

$$q_1 - 40 \geq -8$$

$$q_1 \geq -8 + 40$$

$$q_1 \geq 32$$

Meringkas persamaan tersebut, kita memiliki

$$24 \leq 32 \leq q_1 \leq 48 \text{ atau dapat disederhanakan menjadi } 32 \leq q_1 \leq 48$$

Selama q_1 tetap dalam kisaran ini, variabel solusi dasar saat ini akan tetap sama dan layak. Namun, nilai kuantitas dari dasar-dasar itu variabel dapat berubah. Dengan kata lain, meskipun variabel dalam basis tetap sama, nilainya dapat berubah. Untuk menentukan rentang q_2 (di mana $q_2 = 216 + D$), nilai kolom s_2 digunakan untuk mengembangkan pertidaksamaan Δ .

$$8 - \Delta/18 \geq 0$$

$$4 + \Delta/9 \geq 0$$

$$48 - 2\Delta \geq 0$$

Menyelesaikan “ Δ ”

$$8 - \Delta/18 \geq 0$$

$$-\Delta/18 \geq -8$$

$$\Delta \leq 144$$

dan

$$4 + \Delta/9 \geq 0$$

$$\Delta/9 \geq -4$$

$$\Delta \leq 36$$

dan

$$48 - 2\Delta \geq 0$$

$$-2\Delta \geq -48$$

$$\Delta \leq 24$$

dikarenakan

$$q_2 = 216 + \Delta$$

maka

$$\Delta = q_2 - 216$$

Nilai tsb disubstitusikan ke dalam pertidaksamaan $\Delta \leq 144$, $\Delta \leq 36$ dan $\Delta \leq 24$.

$$\Delta \leq 144$$

$$q_2 - 216 \geq 144$$

$$q_2 \geq 144 + 216$$

$$q_2 \geq 360$$

$$\Delta \leq 36$$

$$q_1 - 216 \leq 36$$

$$q_1 \leq 36 + 216$$

$$q_1 \leq 180$$

$$\Delta \leq 24$$

$$q_1 - 216 \leq 24$$

$$q_1 \leq 24 + 216$$

$$q_1 \geq 240$$

$180 \leq q_2 \leq 240 \leq 360$ atau dapat disederhanakan menjadi $180 \leq q_2 \leq 240$

Persamaan q_3 adalah $180 \leq q_2 \leq \omega$

Analisis sensitivitas nilai kuantitas kendala dapat digunakan bersama dengan solusi ganda untuk membuat keputusan mengenai sumber daya model. Ingat dari analisis kita tentang solusi ganda (sebelumnya pada poin D.4) dari contoh perusahaan Furniture adalah

$y_1 = \text{Rp.}20\text{rb}$, nilai marginal tenaga kerja

$y_2 = \text{Rp.}6,67 \text{ rb}$, nilai marginal kayu

$y_3 = \text{Rp.}0 \text{ rb}$, nilai marginal ruang penyimpanan

catatan: *shadow price* / harga bayangan hanya berlaku dengan rentang sensitivitas untuk nilai sisi kanan.

Karena sumber daya dengan nilai marginal terbesar adalah tenaga kerja, pemilik keputusan mungkin ingin mengamankan beberapa jam kerja tambahan. Berapa jam yang harus didapat pemilik keputusan?

Mengingat bahwa kisaran untuk q_1 adalah $32 \leq q_1 \leq 48$, pemilik keputusan dapat mengamankan hingga 8 jam tambahan tenaga kerja (yaitu, 48 jam total) sebelum basis solusi berubah dan harga bayangan juga berubah. Jika pemilik keputusan membeli 8 jam lagi, nilai solusi dapat ditemukan dengan mengamati nilai kuantitas pada Tabel sebelumnya.

$$x_2 = 8 + \Delta / 2$$

$$x_1 = 4 - \Delta / 2$$

$$s_3 = 48 + 6 \Delta$$

Karena $\Delta = 8$,

$$x_2 = 8 + (8)/2 = 12$$

$$x_1 = 4 - (8)/2 = 0$$

$$s_3 = 48 + 6(8) = 96$$

$$Z = \text{Rp.}2.240\text{rb} + 20 \Delta = 2.240 + 20(8) = 2240 + 160 = \text{Rp.}2.400\text{rb}$$

Dalam contoh ini untuk Perusahaan Furnitur, kita hanya mempertimbangkan kendala \leq dalam menentukan rentang sensitivitas untuk nilai q_i . Untuk menghitung q_i rentang sensitivitas, kita mengamati kolom slack, s_i , karena perubahan Δ dalam q_i tercermin dalam kolom s_i . Namun, perlu diperhatikan bahwa dengan kendala \geq kita memilih untuk mengurangi variabel surplus dari pada menambahkan variabel slack untuk membentuk kesetaraan (selain menambahkan variabel buatan). Sehingga, untuk kendala \geq kita harus mempertimbangkan Δ perubahan dalam q_i untuk menggunakan kolom s_i (surplus) untuk melakukan analisis sensitivitas. Dalam hal ini analisis sensitivitas akan dilakukan persis seperti yang ditunjukkan pada contoh ini, kecuali bahwa nilai $q_i \Delta$ akan digunakan sebagai ganti $q_i + \Delta$ saat menghitung rentang sensitivitas untuk q_i .

F. Soal Latihan

- 1) Perusahaan memproduksi dua produk yang diproses pada dua jalur perakitan. Jalur perakitan 1 memiliki 100 jam yang tersedia, dan jalur perakitan 2 memiliki 42 jam yang tersedia. Setiap produk membutuhkan 10 jam waktu pemrosesan pada lini 1, sedangkan pada lini 2 produk 1 membutuhkan 7 jam dan produk 2 membutuhkan 3 jam. Keuntungan untuk produk 1 adalah Rp6rb per unit, dan keuntungan untuk produk 2 adalah Rp4rb per unit. Rumuskan model pemrograman linier untuk masalah ini dan menyelesaikannya dengan menggunakan metode simpleks.
- 2) Perusahaan furnitur memproduksi kursi dan meja dari dua sumber daya yaitu tenaga kerja dan kayu. Perusahaan memiliki 80 jam kerja dan 36 kg kayu tersedia setiap hari. Permintaan kursi dibatasi hingga 6 kursi per hari. Setiap kursi membutuhkan 8 jam kerja dan 2 pon kayu

untuk menghasilkan, sedangkan meja membutuhkan 10 jam kerja dan 6 pon kayu. Keuntungan yang diperoleh dari setiap kursi adalah Rp400rb dan dari setiap meja sebesar Rp100rb. Perusahaan ingin menentukan jumlah kursi dan meja yang harus diproduksi setiap hari untuk memaksimalkan keuntungan. Rumuskan model program linier untuk masalah ini dan selesaikan dengan menggunakan simpleks.

- 3) Perusahaan Roti membuat kue kopi dan kue danish dalam panci besar. Bahan utamanya adalah tepung dan gula. Ada 25 pon tepung dan 16 pon gula tersedia dan permintaan kue kopi adalah 8. Lima pon tepung dan 2 pon gula diperlukan untuk membuat satu loyang kue kopi, dan 5 pon tepung dan 4 pon gula diperlukan untuk membuat satu loyang kue danish. Satu loyang kue kopi memiliki keuntungan Rp1rb, dan satu loyang kue danish memiliki keuntungan Rp5rb. Tentukan jumlah loyang kue dan Denmark yang harus diproduksi oleh toko roti setiap hari, untuk keuntungan yang dimaksimalkan. Rumuskan model pemrograman linier untuk masalah ini dan selesaikan dengan menggunakan metode simpleks.
- 4) Perusahaan Pupuk membuat pupuk menggunakan dua bahan kimia yang menyediakan nitrogen, fosfat, dan kalium. 1 pon bahan menyumbang 10 ons nitrogen dan 6 ons fosfat, sedangkan satu pon bahan 2 menyumbang 2 ons nitrogen, 6 ons fosfat, dan 1 ons kalium. Bahan 1 berharga Rp.3rb per pon, dan bahan 2 berharga Rp.5rb per pon. Perusahaan ingin mengetahui berapa pon setiap bahan kimia untuk dimasukkan ke dalam kantong pupuk untuk memenuhi kebutuhan minimum 20 ons nitrogen, 36 ons nitrogen fosfat, dan 2 ons kalium sambil meminimalkan biaya. Rumuskan model pemrograman linier untuk masalah ini dan selesaikan dengan menggunakan metode simpleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackoff, R.L. (1979). The Future of OR is Past. *OR Society*. H: 93–104
- Ackoff, Russell L., dan Sasieni, Maurice W. (1968). *Fundamentals of Operations Research*. New York: John Wiley & Sons.
- Armstrong, J.S. (1985). *Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer*. New York: Wiley.
- Beer, Stafford. (1967). *Management Sciences: The Business Use of Operations Research*. New York: Doubleday.
- Box, G. E. P., dan Jenkins, G. M. (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Oakland, CA: Holden-Day.
- Brown, R. G. (1959). *Statistical Forecasting for Inventory Control*. New York: McGraw-Hill.
- Gardner, E. S., dan Dannenbring, D. G. (1980). *Forecasting with Exponential Smoothing: Some Guidelines for Model Selection*. *Decision Sciences* 11, no. 2.
- Buchan, J., dan Koenigsberg, E. (1963). *Scientific Inventory Management. Upper Saddle River*. NJ: Prentice Hall.
- Buffa, E. S., dan Miller, J. G. (1979). *Production-Inventory Systems: Planning and Control*. Homewood, IL: Irwin,
- Churchman, C. W., Ackoff, R. L., dan Arnoff, E. L. (1957). *Introduction to Operations Research*. New York: John Wiley & Sons.
- Cooke, Steve dan Slack, Nigel. (1991). *Making Management Decisions*, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs N. Relevant chapters: 1–5, 8–10
- Checkland, P. (1999). *Systems Thinking, Systems Practice, includes a 30-year retrospective*. Chichester: Wiley.
- Checkland, P. dan Scholes, J. (1999). *Soft Systems Methodology in Action, includes a 30-year retrospective*. Chichester: Wiley.
- Daellenbach, H.G. (2001). *Systems Thinking and Decision Making*. REA Publications.
- Daellenbach, Hans G. dan Donald C. McNickle. (1995). *Management Science: Decision making through system thinking*. John Willey and Son.
- Daellenbach, H.G., George, J. dan McNickle D.C. (1983). *Introduction to O.R. Techniques*. Boston: Allyn and Bacon.
- Djarwanto Ps dan Pangestu Subagyo. (1993). *Statistik Industri*. Yogyakarta: BPFE Yogyakarta. Hal 14.
- Dixon, W. J., dan Massey, F. J. (1983). *Introduction to Statistical Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Fabrycky, W. J., dan Torgersen, P. E. (1966). *Operations Economy: Industrial Applications of Operations Research*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Goodwin, P. dan Wright, G. (1999). *Decision Analysis for Management Judgement*. New York: Wiley.

- Hillier, F. S., dan Lieberman, G. J. (1987). *Operations Research, 4th ed.* San Francisco: Holden-Day.
- Hogarth, R.M. dan Makridakis, S. (1981). Forecasting and planning: an evaluation. *Management Sciences*, Feb., 115–38.
- Hays, W. L., dan Winkler, R. L. (1975). *Statistics: Probability, Inference, and Decision*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Jackson, M.C. (2000). A comprehensive and critical review of all systems methodologies based on systems thinking. *Systems Approaches to Management*. New York: Kluwer/Plenum.
- Johnson, L. A., dan Montgomery, D. C. (1974). *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control*. New York: John Wiley & Sons.
- Mendenhall, W., Reinmuth, J. E., Beaver, R., dan Duhan, D. (1986). *Statistics for Management and Economics*. North Scituate, MA: Duxbury Press.
- Mingers, J.C. dan Gill, A. (1997). *Multimethodology — The Theory and Practice of Combining Management Science Methodologies*. Chichester: Wiley.
- Naughton, J. (1984). *Soft Systems Analysis: An Introductory Guide, Technology Course T301: Block 4*. Milton Keynes: The Open University Press.
- Rosenhead, J. dan Mingers, J.C. (2000). *Rational Analysis for a Problematic World Revisited*. Chichester: Wiley.
- Samson, Danny. (1988) *Managerial Decision Analysis*. Homewood IL: Irwin.
- Silver, E.A., Pyke, D.F. dan Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. New York: Wiley.
- Hadley, G., dan Whitin, T. M. (1963). *Analysis of Inventory Systems*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Siswanto. (2007). *Pengantar Manajemen*. Jakarta: PT. Bumi Aksara, Hal. 26
- Supranto, Johannes. (2006). *Riset Operasi, Untuk Pengambilan Keputusan*. Jakarta: Universitas Indonesia hal 43.
- Taha, Hamdy A. (1987) *Operations Research, An Introduction, 4th ed.* New York: Macmillan.
- Taylor, Bernard W. *Introduction to Management Science*. Virginia Polytechnic Institute and State University: Prentice Hall.
- Teichroew, P. (1964). *An Introduction to Management Science*. New York: John Wiley & Sons.
- Tversky, A. and Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases. *Science*, Vol. 185, Sept, pp. 1124–31.
- Varberg, D., Purcell, E. J., dan Rigdon, S. E. (2011). *Kalkulus Jilid 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga, hal 57
- Wagner, H. M. (1962). *Statistical Management of Inventory Systems*. New York: John Wiley & Sons.
- Wagner, Harvey M. (1975). *Principles of Management Science* . Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Whitin, T. M. (1957). *The Theory of Inventory Management*. NJ: Princeton University Press.

- Wright, G. (2001). *Strategic Decision Making: A Best Practice Blueprint*. New York: Wiley.
- Wright, G. dan Goodwin, P. (1998). *Forecasting with Judgment*. Chichester: Wiley.
- Wright, G. dan Ayton, P. (1994) *Subjective Probability*. Chichester: Wiley.