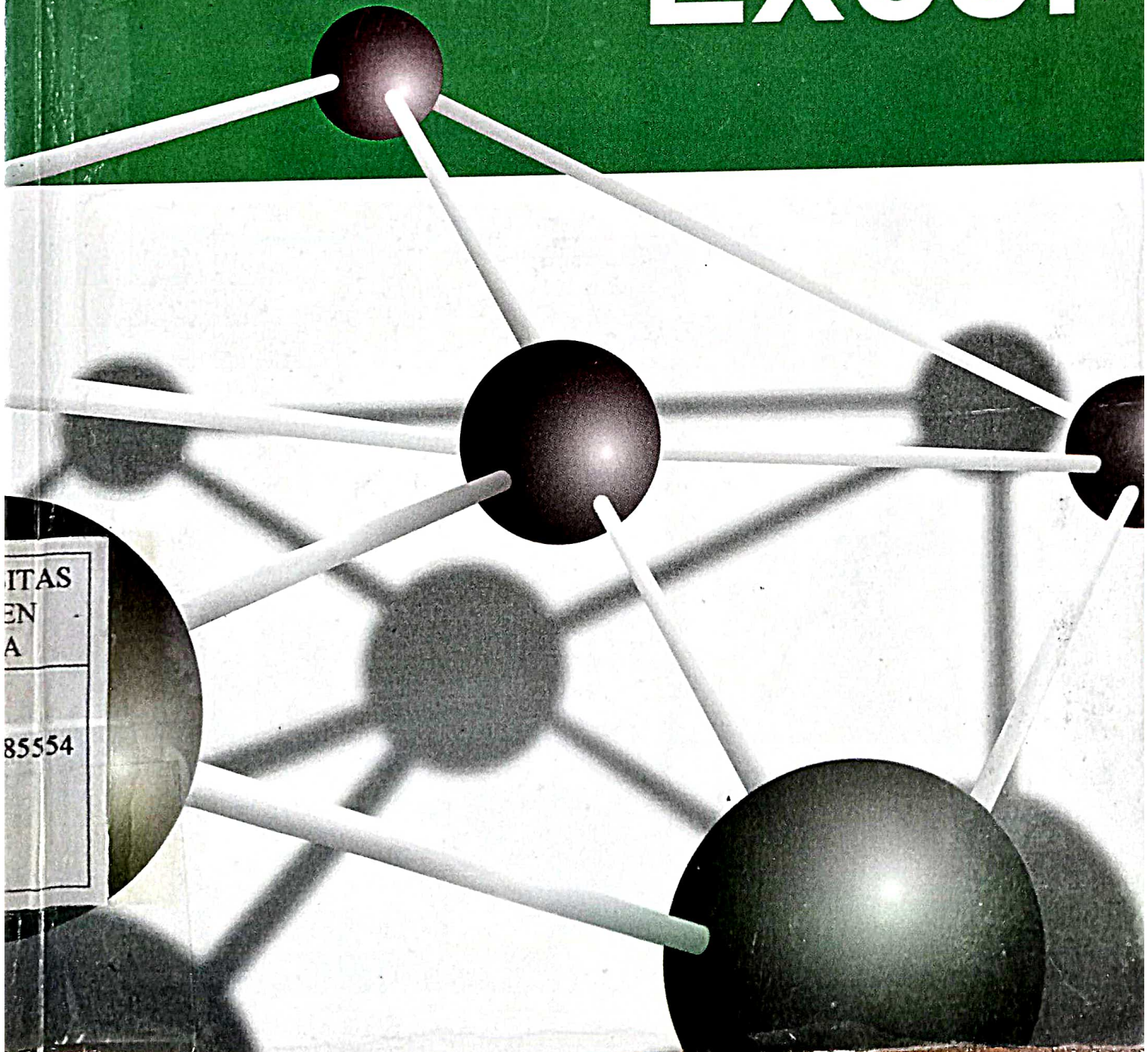




PENERBIT ANDI

Herry Dwie Yulianto, ST
Drs. I Nyoman Sutapa, M.Sc.

Riset Operasi dengan Excel



ITAS
EN
A

85554

RISET OPERASI *dengan* **EXCEL**



02195/
07

658.403402.8554
Gul
R

RISET OPERASI **dengan** **EXCEL**

Herry Dwie Yulianto, ST
Drs. I Nyoman Sutapa, M.Sc.

Penerbit ANDI Yogyakarta

Riset Operasi dengan Excel
Oleh: Herry Dwie Yulianto, ST
Drs. I Nyoman Sutapa, M.Sc.

Hak Cipta © 2005 pada Penulis.

Editor : Dhewiberta Hardjono
Setting : Sri Mulanto
Desain Cover : Yossy S.P. Hutaaruk
Korektor : Wiwin Dwi Lestari/ Aktor Tunas Agung

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

Penerbit:

C.V ANDI OFFSET (Penerbit ANDI)

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Percetakan:

ANDI OFFSET

Jl. Beo 38-40, Telp. (0274) 561881 (Hunting), Fax. (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Perpustakaan Nasional: Katalog dalam Terbitan

Yulianto, Herry Dwie

*Riset Operasi dengan Excel/ Herry Dwie Yulianto &
I Nyoman Sutapa; – Ed. I. – Yogyakarta: ANDI,*

09 - 08 - 07 - 06 - 05

viii + 200 hlm.; 16 x 23 Cm.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN: 979 - 763 - 002 - 1

I Judul

1. Research Operation

2. Sutapa, I Nyoman

DDC'21 : 658.403.4

KATA PENGANTAR

Dalam buku Riset Operasi dengan Excel ini, pembaca akan berkenalan dengan aplikasi penyelidikan operasional untuk memecahkan beberapa permasalahan riil. Pemecahan masalah tersebut didahului dengan pembuatan model pemrograman linier yang pemecahannya menggunakan program Solver yang terdapat pada spread sheet Excel. Software ini akan membantu pembaca untuk menyelesaikan masalah-masalah yang akan dibahas dalam buku ini.

Buku ini terbagi ke dalam 7 bab. Bab 1 membahas penyelidikan operasional, mencakup konsep yang kerap digunakan. Tujuannya adalah mempermudah Anda dalam mengikuti topik pembahasan. Bab 2 membicarakan program Solver secara singkat. Adapun bab 3 sampai 7 menyajikan berbagai permasalahan yang kerap ditemui dalam dunia usaha. Berturut-turut, masing-masing bab tersebut akan membahas masalah pembelian, kebijakan persediaan, pemilihan media iklan, dan model transportasi dalam masalah pembelian. Kemudian juga masalah produksi, masalah distribusi, model distribusi atau model jaringan kerja; masalah keuangan, yang meliputi pengelolaan uang dalam bentuk sertifikat deposito, modal anggaran belanja, lockbox, dan pembukaan pabrik baru. Terakhir adalah masalah penjadwalan pegawai dengan sebuah contoh kombinasi yang sederhana di mana perusahaan penerbangan membutuhkan penjadwalan pegawai untuk mengoperasikan berbagai jadwal penerbangan. Dalam kasus ini, rotasi untuk pegawai penerbangan harus dimulai dan diakhiri di kota yang sama.

Setiap masalah yang tersaji dalam buku ini akan diselesaikan dengan menggunakan beberapa tahapan berikut:

- Pembuatan model matematis
- Implementasi awal dengan menggunakan program Solver di Excel
- Implementasi akhir dengan menggunakan program Solver di Excel
- Analisis sensitivitas, diperlukan jika ada masalah dengan tambahan kendala biner

Penulis

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	v
Bab 1 Tinjauan Umum Penyelidikan Operasional	1
Konsep Dasar Pemrograman Matematis.....	1
Definisi Pemrograman Linier	1
Analisis Sensitivitas.....	2
Pedoman Pemrograman Matematis	3
Konsep dalam Pemrograman Linier	3
Bab 2 Pengenalan Solver	5
Pengertian Solver.....	5
Contoh Masalah	5
Bab 3 Masalah Pembelian.....	11
Masalah Pembelian Disket 1.....	11
Masalah Pembelian Disket 2.....	16
Masalah Kebijakan Persediaan 1	20
Masalah Kebijakan Persediaan 2	25
Masalah Pemilihan Media Periklanan	29
Masalah Pembelian dalam Model Transportasi.....	33
Bab 4 Proses Produksi.....	41
Masalah Bauran Produk.....	41
Masalah Alokasi Mesin dalam Satu Periode Produksi	46
Masalah Alokasi Mesin dalam Beberapa Periode Produksi	50
Masalah Campuran Bahan Baku Produk Metal (Periode Tunggal)	57
Masalah Campuran Bahan Baku Produk Metal (Beberapa Periode)	61
Masalah Proses Pilihan	68
Masalah Potongan Sisa Persediaan.....	73

Bab 5 Masalah Distribusi	77
Masalah Transportasi 1	77
Masalah Transportasi 2	82
Masalah Transportasi 3	89
Masalah Ransel	103
Masalah Pilihan Tempat Fasilitas	107
Masalah Produksi Transportasi	111
Bab 6 Masalah Keuangan	131
Masalah Sertifikat Deposito	131
Masalah Modal Anggaran Belanja 1	135
Masalah Modal Anggaran Belanja 2	140
Masalah Lokasi Lockbox	144
Masalah Pembukaan Pabrik Baru	150
Bab 7 Masalah Penjadwalan	155
Masalah Penjadwalan Pegawai Penerbangan	155
Masalah Perekrutan Pegawai di Pabrik	160
Masalah Penugasan Pegawai	168
Masalah Penjadwalan Pegawai 1	173
Masalah Penjadwalan Pegawai 2	176
Masalah Penjadwalan Pegawai 3	183
Masalah Perpindahan Pasukan	187
Daftar Pustaka	193

BAB I

TINJAUAN UMUM PENYELIDIKAN OPERASIONAL

Konsep Dasar Pemrograman Matematis

Pemrograman matematis (*mathematical programming*) adalah pembuatan model matematika atas suatu permasalahan yang sedang dihadapi dan menggunakan sebuah proses atau prosedur yang dapat diprogram, disebut algoritma, untuk mendapatkan solusinya.

Model-model pemrograman matematika yang banyak digunakan adalah pemrograman linier (*linear programming*), pemrograman bilangan bulat (*integer programming*), pemrograman nonlinier (*non linear programming*), analisis jaringan (*network analysis*) dan pemrograman dinamis (*dynamic programming*). Model-model pemrograman matematika tersebut dipakai untuk permasalahan deterministik di mana teori probabilitas tidak dibutuhkan.

Model matematika secara fisis adalah sekumpulan persamaan dan atau pertidaksamaan dari satu atau beberapa fungsi matematis. Fungsi matematis ini mengandung satu atau beberapa variabel keputusan, dan fungsi ini membentuk tujuan atau kriteria serta kendala-kendala atau batasan-batasan.

Definisi Pemrograman Matematis

Sebuah model atau pemrograman matematis memuat beberapa variabel keputusan, fungsi tujuan dan beberapa fungsi kendala dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan, di mana:

- Variabel-variabel keputusan adalah variabel-variabel yang menggambarkan keputusan-keputusan yang akan dibuat.
- Fungsi tujuan adalah fungsi dari harapan atau kriteria yang ingin dicapai, yang selanjutnya akan dimaksimalkan atau diminimalkan.

- Batasan-batasan atau kendala adalah kondisi atau syarat yang membatasi nilai-nilai dari variabel keputusan yang mungkin.
- Daerah solusi yang layak (*feasible space*) adalah daerah dari nilai-nilai variabel keputusan yang memenuhi semua kendala, atau semua kemungkinan kombinasi variabel keputusan yang memenuhi semua kendala.
- Solusi tidak layak (*infeasible solution*) adalah solusi yang tidak memenuhi satu kendala atau lebih.
- Solusi tak terbatas/terhingga (*unbounded solution*) adalah nilai fungsi tujuan tak terbatas (solusi optimal $\pm \infty$).
- Banyak solusi optimal (*multiple optimal solution*) adalah nilai fungsi tujuan paling baik dengan jumlah dua atau lebih.

Adapun Bentuk pemrograman matematis adalah memaksimumkan atau meminimumkan fungsi tujuan, yang memenuhi kendala-kendala, syarat atau batasan.

Analisis Sensitivitas

Analisis ini dilakukan setelah mendapatkan solusi optimal sehingga kerap juga disebut analisis pascaoptimalitas. Tujuannya adalah menguji ketangguhan model. Analisis sensitivitas dilakukan untuk menentukan pengaruh perubahan data, variabel atau kendala pada model terhadap keputusan optimal yang didapat.

- Kendala atau batasan yang ketat (*binding constraint*)
Adalah batasan yang dimanfaatkan sepenuhnya (dihabiskan) dalam mencapai keputusan yang optimal. Batasan yang ketat ini disebut batasan yang aktif.
- Kelebihan sumber daya yang ada terhadap yang digunakan (*slack*)
Untuk kendala dengan tanda $\leq$, jumlah sumber daya yang berlebihan dikurangi sedemikian rupa hingga batasan sumber daya tersebut menjadi ketat atau seimbang.
- Kelebihan penggunaan sumber daya dari batasan persediaan
Untuk kendala dengan tanda $\geq$, jumlah penggunaan sumber daya yang berlebihan dikurangi sedemikian rupa hingga batasan sumber daya tersebut menjadi ketat atau seimbang.

- Shadow price (harga bayangan)
Peningkatan (untuk kriteria laba) nilai fungsi tujuan jika dilakukan penambahan satu unit sumber daya pada pembatas sebelah kanan, atau sebaliknya penurunan (untuk kriteria biaya) nilai fungsi tujuan jika dilakukan penambahan satu unit pada pembatas sebelah kanan.
- Penurunan biaya (*reduced cost*)
Perubahan nilai koefisien dalam sebuah fungsi tujuan untuk meningkatkan laba atau biaya optimal.

Pedoman Pemrograman Matematis

- Mengerti masalah yang sebenarnya.
- Menyatakan secara lisan dan ringkas hal-hal berikut:
 1. Tujuan (*objective*) adalah sasaran yang ingin dicapai dari masalah yang dihadapi, misalnya keuntungan terbesar (maksimal), penjualan terbanyak, produktivitas tertinggi, biaya terendah, atau waktu tercepat.
 2. Variabel keputusan yaitu aspek-aspek yang dapat dikontrol untuk mencapai sasaran yang diharapkan.
 3. Kendala adalah kondisi/syarat yang harus dipenuhi agar mendapat solusi yang layak.
- Mengembangkan model matematis menggunakan variabel-variabel keputusan sebagai sesuatu yang akan dicari.
- Mengimplementasikan model matematis yang telah dibuat dalam software yang tersedia dan menjalankannya.

Konsep dalam Pemrograman Linier

Pemrograman linier bilangan bulat (*integer linear programming*) adalah pemrograman linier di mana semua variabel keputusannya adalah bilangan bulat.

Berikut adalah macam pemrograman linier bilangan bulat:

- Pemrograman linier bilangan bulat campuran, di mana beberapa (tidak semua) variabel keputusannya adalah bilangan bulat.
- Pemrograman bilangan bulat biner, di mana seluruh variabel keputusannya bernilai biner (0 atau 1).

Catatan:

Memecahkan sebuah program linier bilangan bulat atau program linier bilangan bulat campuran sebagai sebuah program, dan membulatkan jawaban yang didapat ke dalam bilangan bulat yang paling dekat terkadang merupakan langkah yang tak selalu benar atau tepat.

-oo0oo-

BAB 2

Pengenalan Program Solver

Pengertian Solver

Buku ini membahas masalah-masalah dengan menggunakan program Solver. Sebelum memasuki Solver, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mendefinisikan dan memilih variabel keputusan, kendala dan fungsi tujuan dari suatu masalah. Setelah langkah pertama dilakukan, masukkan data fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dalam Excel.

Solver adalah suatu program penyelesaian (menemukan jawaban) pada Excel untuk menyelesaikan masalah-masalah, seperti dalam buku ini, yang meliputi jawaban fungsi tujuan dan jawaban kendala serta jawaban analisis sensitivitas. Untuk mendapatkan program Solver, Anda bisa menginstal program Solver yang ada dalam Microsoft Excel lewat CD Microsoft Office XP terbaru.

Sebelum memasuki contoh penyelesaian masalah dalam solver, ada beberapa rumus implementasi yang perlu dimengerti dalam Excel:

SUMPRODUCT (a1:b2,c1:d2) artinya perkalian dari $(a1 \times c1) + (b2 \times d2)$

SUM (c1:c3) artinya penjumlahan dari $(c1 + \dots + c3)$

SUM (a1,b2,d10,f9) artinya penjumlahan dari $(a1 + b2 + d10 + f9)$

Contoh Masalah

Untuk lebih jelasnya, penulis akan memberikan contoh permasalahan pembelian disket di bawah ini:

Seorang pedagang disket yang memiliki empat toko di empat kota yang berbeda, membutuhkan disket dalam jumlah besar untuk dijual per bulan. Pedagang ini membeli disket dari 3 pabrik dengan harga pembelian yang berbeda. Setiap pabrik menjual disketnya dengan harga berbeda karena turut memperhitungkan biaya transportasi. Dari pabrik mana setiap toko dapat

membeli disket sehingga pedagang tersebut dapat memperkecil total biaya pembelian? Di bawah ini adalah tabel harga penawaran per 1000 disket (Rp 10.000,00):

	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Persediaan
Pabrik 1	50	45	48	52	25
Pabrik 2	52	48	51	54	30
Pabrik 3	49	51	50	52	25
Kebutuhan	20	25	15	15	

Langkah pertama yang harus Anda lakukan adalah memasukkan data menjadi berikut ini:

	A	B	C	D	E	F	G
6	<i>Penawaran per 1000 diskettes</i>						
7		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4		
8	pabrik 1	50	45	48	52		
9	pabrik 2	52	48	51	54		
10	pabrik 3	49	51	50	52		
12	<i>Pemberian kontrak per 1000 diskette</i>						
13		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	total penjualan	persediaan
14	pabrik 1	0	0	0	0	0	25
15	pabrik 2	0	0	0	0	0	30
16	pabrik 3	0	0	0	0	0	25
17	Total pembelian	0	0	0	0		
18	kebutuhan	20	25	15	15		
20	total biaya	0					

Gambar 2.1 Memasukkan data

Setelah memasukkan data secara lengkap dalam Excel, berikan rumus pada kendala dan fungsi tujuan.

Kendala

total penjualan Pabrik 1 = Sum (B14:E14)

total penjualan Pabrik 2 = Sum (B15:E15)

total penjualan Pabrik 3 = Sum (B16:E16)

total pembelian Toko 1 = Sum (B14:B16)

total pembelian Toko 2 = Sum (C14:C16)

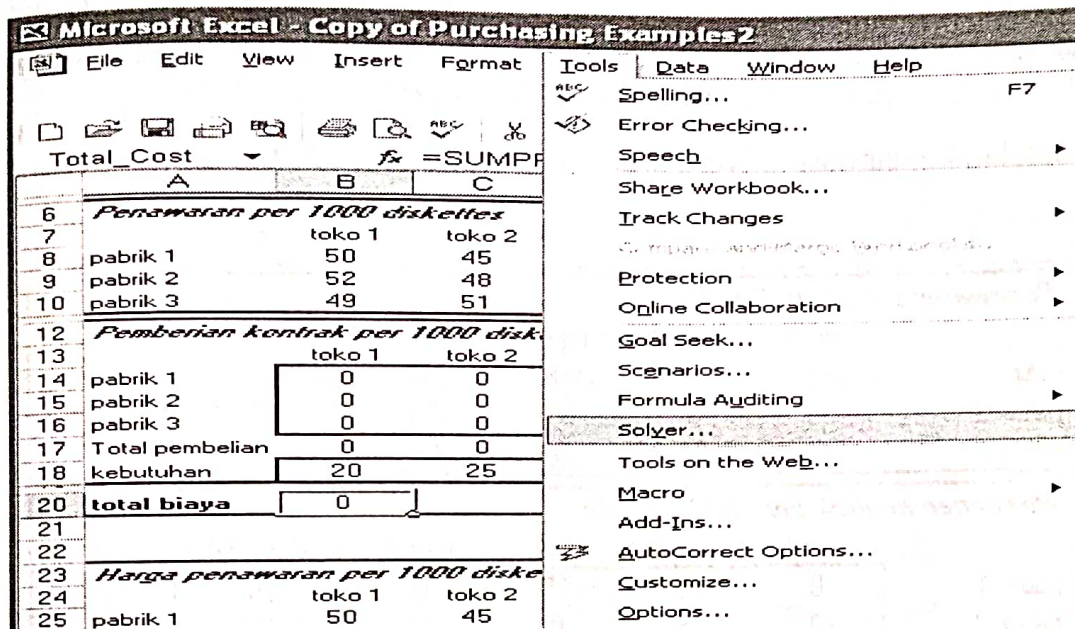
total pembelian Toko 3 = Sum (D14:D16)

total pembelian Toko 4 = Sum (E14:E16)

Fungsi Tujuan:

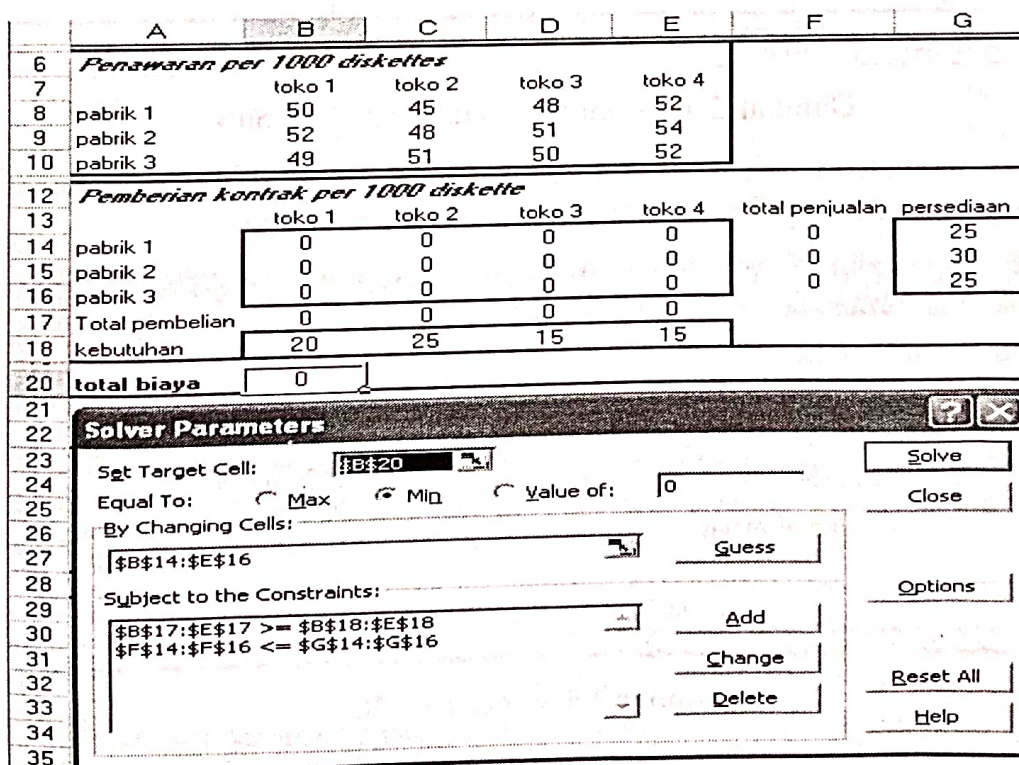
total biaya pembelian = SUMPRODUCT (B8:E10,B14:E16)

Setelah memberikan rumus dalam Excel, kursor diarahkan ke fungsi tujuan lalu tekan Tools dan pilih Solver sehingga akan tampil gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Langkah usai memasukkan rumus

Tekan Solver dan akan tampil:



Gambar 2.3 Solver Parameters

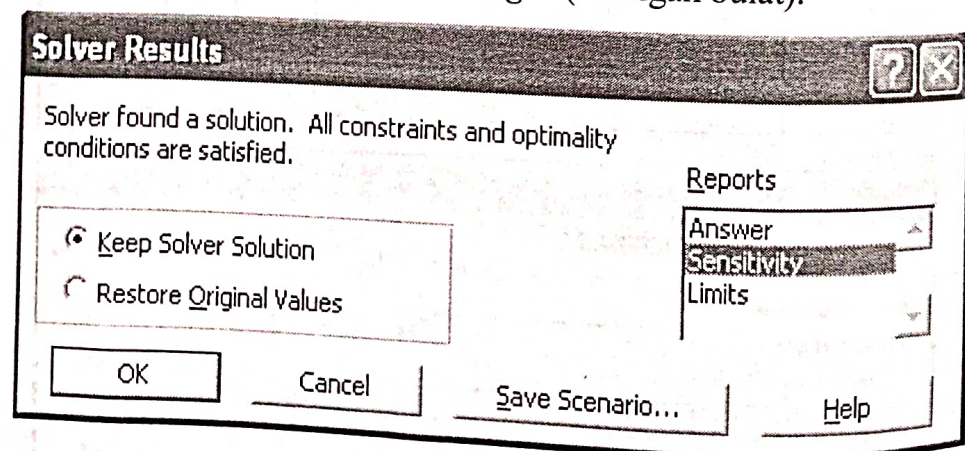
Dalam solver parameters diketahui bahwa Set Target Cell = fungsi tujuan yang berada pada cell B20, variabel keputusan berada pada cell B14:E16 dan kendala yang berupa total pembelian disket Toko 1 sampai 4 berada pada cell (B17:E17) $\geq$ kebutuhan disket Toko 1 sampai 4 (cell B18:E18) dan total penjualan disket Pabrik 1 sampai 3 berada pada cell (F14:F16) $\leq$ persediaan disket Pabrik 1 sampai 3 berada pada cell (G14:G16).

Setelah keluar dari Solver Parameters, tekan Solve sehingga akan tampil:

	A	B	C	D	E	F	G
6	<i>Penawaran per 1000 diskettes</i>						
7		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4		
8	pabrik 1	50	45	48	52		
9	pabrik 2	52	48	51	54		
10	pabrik 3	49	51	50	52		
12	<i>Pemberian kontrak per 1000 diskette</i>						
13		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	total penjualan	persediaan
14	pabrik 1	0	10	15	0	25	25
15	pabrik 2	0	15	0	10	25	30
16	pabrik 3	20	0	0	5	25	25
17	Total pembelian	20	25	15	15		
18	kebutuhan	20	25	15	15		
20	total biaya	3,670					

Gambar 2.4 Tampilan setelah menekan Solve

Setelah menekan Solve, tekan Sensitivity karena dalam kendala tidak ada pernyataan **binary** (biner) atau **integer** (bilangan bulat).



Gambar 2.5 Solver Results

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Variabel keputusan							
7								
8		Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
9	B14	Pabrik1 toko1		0	2	50	1E+30	2.000000001
10	C14	Pabrik 1 toko2		10	0	45	1.000000005	0
11	D14	Pabrik1 toko3		15	0	48	0	51
12	E14	Pabrik1 toko4		0	1	52.000000001	1E+30	1.000000005
13	B15	Pabrik2 toko1		0	1	52.000000001	1E+30	1.000000005
14	C15	Pabrik2 toko2		15	0	48	0	1.000000005
15	D15	Pabrik2 toko3		0	0	51	1E+30	0
16	E15	Pabrik2 toko4		10	0	54	1.000000005	1.000000001
17	B16	Pabrik3 toko1		20	0	49	1.000000005	51
18	C16	Pabrik3 toko2		0	5	51	1E+30	4.999999999
19	D16	Pabrik3 toko3		0	1	50	1E+30	1.000000001
20	E16	Pabrik3 toko4		5	0	52	1.000000001	1.000000005
21								
22	Kendala							
23								
24		Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease
25	B17	total toko1		20	51	20	5	10
26	C17	total toko2		25	48	25	5	15
27	D17	total toko3		15	51	15	5	15
28	E17	total toko4		15	54	15	5	10
29	F14	total pabrik 1		25	-3	25	15	5
30	F15	total pabrik 2		25	0	30	1E+30	5
31	F16	total pabrik 3		25	-2	25	10	5

Gambar 2.6 Tampilan analisis sensitivitas dalam Excel

- Kolom cell E9 sampai E20 memuat reduced cost (pembengkakan total biaya pembelian minimal), misalkan Toko 1 memaksa membeli x unit disket ke Pabrik 1 (sebelumnya dalam solusi optimal, Toko 1 tidak membeli disket ke Pabrik 1) sehingga total biaya pembelian akan membengkak sebanyak Rp. 2x, yaitu menjadi Rp 3.670,00+2x. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian 1E+30 (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D25 sampai D31 menampilkan nilai fungsi pada saat variabel keputusan bernilai optimal (nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E25 sampai E31 memuat shadow price (harga bayangan, yaitu kenaikan/penurunan profit atau pembengkakan/pengurangan biaya bila suatu batas sumber daya/kendala diperbesar/diperkecil). Misalnya shadow price Toko 1 adalah Rp 51. Artinya, bila batas pembelian Toko 1 dinaikkan sebesar x unit disket, maka solusi optimalnya akan bertambah sebesar 51x, yaitu Rp 3.670,00+51x di mana pengurangan kebutuhannya dibatasi sampai 5 unit dari batas kebutuhan 20 unit, dan penambahan kebutuhannya dibatasi sampai 10 unit dari batas kebutuhan 20 unit, menjadi maksimal 30 unit. Demikian juga untuk batas kebutuhan Toko 2, 3 dan 4. Hal yang sama berlaku untuk batas penjualan Pabrik 1 sampai Pabrik 3.

Rumus implementasi dalam penyelidikan operasional akan dibahas lebih detail lewat berbagai macam permasalahan yang tersaji dalam bab 3 sampai 7.

-oo0oo-

BAB 3

MASALAH PEMBELIAN

Dalam masalah pembelian, Anda akan melihat bagaimana Solver bisa membantu menyelesaikan semua masalah yang ada dalam bab ini.

Masalah Pembelian Disket 1

Seorang pedagang disket memiliki empat toko di empat kota yang berbeda. Setiap bulan, ia membutuhkan disket dalam jumlah besar untuk dijual kembali. Pedagang ini membeli disket dari 3 pabrik dengan harga pembelian yang berbeda. Perbedaan harga itu muncul karena setiap pabrik turut memperhitungkan biaya transportasi. Dari pabrik mana setiap toko bisa membeli disket sehingga pedagang tersebut dapat memperkecil total biaya pembelian? Di bawah ini adalah tabel harga penawaran per 1000 disket (Rp 10.000,00):

	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Persediaan
Pabrik 1	50	45	48	52	25
Pabrik 2	52	48	51	54	30
Pabrik 3	49	51	50	52	25
Kebutuhan	20	25	15	15	

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Misalkan variabel keputusannya adalah x_{ij} yang menyatakan jumlah pembelian disket oleh setiap toko i ke setiap pabrik j di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Toko 1, 2, 3, dan 4, dan $j = 1, 2, 3$ mewakili Pabrik 1, 2, dan 3.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya pembelian, yaitu harga penawaran per 1000 disket dikalikan dengan keputusan jumlah pembelian, yang dapat dirumuskan di bawah ini:

$$\text{minimalkan } z = 50x_{11} + 52x_{21} + 49x_{31} + 45x_{12} + 48x_{22} + 51x_{32} \\ + 48x_{13} + 51x_{23} + 50x_{33} + 52x_{14} + 54x_{24} + 52x_{34}$$

Kendala

Masalah ini memiliki 2 kendala yang dirumuskan di bawah ini:

- Jumlah pembelian disket oleh masing-masing toko boleh melebihi kebutuhan disket masing-masing toko.

1. Jumlah pembelian disket oleh Toko 1 paling sedikit 20

$$x_{11} + x_{21} + x_{31} \geq 20$$

2. Jumlah pembelian disket oleh Toko 2 paling sedikit 25

$$x_{12} + x_{22} + x_{32} \geq 25$$

3. Jumlah pembelian disket oleh Toko 3 paling sedikit 15

$$x_{13} + x_{23} + x_{33} \geq 15$$

4. Jumlah pembelian disket oleh Toko 4 paling sedikit 15

$$x_{14} + x_{24} + x_{34} \geq 15$$

- Jumlah penjualan disket ke masing-masing pabrik tidak boleh melebihi persediaan disket masing-masing pabrik.

1. Jumlah penjualan disket ke Pabrik 1 dibatasi 25

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \leq 25$$

2. Jumlah penjualan disket ke Pabrik 2 dibatasi 30

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \leq 30$$

3. Jumlah penjualan disket ke Pabrik 3 dibatasi 25

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \leq 25$$

di mana $x_{ij} \geq 0$ untuk setiap i dan j .

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
6	<i>Harga penawaran per 1000 disket(xRp10000)</i>						
7		toko1	toko2	toko3	toko4		
8	Pabrik1	50	45	48	52		
9	Pabrik2	52	48	51	54		
10	Pabrik3	49	51	50	52		
12	<i>Keputusan pembelian(unit)</i>						
13		toko1	toko2	toko3	toko4	Total penjualan	Persediaan
14	Pabrik1	0	0	0	0	0	25
15	Pabrik2	0	0	0	0	0	30
16	Pabrik3	0	0	0	0	0	25
17	Total pembelian	0	0	0	0		
18	kebutuhan	20	25	15	15		
20	total biaya pembelian	0					

Gambar 3.1 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 3.1, dibuat fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dalam bentuk tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pembelian disket dari toko-toko ke pabrik-pabrik	B14:E16

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Total biaya pembelian disket	B20	=SUMPRODUCT(B8:E10,B14:E16)

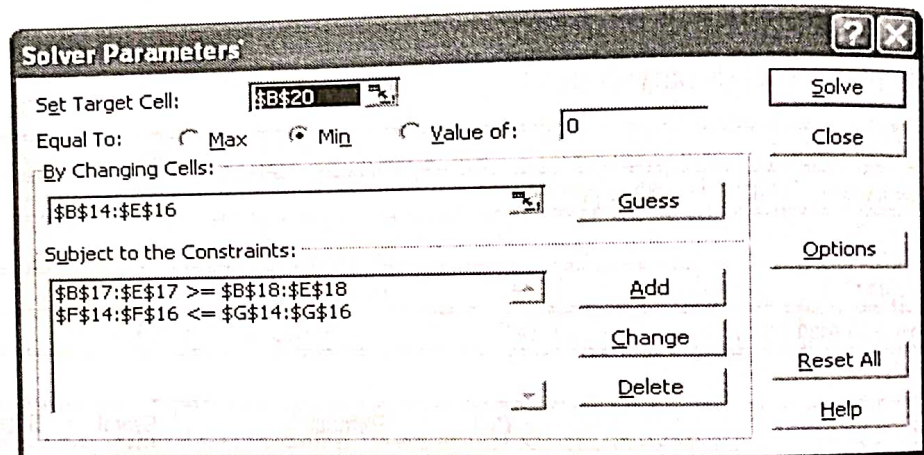
Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Jumlah pembelian disket oleh Toko 1	B17	=SUM(B14:B16)	$\geq$	B18
jumlah pembelian disket oleh Toko 2	C17	=SUM(C14:C16)	$\geq$	C18
jumlah pembelian disket oleh Toko 3	D17	=SUM(D14:D16)	$\geq$	D18
Jumlah pembelian disket oleh Toko 4	E17	=SUM(E14:E16)	$\geq$	E18
jumlah penjualan disket dari Pabrik 1	F14	=SUM(B14:E14)	$\leq$	G14
jumlah penjualan disket dari Pabrik 2	F15	=SUM(B15:E15)	$\leq$	G15
jumlah penjualan disket dari Pabrik 3	F16	=SUM(B16:E16)	$\leq$	G16

Setelah menuliskan rumus pada tabel di atas, tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.2 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pembelian (cell B20), yaitu harga penawaran per 1000 disket (cell B8:E10) dikalikan dengan keputusan pembelian (cell B14:E16).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan dinotasikan dengan x_{ij} yang menyatakan jumlah pembelian disket oleh toko i dari pabrik j

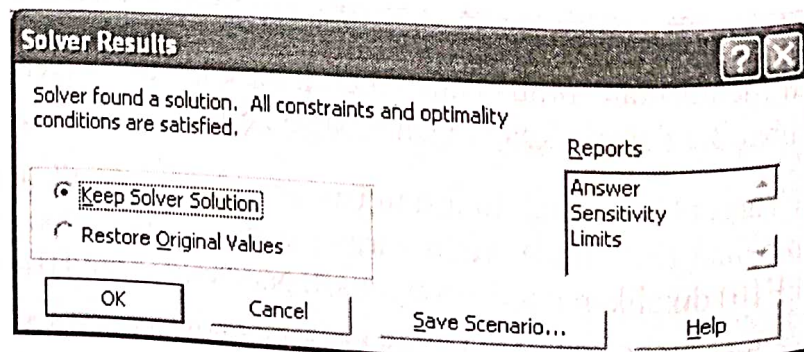
di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Toko 1, 2, 3, dan 4, dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Pabrik 1, 2, dan 3 (cell B14:E16).

- Subject to the Constraints adalah kendala jumlah pembelian disket oleh setiap toko dari setiap pabrik (cell B17:E17) $\geq$ kebutuhan disket masing-masing toko (cell B18:E18) dan jumlah penjualan disket dari setiap pabrik ke setiap toko (cell F14:F16) $\leq$ persediaan disket masing-masing pabrik (cell G14:G16).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk variabel keputusan, kendala, fungsi tujuan, dan linier dalam Solver, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.2 di bawah ini:



Gambar 3.2 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah semua fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dimasukkan ke dalam Solver Parameters pada Gambar 3.2, tekan Solve dan akan muncul Solver Results. Klik Keep Solver Solution. Pilih answer kemudian tekan OK untuk menemukan jawaban dari masalah pembelian disket meliputi fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan.



Gambar 3.3 Solver Results dalam Excel

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
6	Harga penawaran per 1000 disket(Rp 10000)						
7		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4		
8	pabrik 1	50	45	48	52		
9	pabrik 2	52	48	51	54		
10	pabrik 3	49	51	50	52		
12	Keputusan pembelian(unit)						
13		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	Total penjualan	persediaan
14	pabrik 1	0	10	15	0	25	25
15	pabrik 2	0	15	0	10	25	30
16	pabrik 3	20	0	0	5	25	25
17	Total pembelian	20	25	15	15		
18	kebutuhan	20	25	15	15		
20	total biaya pembelian	3.670					

Gambar 3.4 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Pada Gambar 3.4, terlihat bahwa total biaya pembelian adalah sebesar Rp 3.670,00 = $(20 \times 49) + (10 \times 45) + (15 \times 48) + (15 \times 48) + (10 \times 54) + (5 \times 52)$ dengan rincian pembelian: Toko 1 hanya membeli disket dari Pabrik 3 sebanyak 20 unit, Toko 2 hanya membeli disket dari Pabrik 1 sebanyak 10 unit dan Pabrik 2 sebanyak 15 unit. Toko 3 hanya membeli disket dari Pabrik 1 sebanyak 15 unit dan Toko 4 hanya membeli disket dari Pabrik 2 sebanyak 10 unit dan Pabrik 3 sebanyak 5 unit.

Analisis Sensitivitas

Gambar berikut adalah Output Solver untuk analisis sensitivitas:

	A	B	C	D	E	F	G	H
5								
6	Variabel keputusan							
7								
8		Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
9	B14	Pabrik1 toko1	0	2	50	1E+30	2.000000001	0
10	C14	Pabrik1 toko2	10	0	45	1.000000005	0	51
11	D14	Pabrik1 toko3	15	0	48	0	1.000000005	0
12	E14	Pabrik1 toko4	0	1	52.00000001	1E+30	1.000000005	0
13	B15	Pabrik2 toko1	0	1	52.00000001	1E+30	1.000000005	0
14	C15	Pabrik2 toko2	15	0	48	0	1.000000005	0
15	D15	Pabrik2 toko3	0	0	51	1E+30	0	1.000000001
16	E15	Pabrik2 toko4	10	0	54	1.000000005	1.000000001	0
17	B16	Pabrik3 toko1	20	0	49	1.000000005	0	51
18	C16	Pabrik3 toko2	0	5	51	1E+30	4.999999999	0
19	D16	Pabrik3 toko3	0	1	50	1E+30	1.000000001	0
20	E16	Pabrik3 toko4	5	0	52	1.000000001	1.000000005	0
21								
22	Kendala							
23								
24		Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease
25	B17	total toko1	20	51	20	5	10	15
26	C17	total toko2	25	48	25	5	15	10
27	D17	total toko3	15	51	15	5	10	5
28	E17	total toko4	15	54	15	5	10	5
29	F14	total pabrik 1	25	-3	25	15	5	5
30	F15	total pabrik 2	25	0	30	1E+30	5	5
31	F16	total pabrik 3	25	-2	25	10	5	5

Gambar 3.5 Tampilan analisis sensitivitas dalam Excel

- Kolom Cell E9 sampai E20 memuat reduced cost (pembengkakan total biaya pembelian minimal). Misalkan Toko 1 memaksa membeli x unit disket ke Pabrik 1 (sebelumnya dalam solusi optimal, Toko 1 tidak membeli disket ke Pabrik 1) sehingga total biaya pembelian akan membengkak sebanyak Rp $2x$ menjadi Rp $3.670,00+2x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D25 sampai D31 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E25 sampai E31 memuat shadow price atau harga bayangan. Shadow price adalah kenaikan/penurunan profit atau pembengkakan/ pengurangan biaya bila suatu batas sumber daya (kendala) diperbesar/ diperkecil. Misalnya shadow price Toko 1 adalah Rp 51,00 yang artinya bila batas pembelian Toko 1 dinaikkan sebesar x unit kaset maka solusi optimalnya akan bertambah sebesar $51x$ menjadi Rp $3.670,00+51x$ di mana pengurangan kebutuhannya dibatasi hingga 5 unit dari batas kebutuhan 20 unit, dan penambahan kebutuhannya dibatasi sampai 10 unit dari batas kebutuhan 20 unit, menjadi maksimal 30 unit. Demikian juga untuk batas kebutuhan Toko 2, 3 dan 4. Hal yang sama berlaku untuk batas penjualan Pabrik 1 sampai Pabrik 3.

Masalah Pembelian Disket 2

Masalah ini merupakan pengembangan masalah pembelian disket 1, yaitu dengan tambahan kendala berupa persyaratan dari Pabrik 1 untuk hanya menjual paling sedikit 15.000 disket ke masing-masing toko. Dari pabrik mana setiap toko bisa membeli disket sehingga pedagang tersebut dapat memperkecil total biaya pembelian dengan memperhatikan tambahan kendala dan variabel keputusan? Di bawah ini adalah tabel harga penawaran disket (Rp 10.000,00):

	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Persediaan
Pabrik 1	50	45	48	52	25
Pabrik 2	52	48	51	54	30
Pabrik 3	49	51	50	52	25
Keputusan Pabrik 1	0	0	0	0	
Kebutuhan	20	25	15	15	

- Kolom Cell E9 sampai E20 memuat reduced cost (pembengkakan total biaya pembelian minimal). Misalkan Toko 1 memaksa membeli x unit disket ke Pabrik 1 (sebelumnya dalam solusi optimal, Toko 1 tidak membeli disket ke Pabrik 1) sehingga total biaya pembelian akan membengkak sebanyak Rp $2x$ menjadi Rp $3.670,00+2x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D25 sampai D31 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E25 sampai E31 memuat shadow price atau harga bayangan. Shadow price adalah kenaikan/penurunan profit atau pembengkakan/pengurangan biaya bila suatu batas sumber daya (kendala) diperbesar/diperkecil. Misalnya shadow price Toko 1 adalah Rp 51,00 yang artinya bila batas pembelian Toko 1 dinaikkan sebesar x unit kaset maka solusi optimalnya akan bertambah sebesar $51x$ menjadi Rp $3.670,00+51x$ di mana pengurangan kebutuhannya dibatasi hingga 5 unit dari batas kebutuhan 20 unit, dan penambahan kebutuhannya dibatasi sampai 10 unit dari batas kebutuhan 20 unit, menjadi maksimal 30 unit. Demikian juga untuk batas kebutuhan Toko 2, 3 dan 4. Hal yang sama berlaku untuk batas penjualan Pabrik 1 sampai Pabrik 3.

Masalah Pembelian Disket 2

Masalah ini merupakan pengembangan masalah pembelian disket 1, yaitu dengan tambahan kendala berupa persyaratan dari Pabrik 1 untuk hanya menjual paling sedikit 15.000 disket ke masing-masing toko. Dari pabrik mana setiap toko bisa membeli disket sehingga pedagang tersebut dapat memperkecil total biaya pembelian dengan memperhatikan tambahan kendala dan variabel keputusan? Di bawah ini adalah tabel harga penawaran disket (Rp 10.000,00):

	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Persediaan
Pabrik 1	50	45	48	52	25
Pabrik 2	52	48	51	54	30
Pabrik 3	49	51	50	52	25
Keputusan Pabrik 1	0	0	0	0	
Kebutuhan	20	25	15	15	

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Rumusannya sama dengan rumusan masalah pembelian disket 1 di atas dengan tambahan variabel keputusan dalam pembelian disket oleh masing-masing toko ke Pabrik 1. Variabel keputusan lainnya yaitu y_{ij} berupa keputusan pembelian disket oleh toko i dari pabrik j (bernilai biner, yaitu nilainya 1 kalau dilakukan pembelian dan 0 kalau tidak dilakukan pembelian).

Kendala

Tambahan kendala adalah masing-masing toko disyaratkan paling sedikit membeli 15.000 disket jika membeli ke Pabrik 1 yang dapat dirumuskan sebagai berikut (Rp 1.000,00):

$$\text{Toko 1} \quad 15y_{11} \leq x_{11} \leq 25y_{11}$$

$$\text{Toko 2} \quad 15y_{21} \leq x_{21} \leq 25y_{21}$$

$$\text{Toko 3} \quad 15y_{31} \leq x_{31} \leq 25y_{31}$$

$$\text{Toko 4} \quad 15y_{41} \leq x_{41} \leq 25y_{41}$$

di mana X_{ij} dan $Y_{ij} \geq 0$ dan keputusan Pabrik 1 = biner

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
6	Harga penawaran per 1000 disket (Rp 1.000)						
7		toko1	toko2	toko3	toko4		
8	Pabrik1	50	45	48	52		
9	Pabrik2	52	48	51	54		
10	Pabrik3	49	51	50	52		
12	Keputusan pembelian per 1000 disket						
13		toko1	toko2	toko3	toko4	total penjualan	Persediaan
14	Pabrik1	0	0	0	0	0	25
15	Pabrik2	0	0	0	0	0	30
16	Pabrik3	0	0	0	0	0	25
17	Total pembelian	0	0	0	0		
18	kebutuhan	20	25	15	15		
19	Jika pabrik 1 disyaratkan membeli paling sedikit 15000 disket atau lebih						
20	Keputusan pabrik 1	0	0	0	0		
21		0	0	0	0		
22		0	0	0	0		
24	total biaya pembelian	0					

Gambar 3.6 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 3.6, dibuat fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dalam bentuk tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Pembelian disket oleh masing-masing toko ke Pabrik1	=(B20:E20)
Jumlah pembelian disket oleh toko dari pabrik	=(B14:E16)

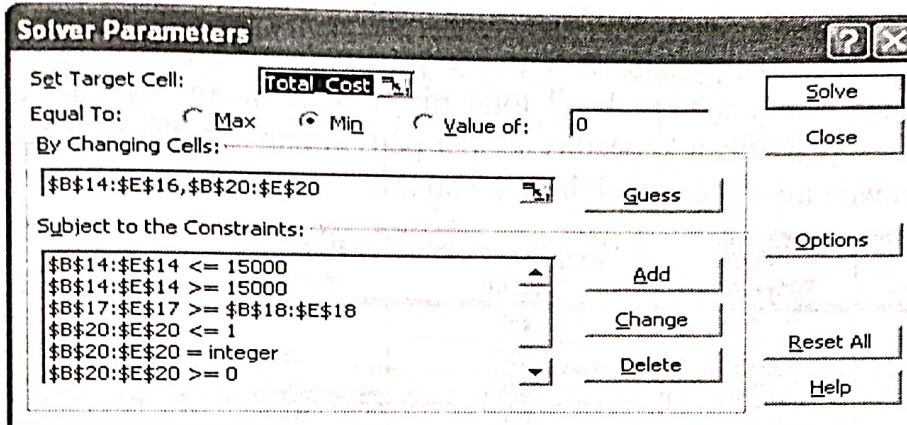
Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pembelian disket	B24	=SUMPRODUCT(B8:E10;B14:E16)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Jumlah pembelian disket Toko 1	B17	=SUM(B14:B16)	$\geq$	B18
Jumlah pembelian disket Toko 2	C17	=SUM(C18:C20)	$\geq$	C18
Jumlah pembelian disket Toko 3	D17	=SUM(D18:D20)	$\geq$	D18
Jumlah pembelian disket Toko 4	E17	=SUM(E18:E20)	$\geq$	E18
Jumlah penjualan disket Pabrik 1	F14	=SUM(B14:E14)	$\leq$	G14
Jumlah penjualan disket Pabrik 2	F15	=SUM(B15:E15)	$\leq$	G15
Jumlah penjualan disket Pabrik 3	F16	=SUM(B16:E16)	$\leq$	G16
Syarat pembelian disket oleh Pabrik 1 ke Toko 1	B20	=15*B20	$\leq$	25*B20
Syarat pembelian disket oleh Pabrik 1 ke Toko 2	C20	=15*C20	$\leq$	25*C20
Syarat pembelian disket oleh Pabrik 1 ke Toko 3	D20	=15*D20	$\leq$	25*D20
Syarat pembelian disket oleh Pabrik 1 ke Toko 4	E20	=15*E20	$\leq$	25*E20

Setelah menuliskan rumus pada tabel di atas, tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.7 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pembelian (cell B24) yaitu harga penawaran per 1000 disket (cell B8:E10) dikalikan dengan keputusan pembelian di Pabrik 1.
- By Changing Cells adalah variabel keputusan dinotasikan dengan x_{ij} yang menyatakan jumlah pembelian disket dari toko i ke pabrik j , di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Toko 1, 2, 3, dan 4, dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Pabrik 1, 2, dan 3 (cell B14:E16), dan variabel keputusan lainnya yaitu y_{ij} berupa keputusan pembelian disket dari toko i ke pabrik j (bernilai biner, yaitu bernilai 1 jika dilakukan pembelian dan 0 jika sebaliknya) berada pada (cell B20:E20).
- Subject to the Constraints adalah kendala jumlah pembelian disket oleh setiap toko (cell B17:E17) boleh melebihi kebutuhan disket masing-masing toko (cell B18:E18) dan jumlah penjualan oleh setiap pabrik (cell F14:F16) tidak boleh melebihi persediaan disket masing-masing pabrik (cell G14:G16) dan tambahan kendala adalah masing-masing toko disyaratkan paling sedikit membeli 15.000 disket jika membeli ke Pabrik 1 (cell B20:E20).

- Cell B20:E20 ≥ 0 , integer dan ≤ 1
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk variabel keputusan, fungsi tujuan, kendala dan linier dalam Solver maka tampil Solver Parameters seperti di bawah ini:



Gambar 3.7 Solver Parameters dalam Excel

- Setelah menemui Solver Parameters seperti di atas, langkah-langkah memperoleh penyelesaian selanjutnya sama dengan Gambar 3.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
6	<i>harga penawaran per 1000 disket(Rp10000)</i>						
7		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4		
8	pabrik 1	50	45	48	52		
9	pabrik 2	52	48	51	54		
10	pabrik 3	49	51	50	52		
12	<i>Keputusan pembelian per 1000 disket</i>						
13		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	total penjualan	persediaan
14	pabrik 1	0	25	0	0	25	25
15	pabrik 2	0	0	15	10	25	30
16	pabrik 3	20	0	0	5	25	25
17	Total pembelian	20	25	15	15		
18	kebutuhan	20	25	15	15		
19	Pabrik 1 hanya berminat dalam kontrak dari 15000 diskettes atau lebih.						
20	keputusan pabrik 1	0	1	0	0		
21		0	15	0	0		
22		0	25	0	0		
24	Total biaya pembelian	3.670					

Gambar 3.8 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Berdasarkan Gambar 3.8 dengan adanya tambahan kendala berupa syarat dari Pabrik 1 untuk hanya menjual paling sedikit 15.000 disket ke masing-masing toko maka setelah dilakukan penyelesaian dengan Solver diputuskan pembelian dari Pabrik 1 hanya oleh Toko 2 sebesar 25 unit karena keputusan Pabrik 1 terhadap Toko 2 bernilai 1. Artinya, dilakukan pembelian dari Pabrik 1 hanya oleh Toko 2, dengan total biaya pembelian Rp 3.670,00 $= (20 \times 49) + (25 \times 45) + (15 \times 51) + (10 \times 54) + (5 \times 52)$.

Masalah Kebijakan Persediaan 1

Sebuah gudang menjual 4 jenis produk dengan tingkat permintaan yang berbeda. Setiap produk memerlukan biaya simpan dan volume ruang penyimpanan yang berbeda. Bagaimana seharusnya kebijakan pemesanan yang terbaik untuk penggunaan ruang penyimpanan, banyaknya pesanan setiap bulan untuk memperkecil total biaya pemesanan dan biaya simpan dengan memperhatikan kapasitas tempat penyimpanan terbatas, yaitu 50000 m³? Di bawah ini adalah tabel dari kebijakan persediaan 1.

	Biaya Penyimpanan	Ruang Penyimpanan (unit)	Permintaan per Bulan	Biaya Pesanan per Order
Produk 1	25	440	200	50
Produk 2	20	850	325	50
Produk 3	30	1260	400	50
Produk 4	15	950	150	50

Diketahui EOQ Produk 1 adalah 28.28427, Produk 2 = 40.31129, Produk 3 = 36.51484 dan Produk 4 = 31.62278.

Pemrograman Nonlinier

Pembuatan Model Matematis

Salah satu penyelesaian analitis untuk masalah ini menggunakan Economic Order Quantity (EOQ), yang dirumuskan sebagai:

$$q = \sqrt{\frac{2kd}{h}}$$

di mana q = banyaknya pesanan

k = biaya sekali pemesanan

d = jumlah permintaan

h = biaya simpan per unit produk per periode

Akan tetapi, rumus ini tidak selalu dipakai dalam dunia nyata karena permintaan biasanya berfluktuasi, waktu pesanan berubah-ubah, dan faktor-faktor yang lain makin bertambah sehingga permasalahannya pun semakin kompleks.

Dalam model kebijakan persediaan 1, misalkan ruang penyimpanan terbatas, dapat dirumuskan:

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah jumlah pesanan setiap produk untuk setiap bulan.

Kendala

Kendalanya adalah kuantitas pemesanan tidak boleh negatif dan bernilai bulat, yang dapat dirumuskan:

- Banyaknya pemesanan ≥ 0 dan bernilai bulat
- Penggunaan ruang $\leq$ tersedianya ruang

Penggunaan ruang merupakan kebutuhan ruang untuk menyimpan seluruh produk.

Catatan:

Jika kapasitas gudang penyimpanan tidak terbatas, maka rumus EOQ dapat diterapkan.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan total biaya pemesanan [biaya sekali pesan (k) dikalikan dengan jumlah permintaan (d) dibagi jumlah order (q)] dan biaya simpan per bulan (biaya simpan dikalikan jumlah order dibagi dua). Total biaya ini dirumuskan sebagai: $z = h \frac{q}{2} + k \frac{d}{q}$

Dalam rumus ini, rata-rata tingkat inventory adalah $q/2$ dan rata-rata jumlah pesanan adalah d/q .

Berikut adalah penentuan variabel keputusan, kendala dan fungsi tujuan:

Misalkan variabel keputusannya adalah q_i yang menyatakan kuantitas pemesanan setiap bulan untuk setiap produk i di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Produk 1, 2, 3, dan 4

Fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya pesanan per bulan yang dapat dirumuskan sebagai:

$$z = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{2} h_i q_i + k_i \frac{d_i}{q_i} \right)$$

Kendala untuk batas gudang penyimpanan untuk seluruh produk dapat dirumuskan sebagai $\sum_{i=1}^4 \frac{v_i q_i}{2} \leq 50000$.

Dengan batas-batas variabel $q_i \geq 0$ untuk semua i , di mana v_i adalah ruang yang dibutuhkan untuk setiap unit produk i .

Model ini disebut model nonlinier karena fungsi tujuannya merupakan fungsi yang tidak linier terhadap q_i .

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
		Biaya penyimpanan	Kapasitas ruang penyimpanan per unit (m3)	Permintaan per bulan	Biaya pesanan per order		Kapasitas ruang. penyimpanan yang tersedia	
5								
6	produk 1	25	440	200	50		50000	
7	produk 2	20	850	325	50			
8	produk 3	30	1260	400	50			
9	produk 4	15	950	150	50			
11	Banyaknya pesanan setiap bulan							
12			EOQ		biaya pesanan		Ruang yang digunakan (m3)	
13	produk 1	0	28.28427125		0		0	
14	produk 2	0	40.31128874		0		0	
15	produk 3	0	36.51483717		0		0	
16	produk 4	0	31.6227766		0		0	
17				Total	0		0	

Gambar 3.9 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 3.9, dibuat fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dalam bentuk tabel di bawah ini:

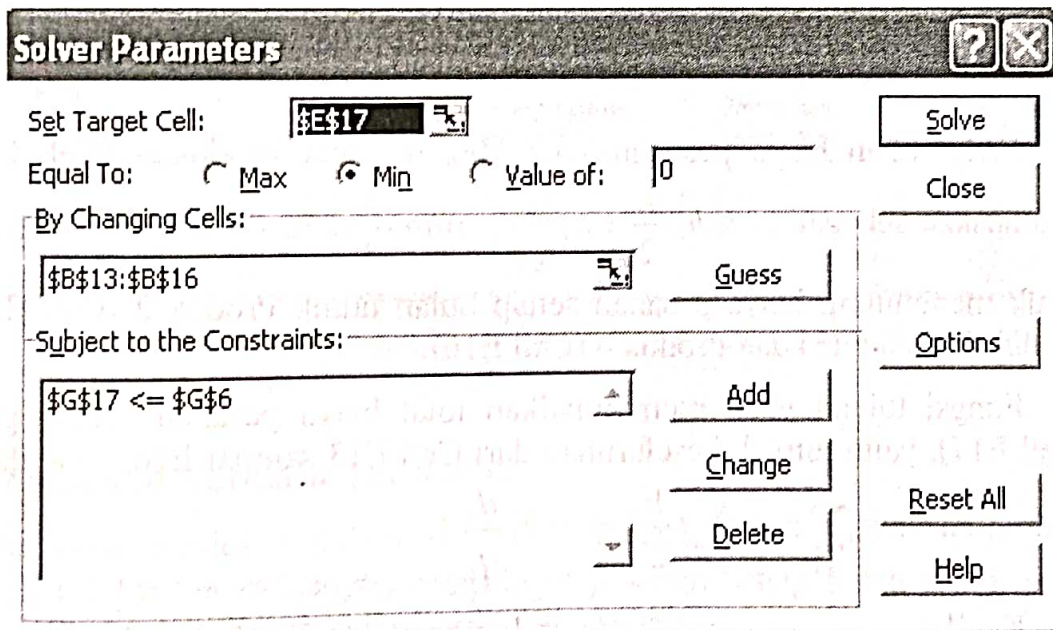
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pesanan setiap produk untuk setiap bulan	=(B13:B16)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pemesanan	E17	=SUM(E13:E16)
Setiap bulan untuk produk1 sampai produk 4, di mana:		
Biaya pesanan setiap bulan Produk 1	E13	=B6*B13/2+E6*D6/B13
Biaya pesanan setiap bulan Produk 2	E14	=B7*B14/2+E7*D7/B14
Biaya pesanan setiap bulan Produk 3	E15	=B8*B15/2+E8*D8/B15
Biaya pesanan setiap bulan Produk 4	E16	=B9*B16/2+E9*D9/B16

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Total penggunaan ruang Produk 1 sampai Produk 4, di mana:	G17	=SUM(G13:G16)	$\leq$	G6
Penggunaan ruang Produk 1	G13	=C6*B13/2	-	G6
Penggunaan ruang Produk 2	G14	=C7*B14/2	-	G6
Penggunaan ruang Produk 3	G15	=C8*B15/2	-	G6
Penggunaan ruang Produk 4	G16	=C9*B16/2	-	G6

Setelah menuliskan rumus pada tabel di atas, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.10 seperti di bawah ini dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan meminimalkan total biaya pesanan setiap bulan untuk Produk 1 sampai 4 (cell E17) yaitu penjumlahan dari pesanan setiap bulan untuk Produk 1 sampai 4 (cell E13:E16).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan jumlah banyaknya pesanan setiap produk untuk setiap bulan (cell B13:B16).
- Subject to the Constraints adalah total penjumlahan kendala penggunaan ruang untuk masing-masing produk (cell G17) lebih kecil dari tersedianya ruangan (cell G6).
- Asumsi yang digunakan bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan, kendala dan tidak linier dalam Solver, sehingga akan muncul tampilan seperti berikut:



Gambar 3.10 Solver Parameters dalam Excel

Langkah memperoleh penyelesaian selanjutnya sama dengan di atas (Gambar 3.3).

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
		Biaya penyimpanan	Kapasitas ruang penyimpanan per unit (m3)	Permintaan per bulan	Biaya pesanan per order		Kapasitas ruang penyimpanan yang tersedia	
5							50000	
6	produk 1	25	440	200	50			
7	produk 2	20	850	325	50			
8	produk 3	30	1260	400	50			
9	produk 4	15	950	150	50			
11	Banyaknya pesanan setiap bulan							
12		EOQ			biaya pesanan	Ruang yang digunakan (m3)		
13	produk 1	25.78579	28.28427125		710	5672.873512		
14	produk 2	33.01725	40.31128874		822	14032.33295		
15	produk 3	29.9657	36.51483717		1.117	18878.38858		
16	produk 4	24.03454	31.6227766		492	11416.40495		
17				Total	3.142	50000		

Gambar 3.11 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Berdasarkan Gambar 3.11 maka variabel keputusan berada pada Cell B13 sampai B16 yang digunakan untuk menghitung pesanan Produk 1 (cell B13) sampai produk 4 (cell B16) menggunakan rumus $EOQ = q = \sqrt{\frac{2kd}{h}}$.

Perhitungan biaya pesanan setiap bulan untuk Produk 1 (Cell E13) dirumuskan sebagai $z_1 = h_1 \frac{q_1}{2} + k_1 \frac{d_1}{q_1}$, rumus yang sama juga digunakan untuk menghitung biaya pesanan setiap bulan untuk Produk 2 (Cell E14), Produk 3 (Cell E15) dan Produk 4 (Cell E16).

Fungsi tujuan yang meminimalkan total biaya pesanan berada pada (Cell E17), yaitu jumlah keseluruhan dari Cell E13 sampai E16, yang dapat dirumuskan $z = \sum_{i=1}^4 z_i = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{1}{2} h_i q_i + k_i \frac{d_i}{q_i} \right)$.

Kendala ruang penyimpanan untuk masing-masing produk berada pada Cell G13 (keterbatasan untuk menyimpan pesanan setiap bulan) sampai G16. Adapun untuk menghitung total ruang penyimpanan setiap bulan dirumuskan sebagai $\sum_{i=1}^4 \frac{v_i q_i}{2} \leq 50000$ yaitu jumlahan dari perkalian antara kapasitas ruang penyimpanan yang diperlukan setiap unit produk i (cell G13:G16) dengan banyaknya pesanan (cell B13 sampai dengan B16).

Berdasarkan Gambar 3.11 di depan, maka kebijakan pemesanan yang terbaik untuk EOQ Produk 1 = 28.28427, untuk biaya Produk 4 = $492 \times \text{Rp } 10.000,00 = \text{Rp } 4.920.000,00$, penggunaan ruang untuk Produk 4 = 11416.405 m^3 , jumlah pesanan setiap bulan untuk Produk 4 = 24.03454 dengan total biaya untuk banyaknya pesanan setiap bulan Rp 31.420.000,00 dan total penggunaan ruang 50.000 m^3 memberikan batas kapasitas penyimpanan yang efisien.

Masalah Kebijakan Persediaan 2

Masalah kebijakan persediaan 2 adalah pengembangan model inventory dalam masalah kebijakan persediaan 1, yaitu bagian gudang memiliki anggaran terbatas untuk seluruh biaya simpan dan biaya pesan. Diketahui bahwa kapasitas ruangan terbatas 5000 m^3 dan seluruh anggaran dibatasi sebesar Rp 30.000,00. Bagaimana seharusnya kebijakan pemesanan yang terbaik untuk penggunaan ruang penyimpanan dan banyaknya pesanan setiap bulan untuk memperkecil total biaya pemesanan dan biaya penyimpanan? Di bawah ini adalah tabel dari kebijakan persediaan 2:

	Biaya Penyimpanan	Ruang Penyimpanan per Unit	Permintaan per Bulan	Biaya Pesanan per Order
Produk 1	25	440	200	50
Produk 2	20	850	325	50
Produk 3	30	1260	400	50
Produk 4	15	950	150	50

Jika diketahui EOQ Produk 1 = 28.28427, Produk 2 = 40.31129, Produk 3 = 36.51484 dan Produk 4 = 31.62278.

Perumusan Kendala Tambahan

Total biaya produk $\leq$ terbatasnya anggaran/persediaan uang, di mana total biaya produk setara dengan banyaknya pesanan setiap bulan untuk setiap produk dikalikan dengan biaya produksi per unit.

Catatan:

Jika kapasitas gudang penyimpanan tidak terbatas maka rumusan EOQ dapat diterapkan.



Pemrograman Nonlinier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusannya adalah q_i yang menyatakan kuantitas pemesanan untuk setiap produk i per bulan di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Produk 1, 2, 3, dan 4.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya (biaya pembelian, pemesanan, dan penyimpanan) per bulan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

Minimalkan total biaya:

$$z = \sum_{i=1}^4 (c_i q_i + \frac{1}{2} h_i q_i + k_i \frac{d_i}{q_i})$$

Kendala

- Kapasitas gudang yang diperlukan untuk seluruh produk yang disimpan tidak boleh melebihi kapasitas gudang yang ada, di mana v_i adalah kapasitas ruang penyimpanan per unit produk i , yang dirumuskan:

$$\sum_{i=1}^4 \frac{v_i q_i}{2} \leq 50000$$

- Total biaya (pemesanan, pembelian dan penyimpanan) tidak boleh melebihi total anggaran yang tersedia, di mana c_i , h_i , dan k_i masing-masing menyatakan biaya pembelian per unit, penyimpanan per unit per bulan dan pemesanan per sekali pesan, dan d_i jumlah permintaan produk i .

$$\sum_{i=1}^4 (c_i q_i + \frac{1}{2} h_i q_i + k_i \frac{d_i}{q_i}) \leq 30000$$

- Batas variabel untuk jumlah setiap produk i yang dipesan bernilai bulat dan positif.

$$q_i \geq 0, \forall q_i \in I$$

Model ini disebut model nonlinier karena fungsi tujuan dan kendala (2) merupakan fungsi yang tidak linier terhadap q_i

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
5		biaya	Kapasitas		Biaya				
6		penyimpanan	ruang	Permintaan	pesanan per	Biaya per			
7	produk 1	25	penyimpanan	per bulan	order	unit			
8	produk 2	20	per unit						
9	produk 3	30							
10	produk 4	15							
11	Kapasitas penyimpanan	50000	Anggaran	30000					
13	Banyaknya pesanan per bulan								
14			EOQ		Biaya penyimpanan	Ruangan			
15	produk 1	0	28.28427125		dan pesanan	yang digunakan(m3)			
16	produk 2	0	40.31128874						
17	produk 3	0	36.51483717						
18	produk 4	0	31.6227766						
19	Biaya produk	0		Total	0	0			
20									

Gambar 3.12 Tampilan awal dalam Excel

Berdasarkan Gambar 3.12, dibuat fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dalam bentuk tabel di bawah ini:

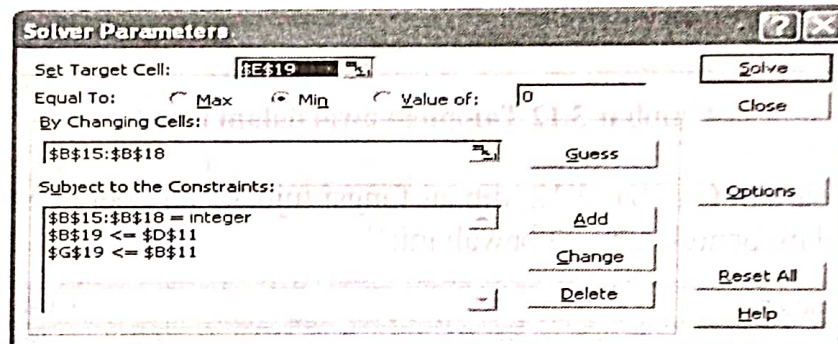
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pesanan setiap produk untuk setiap bulan	=(B15:B18)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pemesanan dan penyimpanan setiap bulan untuk Produk 1 sampai Produk 4, di mana:	E19	=SUM (E15:E18)
Biaya pesanan setiap bulan Produk 1	E15	=B15*B6/2+E6*D6/B6
Biaya pesanan setiap bulan Produk 2	E16	=B16*B7/2+E7*D7/B7
Biaya pesanan setiap bulan Produk 3	E17	=B17*B8/2+E8*D8/B8
Biaya pesanan setiap bulan Produk 4	E18	=B18*B9/2+E9*D9/B9

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Total penggunaan ruang Produk 1 sampai Produk 4, di mana:	G19	=SUM(G15:G18)	≤	B11
Penggunaan ruang Produk 1	G15	=C6*B15/2		
Penggunaan ruang Produk 2	G16	=C7*B16/2		
Penggunaan ruang Produk 3	G17	=C8*B17/2		
Penggunaan ruang Produk 4	G18	=C9*B18/2		
Total biaya produksi untuk Produk 1 sampai 4	B19	=SUMPRODUCT (G6:G9,B15:B18)	≤	D11

Setelah menuliskan rumus pada tabel di depan, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.13 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pesanan setiap bulan untuk Produk 1 sampai 4 (cell E19).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang jumlah banyaknya pesanan setiap produk untuk setiap bulan (cell B15:B18)
- Subject to the Constraints adalah kendala total penggunaan ruang (cell G19) tidak boleh melebihi dari tersedianya ruangan (cell B11) dan total biaya produksi untuk Produk 1 sampai 4 (cell B19) tidak boleh melebihi dari terbatasnya persediaan uang (cell D11).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk variabel keputusan, kendala, fungsi tujuan dan tidak linier dalam solver, maka tampil gambar di bawah ini:



Gambar 3.13 Solver Parameters dalam Excel

- Setelah itu, langkah-langkah memperoleh penyelesaian sama dengan di atas (Gambar 3.3).

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
		biaya	ruang		biaya			
		penyimpanan	penyimpanan	permintaan	pesanan per	harga per		
		nan	nan per	perbulan	order	unit		
5								
6	Produk 1	25	440	200	50.00	200		
7	Produk 2	20	850	325	50.00	300		
8	Produk 3	30	1260	400	50.00	275		
9	Produk 4	15	950	150	50.00	400		
10								
11	Kapasitas penyimpanan	50000	anggaran	30.000				
12								
13	banyaknya pesanan setiap bulan				biaya simpan	penggunaan		
14			EOQ		dan pesanan	ruang(m3)		
15	Produk1	25	28.28427		712.5	5500		
16	Produk2	25	40.31129		900	10625		
17	Produk3	25	36.51484		1175	15750		
18	Produk4	25	31.62278		487.5	11875		
19	Biaya produk	29.375		Total	3275	43750		

Gambar 3.14 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Berdasarkan Gambar 3.14, maka kebijakan pemesanan yang terbaik adalah EOQ untuk Produk 1 = 28.28427125, dan untuk Produk 4 berbiaya

$525 \times \text{Rp } 10.000,00 = \text{Rp } 5.250.000,00$. Selanjutnya, penggunaan ruang untuk Produk 1 = 5.060 m^3 , jumlah pesanan setiap bulan untuk Produk 4 = 20 dengan total biaya untuk banyaknya pesanan setiap bulan Rp 32.060.000,00 dan total penggunaan ruang 46210 m^3 .

Masalah Pemilihan Media Periklanan

Sebuah perusahaan ingin memilih media iklan untuk mempromosikan produknya. Perusahaan mengharapkan iklannya dapat menjangkau konsumen sebanyak 1,5 juta orang. Perusahaan memiliki pilihan media iklan seperti TV, radio, website, dan koran. Setiap media membebani biaya berbeda untuk setiap iklan per tampilan. Biaya iklan di TV tergantung pada jam tayangnya, program acara, dan durasi iklannya. Biaya iklan pada koran tergantung pada jenis halaman yang memajangnya, dan luas space yang diperlukan. Adapun biaya iklan di website tergantung dari banyak pengunjung ke website tersebut. Setiap media akan menjangkau dan memengaruhi konsumen dengan jumlah yang berbeda. Berapa jumlah konsumen yang dapat dijangkau oleh masing-masing media dipengaruhi oleh total biaya periklanan yang minimal, jumlah tampil dan jumlah audiensi. Di bawah ini adalah tabel masalah pemilihan media untuk periklanan:

	TV	Radio	Website	Koran
Jumlah audiensi/tampil	50000	25000	20000	15000
Biaya/tampil	500	200	250	125
Frekuensi Maksimal Tampil	20	15	10	15

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Misalkan variabel keputusannya adalah x_{ij} yang menyatakan jumlah uang i yang dikeluarkan/dihabiskan dalam setiap tayangan iklan j di mana $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili TV, radio, website dan koran, dan $i = 1$ mewakili jumlah penanaman uang.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah meminimalkan total biaya pemilihan media untuk periklanan, yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$1.500.000 \geq X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}$$

Kendala

Kendala untuk jumlah audiensi dalam pemilihan media untuk periklanan TV, radio, website dan koran dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = \frac{c_i}{b_i} x d_i, \quad i = \text{TV, radio, website dan koran}$$

di mana c_i , b_i , d_i masing-masing menyatakan biaya yang dikeluarkan, biaya per tampil dan jumlah audiensi per tampil.

Kendala untuk jumlah tampilan dalam pemilihan media untuk periklanan TV, radio, website dan koran dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = \frac{c_i}{b_i}, \quad i = \text{TV, radio, website dan koran}$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F
6	Media:					
7		TV	Radio	Website	Koran	
8	Jumlah Audience/tampil	50,000	25,000	20,000	15,000	
9	Biaya/tampil	500	200	250	125	
10	maksimal frekwensi tampil	20	15	10	15	
12	Pengeluaran Biaya					
13		TV	Radio	Website	Koran	Total
14	Biaya					0
15	Jumlah tampil	0	0	0	0	
16	Jumlah Audience	0	0	0	0	0

Gambar 3.15 Tampilan awal dalam Excel

Berdasarkan Gambar 3.15, kendala, fungsi tujuan dan variabel keputusan dibuat dalam bentuk tabel di bawah ini:

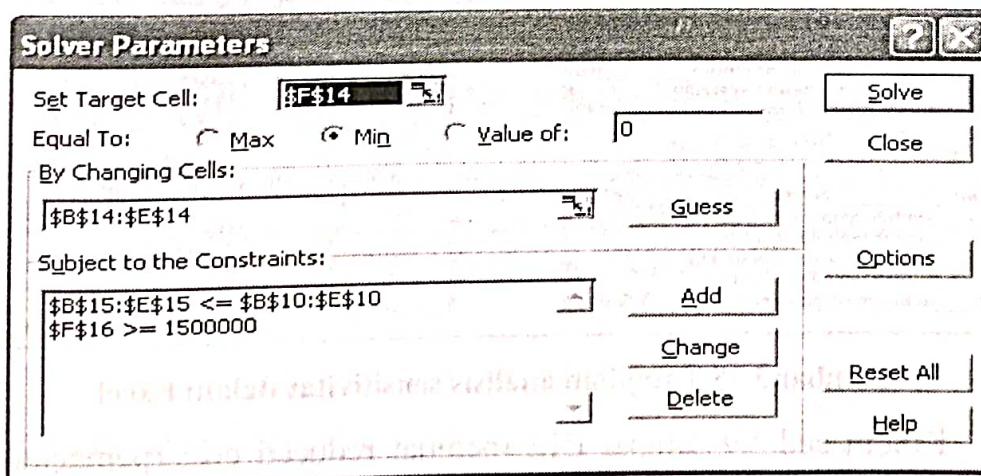
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah uang yang dikeluarkan dalam setiap tayangan iklan	=(B14:E14)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pemilihan media untuk periklanan, di mana:	F14	=SUM(B14:E14)
Biaya pengeluaran untuk TV	B14	=B15*B9
Biaya pengeluaran untuk radio	C14	=C15*C9
Biaya pengeluaran untuk website	D14	=D15*D9
Biaya pengeluaran untuk koran	E14	=E15*E9

Cell	Nama Kendala	Formula	Syarat	Batas
B15	jumlah tampilan di TV	=B14/B9	$\leq$	B10
C15	jumlah tampilan di radio	=C14/C9	$\leq$	C10
D15	jumlah tampilan di website	=D14/D9	$\leq$	D10
E15	jumlah tampilan di koran	=E14/E9	$\leq$	E10
F16	Total jumlah audiensi Di mana:	=SUM(B16:E16)		
B16	jumlah audiensi TV	=(B14/B9)*B8	$\geq$	1500000
C16	jumlah audiensi radio	=(C14/C9)*C8	$\geq$	1500000
D16	jumlah audiensi website	=(D14/D9)*D8	$\geq$	1500000
E16	jumlah audiensi koran	=(E14/E9)*E8	$\geq$	1500000

Setelah menuliskan rumus pada tabel di atas, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.16 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pemilihan media untuk periklanan (cell F14).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan yang menyatakan jumlah uang ke-i yang dikeluarkan/dihabiskan dalam setiap tayangan iklan j di mana $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili TV, radio, website dan koran, dan $i = 1$ mewakili jumlah penanaman uang (cell B14:E14).
- Subject to the Constraints adalah kendala jumlah tampilan (cell B15:E15) $\leq$ maksimal frekuensi tampil masing-masing media (cell B10:E10) dan total audiensi (cell F16) ≥ 1500000 untuk TV, radio, website dan koran.
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan, kendala dan linier dalam solver, maka tampil gambar di bawah ini:



Gambar 3.16 Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya untuk memperoleh penyelesaian sama dengan di atas (Gambar 3.3).

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F
6	Media:					
7		TV	Radio	Website	Koran	
8	Jumlah Audience/tampil	50,000	25,000	20,000	15,000	
9	Biaya/tampil	500	200	250	125	
10	maksimal frekwensi tampil	20	15	10	15	
12	Pengeluaran Biaya					
13		TV	Radio	Website	Koran	Total
14	Biaya	9.000	3.000	0	1.875	13.875
15	Jumlah tampil	18	15	0	15	
16	Jumlah Audience	900.000	375.000	0	225.000	1.500.000

Gambar 3.17 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Dari gambar 3.17 diketahui bahwa jumlah konsumen yang dapat dijangkau oleh masing-masing media memiliki perincian: pengeluaran biaya untuk TV = Rp 9.000,00, radio = Rp 3.000,00 dan koran = Rp 1.875,00 dengan total pengeluaran biaya = Rp 13.875,00 dan jumlah tampil untuk TV 18 kali, Radio 15 kali, dan koran 15 kali dengan total jumlah audiensi = 1.500.000 orang, di mana jumlah audiensi untuk TV = 900.000 orang, radio = 375.000 orang, website = 0 dan koran = 225.000 orang.

Analisis Sensitivitas

Gambar berikut adalah output solver untuk analisis sensitivitas di bawah ini:

	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ANALISA SENSITIVITAS							
2								
3								
6	Variabel keputusan							
7								
8	Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
9	B14	Biaya pengeluaran TV	9000	0	1	0.249999999	0.166666667	
10	C14	Biaya pengeluaran Radio	3000	0	1	0.25	1E+30	
11	D14	Biaya pengeluaran Website	0	0.2	1	1E+30	0.199999999	
12	E14	Biaya pengeluaran koran	1875	0	1	0.2	1E+30	
13								
14	kendala							
15								
16	Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease	
17	B15	jumlah tampilan di TV	18	0	20	1E+30	2	
18	C15	jumlah tampilan di radio	15	-50	15	36	4	
19	D15	jumlah tampilan di website	0	0	10	1E+30	10	
20	E15	jumlah tampilan di koran	15	-25	15	60	6.666666667	
21	F16	total jumlah audience	1.500.000	0	1500000	100000	900000	
22								

Gambar 3.18 Tampilan analisis sensitivitas dalam Excel

- Kolom cell E9 sampai E12 memuat reduced cost (pembengkakan total biaya minimal) pada biaya pengeluaran untuk website sebesar

0.2 yang artinya ada tambahan pembengkakan sebesar 0.2 karena perusahaan terpaksa mengeluarkan biaya sebesar $Rp. x$ untuk website. Sebelumnya dalam solusi optimalnya, biaya pengeluaran untuk website adalah sebesar 0 sehingga total pengeluaran biaya untuk website akan membengkak sebanyak $0.2x$ yaitu menjadi $Rp. 13.875,00 + 0.2x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pengeluaran biaya $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.

- Kolom final value D17 sampai D21 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E17 sampai E21 memuat shadow price pada kolom E18. Jumlah tampilan iklan di radio berkurang sebesar 50 kali tayangan. Artinya, bila batas untuk jumlah tampilan di radio diturunkan sebesar x kali tayangan maka solusi optimalnya akan berkurang sebesar $50x$, yaitu menjadi $Rp. 13.875,00 - 50x$. Jumlah tampilan iklan di koran juga berkurang sebesar $Rp. 25,00$ yang berarti bila batas biaya pengeluaran di koran diturunkan sebesar $Rp. x$ maka solusi optimalnya akan menurun sebesar $25x$ menjadi $Rp. 13.875,00 - 25x$. Di sini, pengurangan jumlah tampilan iklan di radio dibatasi sampai 4 kali tayangan dari batas jumlah tampilan iklan di radio yang sebesar 15 kali tayangan. Adapun penambahan dibatasi sampai 36 kali tayangan dari batas jumlah tampilan 15 kali tayangan, yaitu maksimal 51 kali tayangan. Demikian juga untuk jumlah tampilan di TV, website dan koran.

Masalah Pembelian dalam Model Transportasi

Sebuah perusahaan roti memiliki 4 pabrik yang berbeda. Dalam produksinya, keempat pabrik tersebut membeli gula dari 5 toko yang berbeda. Tabel di bawah berisi data harga gula dan biaya transportasi oleh setiap toko ke setiap pabrik. Ke mana seharusnya setiap pabrik membeli gula ke setiap toko dan berapa banyak yang dibeli untuk memenuhi permintaan dengan biaya pembelian paling minimal? Di bawah ini adalah tabel dari masalah pembelian dalam model transportasi:

Biaya kirim (Rp10.000-an/ton)	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Toko 5	Permintaan (ton)
Pabrik 1	8	4	5	4	3	420
Pabrik 2	7	6	3	2	4	360
Pabrik 3	7	3	7	5	2	400
Pabrik 4	8	2	5	6	7	375
Harga gula (Rp/ton)	40000	49000	47000	45000	44000	
Persediaan (ton)	350	250	200	300	500	

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Misalkan variabel keputusan x_{ij} menyatakan jumlah gula yang dibeli oleh setiap toko i ke pabrik j di mana $i = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, 2, 3, 4 dan 5 dan $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Pabrik 1, 2, 3, 4.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan seluruh biaya pengiriman dan biaya pembelian yang dirumuskan sebagai:

$$(8X_{11} + 7X_{21} + 7X_{31} + 8X_{41} + 4X_{12} + 6X_{22} + 3X_{32} + 2X_{42} + 5X_{13} + 3X_{23} + 7X_{33} + 5X_{43} + 4X_{14} + 2X_{24} + 5X_{34} + 6X_{44} + 3X_{15} + 4X_{25} + 2X_{35} + 7X_{45}) + 40(X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41}) + 49(X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42}) + 47(X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43}) + 45(X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44}) + 44(X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45})$$

Kendala

Adapun kendala-kendalanya adalah:

- Total jumlah pembelian gula ke setiap pabrik oleh setiap toko boleh melebihi permintaan gula dari setiap pabrik, yaitu:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} \geq 420 \text{ permintaan gula Pabrik 1}$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} \geq 360 \text{ permintaan gula Pabrik 2}$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} \geq 400 \text{ permintaan gula Pabrik 3}$$

$$X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45} \geq 375 \text{ permintaan gula Pabrik 4}$$

- Total jumlah gula yang dijual oleh setiap toko tidak boleh melebihi persediaan gula setiap pabrik, yaitu:

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} \leq 350 \text{ persediaan gula Toko 1}$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} \leq 250 \text{ persediaan gula Toko 2}$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} \leq 200 \text{ persediaan gula Toko 3}$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} \leq 300 \text{ persediaan gula Toko 4}$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} \leq 500 \text{ persediaan gula Toko 5}$$

di mana $X_{ij} \geq 0$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
6	(Rp. 10.000)	toko1	toko2	toko3	toko4	toko5			
7	Harga gula (per ton)	40	49	47	45	44			
8									
9	Biaya pengiriman gula dari toko ke pabrik(per ton)								
10		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5			
11	pabrik1	8	4	5	4	3			
12	pabrik2	7	6	3	2	4			
13	pabrik3	7	3	7	5	2			
14	pabrik4	8	2	5	6	7			
16	Banyaknya gula yang dibeli (tons) Rp. 10.000								
17		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5	Total Pembelian	Permintaan	
18	pabrik1	0	0	0	0	0	0	420	
19	pabrik2	0	0	0	0	0	0	360	
20	pabrik3	0	0	0	0	0	0	400	
21	pabrik4	0	0	0	0	0	0	375	
22	Total Penjualan	0	0	0	0	0			
23	Persediaan	350	250	200	300	500			
25	Harga gula	0	0	0	0	0	0		
26	Biaya pengiriman	0	0	0	0	0	0		
27						Total biaya	0		

Gambar 3.19 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 3.19, fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dibuat dalam bentuk tabel di bawah ini:

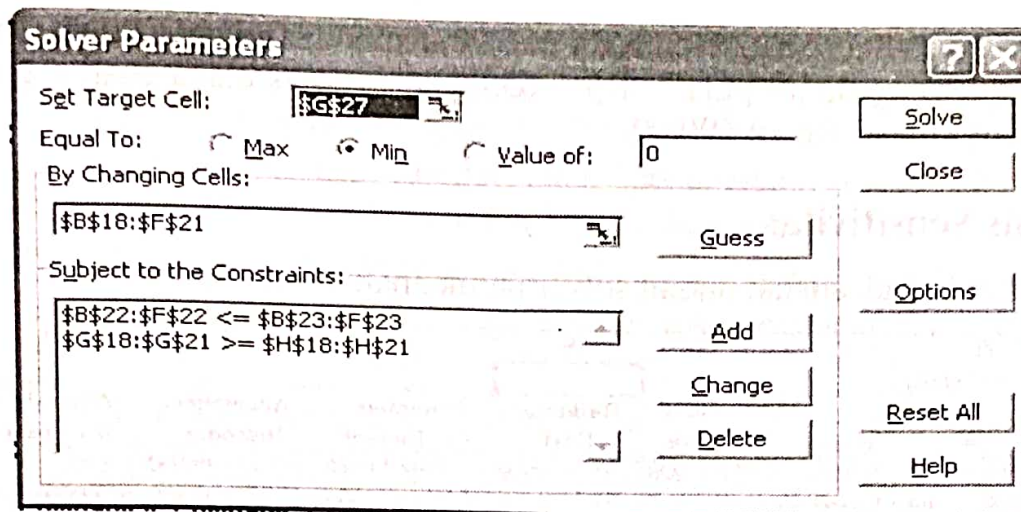
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah gula yang dibeli dari setiap toko ke setiap pabrik	=(B18:F21)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Total harga gula, di mana:	G25	=SUM(B25:F25)
Harga gula di Toko 1	B25	=SUM(B18:B21)*B7
Harga gula di Toko 2	C25	=SUM(C18:C21)*C7
Harga gula di Toko 3	D25	=SUM(D18:D21)*D7
Harga gula di Toko 4	E25	=SUM(E18:E21)*E7
Harga gula di Toko 5	F25	=SUM(F18:F21)*F7
Total biaya pengiriman, di mana:	G26	=SUM(B26:F26)
Biaya pengiriman gula dari Toko 1	B26	=SUMPRODUCT(B11:B14,B18:B21)
Biaya pengiriman gula dari Toko 2	C26	=SUMPRODUCT(C11:C14,C18:C21)
Biaya pengiriman gula dari Toko 3	D26	=SUMPRODUCT(D11:D14,D18:D21)
Biaya pengiriman gula dari Toko 4	E26	=SUMPRODUCT(E11:E14,E18:E21)
Biaya pengiriman gula dari Toko 5	F26	=SUMPRODUCT(F11:F14,F18:F21)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Pembelian gula di Pabrik 1	G18	=SUM(B18:F18)	≥	H18
Pembelian gula di Pabrik 2	G19	=SUM(B19:F19)	≥	H19
Pembelian gula di Pabrik 3	G20	=SUM(B20:F20)	≥	H20
Pembelian gula di Pabrik 4	G21	=SUM(B21:F21)	≥	H21
Biaya pengiriman gula dari Toko 1	B22	=SUM(B18:B21)	≤	B23
Biaya pengiriman gula dari Toko 2	C22	=SUM(C18:C21)	≤	C23
Biaya pengiriman gula dari Toko 3	D22	=SUM(D18:D21)	≤	D23
Biaya pengiriman gula dari Toko 4	E22	=SUM(E18:E21)	≤	E23
Biaya pengiriman gula dari Toko 5	F22	=SUM(F18:F21)	≤	F23

Setelah menuliskan rumus pada tabel di atas, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.20 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya (cell G27) yaitu total harga gula (cell G25) ditambah total biaya pengiriman gula (cell G26).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan yang menyatakan jumlah gula yang dibeli dari setiap toko ke setiap pabrik (cell B18:F21).
- Subject to the Constraints adalah kendala-kendala total jumlah gula yang dibeli oleh masing-masing pabrik (cell G18:G21) $\geq$ permintaan gula di masing-masing pabrik (cell H18:H21) dan total jumlah gula yang dijual (cell B22:F22) $\leq$ persediaan gula (cell B23:F23).
- Asumsi yang digunakan adalah nonnegatif untuk nilai variabel keputusan dan linier untuk fungsi tujuan fungsi kendala sehingga akan tampil Solver Parameters berikut:



Gambar 3.20 Solver Parameters dalam Excel

Langkah memperoleh penyelesaian selanjutnya sama dengan di atas (Gambar 3.3).

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
4									
6	(Rp. 10.000)	toko1	toko2	toko3	toko4	toko5			
7	Harga gula (per ton)	40	49	47	45	44			
9	Biaya pengiriman gula dari toko ke pabrik(per ton)								
10		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5			
11	pabrik1	8	4	5	4	3			
12	pabrik2	7	6	3	2	4			
13	pabrik3	7	3	7	5	2			
14	pabrik4	8	2	5	6	7			
16	Banyaknya gula yang dibeli (tons) Rp. 10.000								
17		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5	Total Pembelian	Permintaan	
18	pabrik1	225	0	95	0	100	420	420	
19	pabrik2	0	0	60	300	0	360	360	
20	pabrik3	0	0	0	0	400	400	400	
21	pabrik4	125	250	0	0	0	375	375	
22	Total Penjualan	350	250	155	300	500			
23	Persediaan	350	250	200	300	500			
25	Harga gula	14000	12250	7285	13500	22000	69035		
26	Biaya pengiriman	2800	500	655	600	1100	5655		
27						Total biaya	74690		

Gambar 3.21 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Dari gambar 3.21 dapat diketahui bahwa banyaknya gula yang dibeli dari Toko 1 oleh Pabrik 1 dan 4 masing-masing sebesar 225 ton dan 125 ton, dari Toko 2 oleh Pabrik 4 sebesar 250 ton, dari Toko 3 oleh Pabrik1 dan 2 masing-masing sebesar 95 ton dan 60 ton, dari Toko 4 oleh Pabrik 2 sebesar 300 ton, dan dari Toko 5 oleh Pabrik 1 dan 3 masing-masing sebesar 100 ton dan 400 ton. Harga gula Toko 1, 2, 3, 4, 5 masing-masing sebesar Rp 14.000,00, Rp 12.250,00, Rp 7.285,00, Rp 13.500,00, Rp 22.000,00 dengan total Rp 69.035,00 dan biaya pengiriman Toko 1, 2, 3, 4, 5 masing-masing

sebesar Rp 2.800,00, Rp 500,00, Rp 655,00, Rp 600,00, Rp 1.100,00 dengan total biaya pengiriman gula = Rp 5.655,00 dan total biaya (harga gula + biaya pengiriman) Rp 74.690,00.

Analisis Sensitivitas

Gambar di bawah adalah output solver untuk analisis sensitivitas:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Variabel keputusan							
2								
3		Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
4	B18	toko 1 pabrik 1		225	0	48	0	0
5	C18	toko 1 pabrik 2		0	2	53	1E+30	2.000000002
6	D18	toko 1 pabrik 3		95	0	52	0	1
7	E18	toko 1 pabrik 4		0	0	49	1E+30	0
8	F18	toko 1 pabrik 5		100	0	47	2.999999995	0
9	B19	toko 2 pabrik 1		0	1	47.000000001	1E+30	1.000000006
10	C19	toko 2 pabrik 2		0	6	54.999999999	1E+30	5.999999993
11	D19	toko 2 pabrik 3		60	0	50	1.000000006	0
12	E19	toko 2 pabrik 4		300	0	47	0	1E+30
13	F19	toko 2 pabrik 5		0	3	48	1E+30	2.999999995
14	B20	toko 3 pabrik 1		0	0	47.000000001	1E+30	0
15	C20	toko 3 pabrik 2		0	2	52	1E+30	1.999999998
16	D20	toko 3 pabrik 3		0	3	53.999999999	1E+30	2.999999991
17	E20	toko 3 pabrik 4		0	2	50	1E+30	2.000000005
18	F20	toko 3 pabrik 5		400	0	46	0	51
19	B21	toko 4 pabrik 1		125	0	48	0	1
20	C21	toko 4 pabrik 2		250	0	51	1	1E+30
21	D21	toko 4 pabrik 3		0	0	52	1E+30	0
22	E21	toko 4 pabrik 4		0	2	50.999999999	1E+30	1.999999994
23	F21	toko 4 pabrik 5		0	4	50.999999999	1E+30	3.999999992
24	Kendala							
25								
26		Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease
27	G18	toko 1 Total		420	52	420	45	95
28	G19	toko 2 Total		360	50	360	45	60
29	G20	toko 3 Total		400	51	400	45	95
30	G21	toko 4 Total		375	52	375	45	95
31	B22	Total pabrik 1		350	-4	350	95	45
32	C22	Total pabrik 2		250	-1	250	95	45
33	D22	Total pabrik 3		155	0	200	1E+30	45
34	E22	Total pabrik 4		300	-3	300	60	45
35	F22	Total pabrik 5		500	-5	500	95	45

Gambar 3.22 Tampilan analisis sensitivitas dalam Excel

- Kolom cell E4 sampai E23 memuat reduced cost (pembengkakan total biaya pengiriman dan harga gula minimal). Misalkan jumlah gula yang dibeli (ton) dari Toko 1 oleh Pabrik 2 adalah sebesar 2 ton. Artinya ada tambahan jumlah gula yang dibeli sebesar 2 ton karena perusahaan terpaksa mengeluarkan biaya (pengiriman dan harga gula) sebesar Rp x untuk jumlah gula yang dibeli (sebelumnya dalam

solusi optimalnya jumlah gula yang dibeli dari toko 1 oleh Pabrik 2 sebesar 0) sehingga total jumlah gula yang dibeli akan membengkak sebanyak $2x$ yaitu menjadi Rp 74.690,00+ $2x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pengeluaran biaya $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.

- Kolom final value D27 sampai D35 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E27 sampai E35 memuat shadow price. Pada total jumlah pembelian gula (ton) dari Toko 1 terjadi pertambahan sebesar 52 ton. Artinya, bila batas untuk total jumlah pembelian gula dinaikkan sebesar x ton, maka solusi optimalnya akan bertambah sebesar $52x$, yaitu menjadi Rp 74.690,00+ $52x$. Total jumlah pembelian gula Pabrik 1 mengalami pengurangan sebesar 4 ton. Artinya, bila batas untuk total jumlah pembelian gula Pabrik 1 diturunkan sebesar x maka solusi optimalnya akan berkurang sebesar $4x$, menjadi Rp 74.690,00- $4x$ di mana pengurangan total jumlah gula yang dibeli oleh Toko 1 dibatasi sampai 95 ton dari batas total jumlah gula yang dibeli oleh Toko 1 sebesar 420 ton. Adapun penambahan dibatasi sampai 45 ton dari batas total jumlah gula yang dibeli oleh Toko 1 sebesar 420 ton, menjadi maksimal 465 ton. Demikian juga untuk total jumlah gula yang dibeli ke Pabrik 2, 3, 4 dan oleh Toko 2, 3, 4, 5.

-oo0oo-

BAB 4

PROSES PRODUKSI

Dalam menyelesaikan masalah pada proses produksi, pemrograman linier dan nonlinier seringkali digunakan. Ada banyak cara berbeda dalam Solver yang bisa digunakan untuk menaikkan produktivitas, menurunkan biaya, meminimumkan pembuangan, dan masalah produksi yang akan dikemukakan melalui 7 tipe model masalah yang berbeda.

Masalah Bauran Produk

Sebuah perusahaan elektronik memproduksi TV, stereo dan speaker. Ketiga produk ini membutuhkan beberapa komponen seperti *Chasis*, *picture tube*, *speaker cone*, *power supply* dan *electronics*. Berapakah jumlah produksi bagi masing-masing produk untuk mendapatkan total laba yang maksimal? Di bawah ini adalah tabel dari masalah bauran produk:

Nama Komponen	Persediaan (unit)	Kebutuhan Unit Produk		
		TV	Stereo	Speaker
Chasis	450	1	1	0
Picture Tube	250	1	0	0
Speaker Cone	800	2	2	1
Power Supply	450	1	1	0
Electronics	600	2	1	1
Laba per Unit (Rp)		75	50	35

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Dalam pemrograman linier, keputusan yang akan dibuat dinyatakan sebagai variabel-variabel keputusan, tujuan yang ingin dicapai dinyatakan sebagai fungsi tujuan atau fungsi objektif dan kendala-kendala yang ada dirumuskan sebagai fungsi-fungsi kendala. Semua fungsi tujuan dan fungsi kendala adalah fungsi linier.

Variabel Keputusan

Jika variabel keputusan dinotasikan dengan x_i , maka X_i adalah jumlah produk i yang akan diproduksi (dalam unit) dengan $i = 1, 2, 3$. Dalam hal ini, $i = 1$ mewakili produk TV, $i = 2$ mewakili produk Stereo, dan $i = 3$ mewakili produk Speaker.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah memaksimumkan total keuntungan, yang dirumuskan dengan: (mengalikan jumlah produksi dengan laba per unit produk)

$$75x_1 + 50x_2 + 35x_3$$

Kendala

Fungsi-fungsi kendala dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Kendala kebutuhan dan ketersediaan komponen *Chasis*:

$$x_1 + x_2 \leq 450$$

- Kendala kebutuhan dan ketersediaan komponen *Picture Tube*:

$$x_1 \leq 250$$

- Kendala kebutuhan dan ketersediaan komponen *Speaker Cone*:

$$2x_1 + 2x_2 + x_3 \leq 800$$

- Kendala kebutuhan dan ketersediaan komponen *Power Supply*:

$$x_1 + x_2 \leq 450$$

- Kendala kebutuhan dan ketersediaan komponen *Electronics*:

$$2x_1 + x_2 + x_3 \leq 600$$

- Kendala batas produksi minimum masing-masing komponen:

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F
6	Nama Produk			TV set	Stereo	Speaker
7	Jumlah produksi			0	0	0
8	Komponen	Fasilitas digunakan				
9	Chassis	450	0	1	1	0
10	Picture Tube	250	0	1	0	0
11	Speaker Cone	800	0	2	2	1
12	Power Supply	450	0	1	1	0
13	Electronics	600	0	2	1	1
14	keuntungan					
15	Laba per Unit (Rp)			0	0	0
16	Total keuntungan			0		

Gambar 4.1 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 4.1 diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah produk yang akan diproduksi	= (D7:F7)

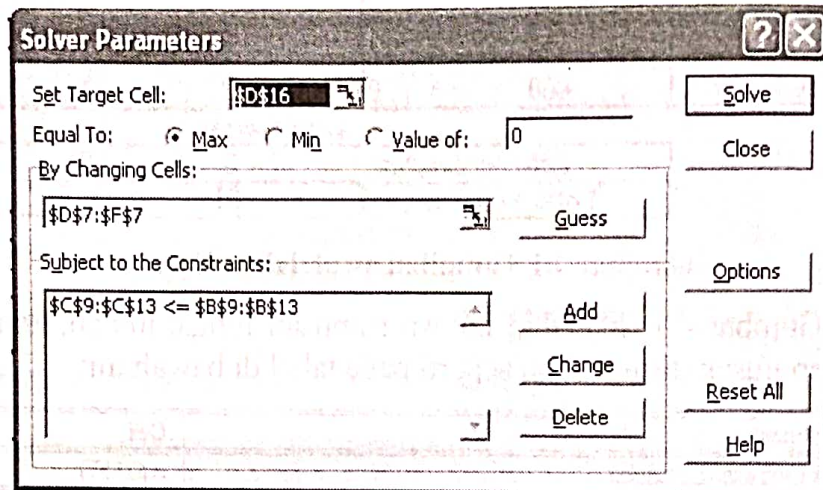
Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Memaksimalkan total keuntungan di mana:	D16	=SUM(D15:F15)
Laba per unit produk TV	D15	=75*D7
Laba per unit produk Stereo	E15	=50*E7
Laba per unit produk Speaker	F15	=35*F7

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Komponen Chasis digunakan	C9	=SUM(D9:F9)	≤	B9
Komponen picture tube digunakan	C10	=SUM(D10:F10)	≤	B10
Komponen Speaker cone digunakan	C11	=SUM(D11:F11)	≤	B11
Komponen power supply digunakan	C12	=SUM(D12:F12)	≤	B12
Komponen electronics digunakan	C13	=SUM(D13:F13)	≤	B13

Setelah menuliskan rumus implementasi pada tabel di atas, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 3.2 dengan keterangan sebagai berikut:

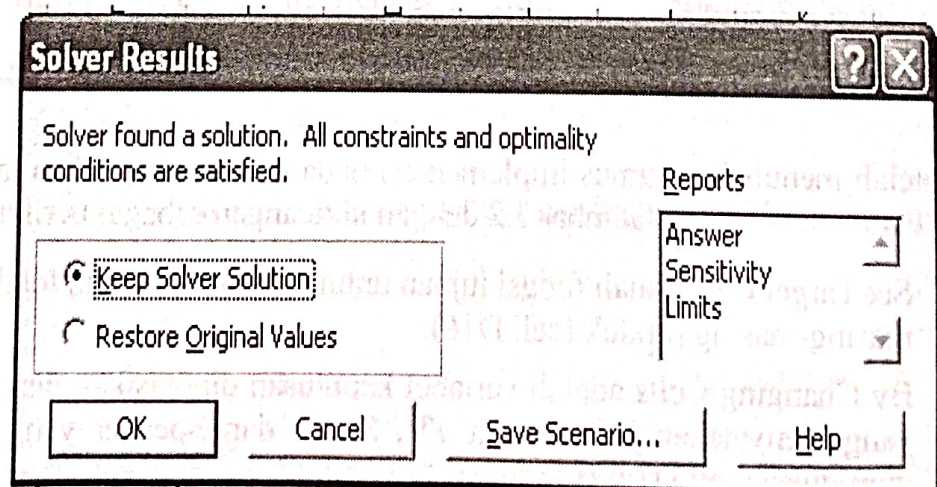
- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk memaksimalkan total laba masing-masing produk (cell D16).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan dinotasikan dengan x_i yang menyatakan jumlah unit TV, Stereo dan Speaker yang akan diproduksi (cell D7:F7).

- Subject to the Constraints adalah kendala jumlah komponen digunakan (cell C9:C13) $\leq$ jumlah persediaan komponen (cell B9:B13) dan jumlah produksi tidak boleh negatif (bukan negatif).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam Solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala, maka akan muncul Solver Parameters berikut:



Gambar 4.2 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah semua fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dimasukkan ke dalam Solver Parameters pada Gambar 4.2, tekan Solve sehingga muncul Solver Results. Isilah kotak Keep Solver Solution. Pilih **answer** kemudian tekan OK untuk menemukan jawaban tentang masalah bauran produk yang meliputi fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan. Perhatikan Gambar 4.3 di bawah ini:



Gambar 4.3 Solver Results dalam Excel

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F
6	Nama Produk			TV set	Stereo	Speaker
7	Jumlah produksi->			200	200	0
8	kompunen	Persediaan digunakan				
9	Chassis	450	400	1	1	0
10	Picture Tube	250	200	1	0	0
11	Speaker Cone	800	800	2	2	1
12	Power Supply	450	400	1	1	0
13	Electronics	600	600	2	1	1
14	keuntungan					
15	Laba per Unit(Rp)			15000	10000	0
16	Total keuntungan			25000		

Gambar 4.4 Tampilan akhir solusi dalam Excel

Berdasarkan Gambar 4.4 tampilan akhir solusi dalam Excel, diperoleh jumlah produksi bagi masing-masing produk demi mendapatkan total keuntungan yang maksimal: komponen chassis, picture tube, speaker cone, power supply dan electronics yang digunakan, masing-masing sebesar 400, 200, 800, 400, dan 600. Keuntungan produk TV dan Stereo masing-masing sebesar Rp 15.000,00 dan Rp 10.000,00 sehingga total keuntungan maksimal adalah sebesar Rp 15.000,00 + Rp 10.000,00 = Rp 25.000,00.

Analisis Sensitivitas

Gambar berikut adalah output solver untuk analisis sensitivitas:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
5									
6	Variabel keputusan								
7				Final	Reduced	Objective	Allowable	Allowable	
8	Cell	Name	Value	Cost	Coefficient	Increase	Decrease		
9	D7	jumlah produksi->TV set	200	0	75	25	5		
10	E7	Jumlah Produksi ->Stereo	200	0	50	25	12.5		
11	F7	Jumlah Produksi->Speaker	0	-2	35	2.5	1E+30		
12									
13	Kendala								
14				Final	Shadow	Constraint	Allowable	Allowable	
15	Cell	Name	Value	Price	R.H. Side	Increase	Decrease		
16	C9	Casis yang digunakan	400	0	450	1E+30	50		
17	C10	Picture Tube yang digunakan	200	0	250	1E+30	50		
18	C11	Speaker cone yang digunakan	800	13	800	100	100		
19	C12	Power supply yang digunakan	400	0	450	1E+30	50		
20	C13	Electoronics yang digunakan	600	25	600	50	200		
21									

Gambar 4.5 Tampilan analisis sensitivitas dalam Excel

- Kolom cell E9 sampai E11 memuat reduced cost (pembengkakan total keuntungan), misalkan jumlah produksi speaker terpaksa dinaikkan sebanyak x unit (sebelumnya dalam solusi optimalnya

untuk jumlah produksi speaker bernilai 0) sehingga total jumlah produksi speaker akan membengkak sebanyak $-2x$ menjadi Rp 25.000,00- $2x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.

- Kolom final value D16 sampai D20 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E16 sampai E20 memuat shadow price. Misalnya shadow price speaker cone yang digunakan adalah 13 unit. Artinya, bila batas speaker cone yang digunakan dinaikkan sebesar x unit kaset, solusi optimalnya akan bertambah sebesar $13x$, yaitu Rp 25.000,00 + $13x$, dan pengurangan speaker cone yang digunakan dibatasi sampai 100 unit dari batas kebutuhan speaker cone yang digunakan 800 unit. Adapun penambahan kebutuhannya dibatasi sampai 100 unit dari batas kebutuhan 800 unit, yaitu maksimal 900 unit. Demikian juga untuk batas keputusan selain speaker.

Masalah Alokasi Mesin dalam Satu Periode Produksi

Masalah alokasi mesin dalam 1 periode produksi akan menghitung jumlah mesin yang digunakan untuk membuat produk yang sama, jumlah produk yang dibuat dalam 1 hari, jumlah produksi maksimum yang dibuat dalam 1 hari dan cara meminimalkan total biaya dari mesin yang digunakan untuk membuat produk yang sama dalam pesanan. Singkatnya, bagaimana mengalokasikan mesin-mesin untuk membuat suatu produk agar dapat memenuhi permintaan dalam satu periode produksi. Di sini, biaya set up dan kapasitas produksi setiap mesin berbeda. Begitu pun biaya produksi untuk setiap unit produk berbeda untuk setiap mesinnya dan setiap mesin mempunyai perbedaan kapasitas, biaya awal dan biaya per produk. Bagaimana seharusnya perusahaan menghasilkan produk dengan mesin yang tersedia untuk memenuhi permintaan dan berapa jumlah mesin yang digunakan untuk memenuhi permintaan, jumlah produk yang dibuat per hari, total produksi, jumlah maksimum produk yang dibuat per hari dan total biaya produksi? Diketahui permintaan untuk jumlah produk yang dibuat per hari adalah 750 unit. Di bawah ini adalah tabel informasi mesin dalam 1 periode produksi:

Nama Mesin	Biaya Set-up	Biaya Produksi per Produk	Kapasitas Produksi per Hari	Jumlah Mesin
Alpha-1000	200	1.50	40	8
Alpha-2000	275	1.80	60	5
Alpha-3000	325	1.90	85	3

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Ada 2 jenis yaitu jumlah mesin yang digunakan dinotasikan dengan X_i di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili mesin alpha-1000, mesin alpha-2000 dan mesin alpha-3000, dan jumlah produk yang dibuat pada setiap mesin dinotasikan dengan Y_i di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili mesin alpha-1000, mesin alpha-2000, mesin alpha-3000.

Fungsi Tujuan

Meminimumkan total biaya set up untuk seluruh mesin yang digunakan X_i dan total biaya produksi untuk seluruh produk pada seluruh mesin Y_i .

$$Z = 200X_1 + 275X_2 + 325X_3 + 1.5Y_1 + 1.8Y_2 + 1.9Y_3$$

Kendala

Fungsi-fungsi kendala dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Mesin-mesin yang tersedia terbatas, yaitu jumlah mesin yang digunakan tidak boleh melebihi jumlah mesin tersedia:

$$X_1 \leq 8, X_2 \leq 5, X_3 \leq 3$$

- Produk yang dibuat tidak melebihi kapasitas produksi maksimum setiap mesin, yaitu:

$$Y_1 \leq 40X_1, Y_2 \leq 60X_2, Y_3 \leq 85X_3$$

- Total produk yang dibuat disyaratkan sama atau melebihi jumlah permintaan, yaitu:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 \geq 750$$

Syarat batas variabel keputusan adalah $Y_1, Y_2, Y_3 \geq 0, X_1, X_2, X_3 \geq 0$ dan berupa bilangan bulat.

Implementasi Awal dengan Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Informasi awal							
2	jenis mesin	biaya sekali set-up	biaya produksi per produk	Kapasitas produksi per hari (max)	jumlah mesin tersedia			
3	Alpha-1000	200	1.50	40	8			
4	Alpha-2000	275	1.80	60	5			
5	Alpha-3000	325	1.90	85	3			
6	Jumlah mesin yang digunakan							
7	Alpha-1000	0						
8	Alpha-2000	0						
9	Alpha-3000	0						
10	jumlah produk yang dibuat per hari							
11	Alpha-1000	0						
12	Alpha-2000	0						
13	Alpha-3000	0						
14	Total	0						
15	Pemintaan	750						
16	jumlah maksimum produk yang dibuat per hari							
17	Alpha-1000	0						
18	Alpha-2000	0						
19	Alpha-3000	0						
20	Total biaya	0						
21								

Gambar 4.6 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 4.6 diketahui bahwa rumusan tujuan dan fungsi kendala dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

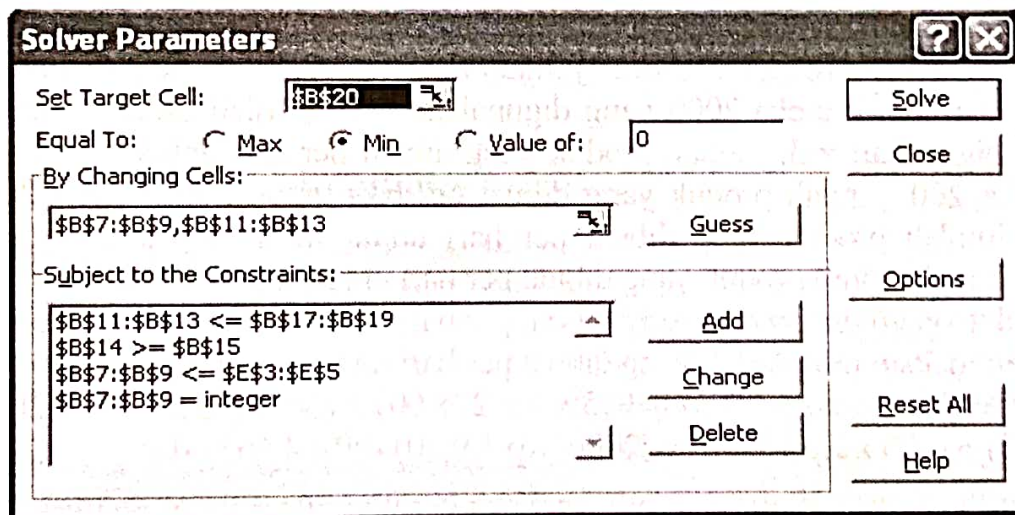
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah mesin yang digunakan	B7:B9
Jumlah produk yang dibuat per hari	B11:B13

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya (set-up seluruh mesin yang digunakan dan produksi untuk seluruh produk pada seluruh mesin)	C20	=SUMPRODUCT(B3:B5,B7:B9)+SUMPRODUCT(C3:C5,B11:B13)

Kendala	Cell	Formula	Syarat
Mesin-mesin yang tersedia terbatas yaitu mesin alpha-1000 yang digunakan tidak melebihi mesin alpha 1000 yang tersedia.	C7	=F3	$\leq$
Mesin-mesin yang tersedia terbatas yaitu mesin alpha-2000 yang digunakan tidak melebihi mesin alpha-2000 yang tersedia.	C8	=F4	$\leq$
Mesin-mesin yang tersedia terbatas yaitu mesin alpha-3000 yang digunakan tidak melebihi mesin alpha-3000 yang tersedia.	C9	=F5	$\leq$
Produk mesin alpha-1000 yang dibuat tidak melebihi kapasitas produksi maksimum mesin alpha-1000.	C11	=E3*C7	$\leq$
Produk mesin alpha-2000 yang dibuat tidak melebihi kapasitas produksi maksimum mesin alpha-2000.	C12	=E4*C8	$\leq$
Produk mesin alpha-3000 yang dibuat tidak melebihi kapasitas produksi maksimum mesin alpha-3000.	C13	=E5*C9	$\leq$

Setelah menuliskan rumus implementasi pada tabel di atas, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 4.7 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan meminimumkan total biaya, meliputi set up untuk seluruh mesin yang digunakan dan total biaya produksi untuk seluruh produk pada seluruh mesin (cell C20).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan. Ada 2 jenis yaitu jumlah mesin yang digunakan (cell C7:C9) dan jumlah produk yang dibuat pada setiap mesin (cell C11:C13).
- Subject to the Constraints adalah kendala yaitu jumlah mesin-mesin yang tersedia terbatas. Jumlah mesin yang digunakan (cell C7:C9) tidak boleh melebihi mesin yang tersedia (cell F3:F5), produk yang dibuat pada setiap mesin (Cell C11:C13) tidak melebihi kapasitas produksi maksimum setiap mesin (cell E3:E5) dan total produk yang dibuat (cell C11:C13) disyaratkan sama atau melebihi jumlah permintaan (cell C15).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan, kendala dan linier dalam solver maka tampil Gambar 4.7 di bawah ini:



Gambar 4.7 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah Gambar 4.7, langkah-langkah selanjutnya sama dengan Gambar 4.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Informasi mesin							
2	jenis mesin	biaya sekali tet-up	biaya produksi per produk	Kapasitas produk per han (max)	jumlah mesin tersedia			
3	Alpha-1000	200	1.50	40	8			
4	Alpha-2000	275	1.80	60	5			
5	Alpha-3000	325	1.90	85	3			
6	Jumlah mesin yang digunakan							
7	Alpha-1000	5						
8	Alpha-2000	5						
9	Alpha-3000	3						
10	jumlah produk yang dibuat per hari							
11	Alpha-1000	200						
12	Alpha-2000	300						
13	Alpha-3000	250						
14	Total	750						
15	Permintaan	750						
16	jumlah maksimum produk yang dibuat per hari							
17	Alpha-1000	200						
18	Alpha-2000	300						
19	Alpha-3000	255						
20	Total biaya	4665						
21								

Gambar 4.8 Tampilan akhir solusi dalam Excel

Gambar 4.8 di atas menampilkan pengalokasian mesin-mesin untuk membuat suatu produk agar dapat memenuhi permintaan dalam satu periode produksi dengan rincian berikut: jumlah mesin alpha-1000 yang digunakan = 5, jumlah mesin alpha-2000 yang digunakan = 5, jumlah mesin alpha-3000 yang digunakan = 3; jumlah produk yang dibuat per hari untuk mesin alpha-1000 = 200, jumlah produk yang dibuat per hari untuk mesin alpha-2000 = 300, jumlah produk yang dibuat per hari untuk mesin alpha-3000 = 250; jumlah maksimum produk yang dibuat per hari untuk mesin alpha-1000 = 200, jumlah maksimum produk yang dibuat per hari untuk mesin alpha-2000 = 300, jumlah maksimum produk yang dibuat per hari untuk mesin alpha-3000 = 255. Total biaya = $(5 \times \text{Rp } 200,00) + (5 \times \text{Rp } 275,00) + (3 \times \text{Rp } 325,00) + (200 \times \text{Rp } 1,5,00) + (300 \times \text{Rp } 1,8,00) + (250 \times \text{Rp } 1,9,00) = \text{Rp } 4.665,00$

Masalah Alokasi Mesin dalam Beberapa Periode Produksi

Permasalahan ini sama dengan masalah alokasi mesin-mesin dalam 1 periode produksi, tetapi ditambah dengan inventory dan dimulai dari hari Senin sampai Jumat. Masalahnya adalah bagaimana seharusnya perusahaan mengalokasikan mesin-mesin untuk membuat suatu produk agar dapat

memenuhi permintaan dalam satu periode produksi dan berapa banyak jumlah mesin yang digunakan Senin sampai Jumat, jumlah produk yang dibuat per hari mulai Senin sampai Jumat dan jumlah maksimum produk yang dibuat per hari. Diketahui pula bahwa biaya set up dan kapasitas produksi setiap mesin berbeda, begitu pula biaya produksi untuk setiap unit produk yang juga berbeda untuk setiap mesinnya. Di bawah ini adalah tabel alokasi mesin dalam beberapa periode produksi:

Nama Mesin	Biaya Set-up	Biaya Produksi per Produk	Kapasitas Produksi per Hari	Jumlah Mesin
Alpha-1000	200	1.50	40	8
Alpha-2000	275	1.80	60	5
Alpha-3000	325	1.90	85	3

Jumlah produksi yang dibuat per hari					
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Alpha-1000	0	0	0	0	0
Alpha-2000	0	0	0	0	0
Alpha-3000	0	0	0	0	0
Total	0	0	0	0	0
Inventory	0	-600	-1400	-2400	-3125
Total	0	-600	-1400	-2400	-3125
Permintaan	600	800	1000	725	750

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

- Jumlah mesin yang digunakan, dinotasikan dengan X_{ij} di mana i menyatakan jenis mesin, dengan $i = 1$ (alpha-1000), $i = 2$ (alpha-2000), $i = 3$ (alpha-3000), dan j menyatakan hari, yaitu $j = 1$ (Senin), $j = 2$ (Selasa), $j = 3$ (Rabu), $j = 4$ (Kamis), $j = 5$ (Jumat).
- Jumlah produk yang dibuat per hari, dinotasikan dengan Y_{ij} di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili mesin alpha-1000, alpha-2000, alpha-3000, dan j menyatakan hari, di mana $j = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili hari Senin, Selasa, Rabu, Kamis, dan Jumat.

Fungsi Tujuan

- Meminimumkan total biaya yaitu jumlah produk yang dibuat per hari dikalikan dengan biaya produksi per produk ditambah dengan jumlah mesin yang digunakan dikalikan dengan biaya awal.

$$Z = (200X_{11} + 275X_{21} + 325X_{31}) + (200X_{12} + 275X_{22} + 325X_{32}) + (200X_{13} + 275X_{23} + 325X_{33}) + (200X_{14} + 275X_{24} + 325X_{34}) + (200X_{15} + 275X_{25} + 325X_{35}) + (1.0Y_{11} + 1.8Y_{21} + 1.9Y_{31}) + (1.0Y_{12} + 1.8Y_{22} + 1.9Y_{32}) + (1.0Y_{13} + 1.8Y_{23} + 1.9Y_{33}) + (1.0Y_{14} + 1.8Y_{24} + 1.9Y_{34}) + (1.0Y_{15} + 1.8Y_{25} + 1.9Y_{35})$$

Kendala

- Keseimbangan antara inventory, produksi dan permintaan, yaitu:

$$I_{t+1} = (X_{1t} + X_{2t} + X_{3t}) + I_t - D_t$$

di mana I_t menyatakan inventory pada hari t , D_t adalah jumlah permintaan produk di hari t , dengan $I_1 = 0$, dan $t = 1, 2, \dots, 5$.

- Jumlah masing-masing mesin yang digunakan tidak melebihi jumlah masing-masing mesin tersedia

$$(X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15}) \leq 8 \text{ mesin alpha 1000}$$

$$(X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25}) \leq 5 \text{ mesin alpha 2000}$$

$$(X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35}) \leq 3 \text{ mesin alpha 3000}$$

- Jumlah masing-masing mesin yang digunakan = bilangan bulat

$$X_{ij} = \text{bilangan bulat}$$

- Jumlah produk yang dibuat per hari pada masing-masing mesin tidak melebihi jumlah maksimum produk yang dibuat pada masing-masing mesin.

Mesin alpha-1000: Hari Senin $Y_{11} \leq 40X_{11}$

$$\text{Hari Selasa } Y_{12} \leq 40X_{12}$$

$$\text{Hari Rabu } Y_{13} \leq 40X_{13}$$

$$\text{Hari Kamis } Y_{14} \leq 40X_{14}$$

$$\text{Hari Jumat } Y_{15} \leq 40X_{15}$$

Mesin alpha-2000: Hari Senin $Y_{21} \leq 60X_{11}$

$$\text{Hari Selasa } Y_{22} \leq 60X_{12}$$

$$\text{Hari Rabu } Y_{23} \leq 60X_{13}$$

$$\text{Hari Kamis } Y_{24} \leq 60X_{14}$$

$$\text{Hari Jumat } Y_{25} \leq 60X_{15}$$

Mesin alpha-3000: Hari Senin $Y_{31} \leq 85X_{11}$

Hari Selasa $Y_{32} \leq 85X_{12}$

Hari Rabu $Y_{33} \leq 85X_{13}$

Hari Kamis $Y_{34} \leq 85X_{14}$

Hari Jumat $Y_{35} \leq 85X_{15}$

- Total jumlah produk yang dibuat per hari diisyaratkan melebihi permintaan jumlah produk yang dibuat per hari:

Hari Senin : $(Y_{11} + Y_{21} + Y_{31} + 0) \geq 600$

Hari Selasa : $(Y_{12} + Y_{22} + Y_{32} - 600) \geq 800$

Hari Rabu: $(Y_{13} + Y_{23} + Y_{33} - 1400) \geq 1000$

Hari Kamis: $(Y_{14} + Y_{24} + Y_{34} - 2400) \geq 725$

Hari Jumat: $(Y_{15} + Y_{25} + Y_{35} - 3125) \geq 750$

- Syarat batas variabel keputusan: X_{ij} dan $Y_{ij} \geq 0$

Implementasi Awal dengan Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
4	Informasi biaya mesin							
5		biaya awal per hari	biaya tambahan per produk	kapasitas produk per hari (max)	jumlah mesin			
6	Alpha-1000	200	1	40	8			
7	Alpha-2000	275	1.8	60	5			
8	Alpha-3000	325	1.9	85	3			
10	Jumlah mesin yang digunakan							
11		Senin	Selasa	Rabu	kamis	Jumat		
12	Alpha-1000	0	0	0	0	0		
13	Alpha-2000	0	0	0	0	0		
14	Alpha-3000	0	0	0	0	0		
16	Jumlah produk yang dibuat per hari							
17		Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat		
18	Alpha-1000	0	0	0	0	0		
19	Alpha-2000	0	0	0	0	0		
20	Alpha-3000	0	0	0	0	0		
21	Total jumlah produk dibuat per hari	0	0	0	0	0		
22	Inventory	0	-600	-1400	-2400	-3125		
23	Total (inventory + jumlah produk)	0	-600	-1400	-2400	-3125		
24	Permintaan	600	800	1000	725	750		
26	Jumlah maksimum dari produk yang dibuat per hari							
27		Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat		
28	Alpha-1000	0	0	0	0	0		
29	Alpha-2000	0	0	0	0	0		
30	Alpha-3000	0	0	0	0	0		
32							Total	
33	biaya	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	

Gambar 4.9 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 4.9 diketahui bahwa tujuan dan fungsi kendala dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

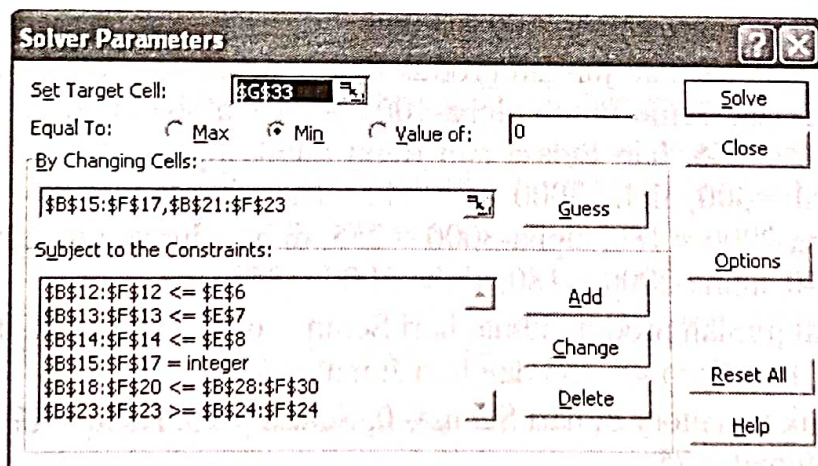
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah mesin yang digunakan hari Senin sampai Jumat	B12:F14
Jumlah produk yang dibuat per hari mulai Senin sampai Jumat	B18:F20

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya, di mana:	G33	=SUM(B33:F33)
Biaya hari Senin	B33	=SUMPRODUCT(B6:B8,B12:B14)+SUMPRO DUCT(B18:B20,C6:C8)
Biaya hari Selasa	C33	=SUMPRODUCT(B6:B8,C12:C14)+SUMPRO DUCT(C18:C20,C6:C8)
Biaya hari Rabu	D33	=SUMPRODUCT(B6:B8,D12:D14)+SUMPRO DUCT(D18:D20,C6:C8)
Biaya hari Kamis	E33	=SUMPRODUCT(B6:B8,E12:E14)+SUMPRO DUCT(E18:E20,C6:C8)
Biaya hari Jumat	F33	=SUMPRODUCT(B6:B8,F12:F14)+SUMPRO DUCT(F18:F20,C6:C8)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Dikopi ke	Batas Kপি
Mesin alpha-1000 yang digunakan tidak melebihi mesin alpha-1000 tersedia hari Senin	B12	=B12	≤	E6	F12	E6
Mesin alpha-2000 yang di-gunakan tidak melebihi mesin alpha-2000 tersedia hari Senin	B13	=B13	≤	E7	F13	E7
Mesin alpha-3000 yang digunakan tidak melebihi mesin alpha-3000 tersedia hari Senin	B14	=B14	≤	E8	F14	E8
Jumlah produk yang dibuat per hari pada mesin alpha-1000 tidak melebihi jumlah maksimum produk yang dibuat pada mesin alpha-1000 di hari Senin	B18	=D6*B12	≤	-	F18	-
Jumlah produk yang dibuat per hari pada mesin alpha-2000 tidak melebihi jumlah maksimum produk yang dibuat pada mesin alpha-2000 di hari Senin	B19	=D7*B13	≤	-	F19	-
Jumlah produk yang dibuat per hari pada mesin alpha-3000 tidak melebihi jumlah maksimum produk yang dibuat pada mesin alpha-3000 di hari Senin	B20	=D8*B14	≤	-	F20	-
Total jumlah produk dibuat paling sedikit melebihi per-mintaan hari Senin	B23	=SUM(B18:20,B22)	≤	B24	F23	F24

Setelah menuliskan rumus implementasi, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 4.10 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah meminimumkan total biaya (cell G33) yaitu jumlah masing-masing mesin yang digunakan pada hari Senin sampai Jumat (cell B12:F14) dikalikan dengan biaya sekali set-up masing-masing mesin (cell B6:B8) ditambah jumlah produk yang dibuat hari Senin sampai Jumat pada setiap mesin (cell B18:F20) dikalikan dengan biaya produksi per produk (cell C6:C8).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan. Ada 2 jenis yaitu jumlah mesin yang digunakan (cell B12:F14) dan jumlah produk yang dibuat per hari (cell B18:F20).
- Subject to the Constraints adalah kendala jumlah masing-masing mesin yang digunakan (B12:F14) tidak melebihi jumlah masing-masing mesin tersedia (cell E6:E8), Jumlah produk yang dibuat per hari pada masing-masing mesin (cell B18:F20) tidak melebihi jumlah maksimum produk yang dibuat pada masing-masing mesin (cell B28:F30), total jumlah produk yang dibuat per hari (cell B23:F23) diisyaratkan melebihi permintaan jumlah produk yang dibuat per hari (cell B24:F24).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan kendala, fungsi tujuan dan variabel keputusan maka akan tampil Solver Parameters berikut:



Gambar 4.10 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya untuk memperoleh penyelesaian sama dengan Gambar 4.3.

Implementasi Akhir dengan Solver dalam Excel

Informasi biaya mesin					
	biaya awal per hari	biaya perawatan per produk	kapasitas produk per hari (unit)	produk tersedia	
Alpha 1000	200	1	40	8	
Alpha 2000	275	1.8	60	5	
Alpha 3000	325	1.9	85	3	
Jumlah mesin yang digunakan					
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Alpha 1000	8	8	8	8	6
Alpha 2000	2	5	5	3	3
Alpha 3000	3	3	3	3	3
Jumlah produk yang dibuat per hari					
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Alpha 1000	320	320	320	320	240
Alpha 2000	120	300	300	180	180
Alpha 3000	255	255	255	255	255
Total jumlah produk dibuat per hari	695	875	875	755	675
Inventory	0	95	170	45	75
Total (inventory + jumlah produk)	695	970	1045	800	750
Perencanaan	600	800	1000	725	750
Jumlah maksimum dari produk yang dibuat per hari					
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
Alpha 1000	320	320	320	320	240
Alpha 2000	120	300	300	180	180
Alpha 3000	255	255	255	255	255
Total					
Biaya	4145.50	4469.50	5294.50	4528.50	4048.50
					22486.50

Gambar 4.11 Tampilan akhir solusi dalam Excel

- Dari tampilan akhir Solver pada gambar 4.11 di atas, perusahaan seharusnya mengalokasikan mesin di hari Senin untuk alpha-1000 = 8 unit, alpha-2000 = 2 unit, alpha-3000 = 3 unit, hari Selasa dan Rabu untuk alpha 1000 = 8 unit, alpha-2000 = 5 unit, alpha-3000 = 3 unit, hari Kamis untuk alpha-1000 = 8 unit, alpha-2000 = 3 unit, alpha-3000 = 3 unit, di hari Jumat untuk alpha-1000 = 6 unit, alpha-2000 = 3 unit, alpha-3000 = 3 unit.
- Mengalokasikan jumlah produk dan maksimum produk yang dibuat pada hari Senin untuk alpha-1000 = 320, alpha-2000 = 120, alpha-3000 = 255, hari Selasa dan Rabu untuk alpha 1000 = 320, alpha-2000 = 300, alpha-3000 = 255, hari Kamis untuk alpha-1000 = 320, alpha-2000 = 180, alpha-3000 = 255, di hari Jumat untuk alpha-1000 = 240, alpha-2000 = 180, alpha-3000 = 255.
- Total jumlah produk dibuat hari Senin = 695, hari Selasa dan Rabu = 875, hari Kamis = 755 dan hari Jumat = 675.
- Untuk inventory di hari Senin = 0, Selasa = 95, Rabu = 170, Kamis = 45, Jumat = 75.
- Total (inventory + jumlah produk) di hari Senin = 695, hari Selasa = 970, hari Rabu = 1045, hari Kamis = 800 dan hari Jumat = 750.
- Biaya set-up seluruh mesin di hari Senin = 4145.50, Selasa = 4469.50, Rabu = 5294.50, Kamis = 4528.50, Jumat = 4048.50 dengan total = 22486.50.

Masalah Campuran Bahan Baku Produk Metal (Periode Tunggal)

Sebuah bahan baku berupa produk metal dibutuhkan setiap tahun oleh sebuah perusahaan minimal 6000 ton. Produk metal ini diharapkan mengandung tembaga dan perak dengan kandungan tertentu. Produk metal dibuat di 4 pabrik, tetapi kualitas kandungan tembaga dan perak yang dihasilkan, kapasitas serta biaya produksinya berbeda-beda jika diketahui bahwa kebutuhan tembaga per ton = 0.9 dan kebutuhan perak per ton = 2.3.

	Kandungan Tembaga yang Dihasilkan	Kandungan Perak yang Dihasilkan	Kemampuan Produksi per Tahun (ton)	Biaya Produksi per Tahun (juta)
Pabrik 1	1	2.3	2000	3.5
Pabrik 2	0.7	1.6	2500	4
Pabrik 3	1.5	1.2	1300	4
Pabrik 4	0.7	4.1	3000	2

Pabrik mana yang seharusnya dipilih dan berapa banyak material (kandungan tembaga dan perak) yang dibutuhkan untuk memperkecil biaya produksi per tahun?

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan yang digunakan adalah jumlah produksi, yang dinotasikan dengan X_i di mana $i = 1, 2, 3$ dan 4 yang masing-masing menyatakan $i = 1$ (Pabrik 1), $i = 2$ (Pabrik 2), $i = 3$ (Pabrik 3) dan $i = 4$ (Pabrik 4)

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah memperkecil biaya pabrik, yaitu mengalikan biaya produksi per tahun dengan keputusan pabrik:

$$Z = 3.5 X_1 + 4 X_2 + 4 X_3 + 2 X_4$$

Kendala

- Total jumlah produksi disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total kebutuhan jumlah produksi:

$$(X_1 + X_2 + X_3 + X_4) \geq 6000$$

- Total jumlah kandungan kadar tembaga sama dengan total jumlah kebutuhan kandungan kadar tembaga yang dirumuskan:

$$1X_1 + 0,7X_2 + 1,5X_3 + 0,7X_4 = 0,9(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

- Total jumlah kandungan kadar perak sama dengan total jumlah kebutuhan kandungan kadar perak yang dirumuskan:

$$2,3X_1 + 1,6X_2 + 1,2X_3 + 4,1X_4 = 2,3(X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

- Jumlah produksi (ton) tidak boleh melebihi kemampuan produksi per tahun yang dirumuskan:

$$X_1 \leq 2000, X_2 \leq 2500, X_3 \leq 1300, X_4 \leq 3000$$

Implementasi Awal dengan Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G
3	Informasi pabrik kimia						
		kandungan tembaga	kandungan perak	kemampuan produksi per tahun (ton)	biaya produksi per tahun (jutaan Rp)	digunakan (1=ya, 0=tidak)	
4							
5	pabrik 1	1	2.3	2000	3.5	1	
6	pabrik 2	0.7	1.6	2500	4	1	
7	pabrik 3	1.5	1.2	1300	4	1	
8	pabrik 4	0.7	4.1	3000	2	1	
10	jumlah produksi (tons)						
11	pabrik 1	0.00					
12	pabrik 2	0.00					
13	pabrik 3	0.00					
14	pabrik 4	0.00					
15	Total	0					
16	Kebutuhan	6000					
18	batas kandungan kadar tembaga						
19	total jumlah kadar tembaga	0					
20	total jumlah kadar yang dibutuhkan	0					
21	Kebutuhan tembaga per ton	0.9					
23	batas kandungan kadar perak						
24	total jumlah kadar perak	0					
25	total jumlah kadar yang dibutuhkan	0					
26	kebutuhan perak per ton	2.3					
27	biaya produksi pabrik	0					

Gambar 4.12 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 4.12 diketahui bahwa variabel keputusan, fungsi tujuan dan fungsi kendala dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

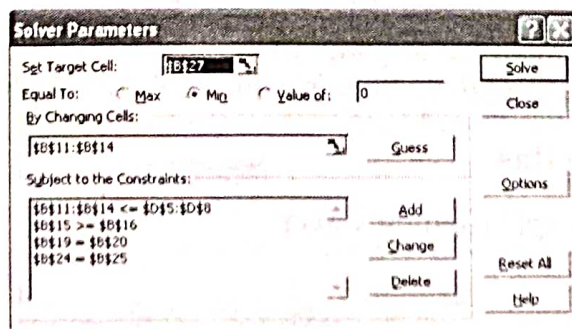
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah produksi (ton)	B11:B14

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya produksi pabrik	B27	=SUMPRODUCT(B11:B14,E5:E8)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Dikopi ke	Batas Kopi
Jumlah produksi (ton) tidak melebihi kemampuan produksi per tahun Pabrik 1	B11	= B11	$\leq$	D5	B14	D8
Total jumlah produksi melebihi kebutuhan jumlah produksi	B15	=SUM(B11:B14)	$\geq$	B16	-	-
Total jumlah kandungan kadar tembaga = total kebutuhan kandungan kadar tembaga	B19	SUMPRODUCT (B5:B8,B11:B14)	=	B21*SUM (B11:14)	B20	-
Total jumlah kandungan kadar perak = total kebutuhan kandungan kadar perak	B24	=SUMPRODUCT (C5:C8,B11:B14)	=	B26*SUM (B11:B14)	B25	-

Setelah menuliskan rumus implementasinya seperti pada tabel di atas, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 4.13 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan memperkecil biaya produksi pabrik (cell B27), yaitu mengalikan keputusan pabrik (cell F5:F8) dengan jumlah produksi (cell E5:E8).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan jumlah produksi (cell B11:B14).
- Subject to the Constraints adalah kendala, yaitu jumlah produksi (cell B11:B14) tidak boleh melebihi kemampuan produksi per tahun (cell D5:D8), total jumlah kandungan kadar tembaga (cell B5:B8,B11:B14) = total jumlah kebutuhan kandungan kadar tembaga (cell B21,B11:B14), total kandungan kadar perak (cell C5:C8,B11:B14) = total jumlah kebutuhan kandungan kadar perak (cell B26,B11:B14), total jumlah produksi (cell B15) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi kemampuan produksi (cell B16).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan variabel keputusan, kendala dan fungsi tujuan, maka muncul Solver Parameters berikut:



Gambar 4.13 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah memperoleh penyelesaian selanjutnya sama dengan Gambar 4.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
3	Informasi pabrik kimia						
		kandungan tembaga	kandungan perak	kemampuan produksi per tahun (ton)	biaya produksi per tahun (jutaan Rp)	digunakan (1=ya, 0=tidak)	
5	pabrik 1	1	2.3	2000	3.5	1	
6	pabrik 2	0.7	1.6	2500	4	1	
7	pabrik 3	1.5	1.2	1300	4	1	
8	pabrik 4	0.7	4.1	3000	2	1	
10	jumlah produksi (tons)						
11	pabrik 1	533.3333					
12	pabrik 2	2428					
13	pabrik 3	1300					
14	pabrik 4	1738.667					
15	Total	6000					
16	Kebutuhan	6000					
18	batas kandungan kadar tembaga						
19	total jumlah kadar tembaga	5400					
20	total jumlah kadar yang dibutuhkan	5400					
21	Kebutuhan tembaga per ton	0.9					
23	batas kandungan kadar perak						
24	total jumlah kadar perak	13800					
25	total jumlah kadar yang dibutuhkan	13800					
26	kebutuhan perak per ton	2.3					
27	biaya produksi pabrik	14					

Gambar 4.14 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Gambar 4.14 di depan menampilkan upaya perusahaan produksi tembaga dan perak untuk memenuhi kebutuhan sekaligus memperkecil biaya produksi per tahun dengan perincian sebagai berikut: Pabrik 1 memberikan jumlah produksi kadar kandungan tembaga dan perak (ton) = 533,33 dengan total biaya produksi pabrik Rp.14 juta. Kemudian, total jumlah kadar tembaga = total jumlah kadar yang dibutuhkan = 5.400 ton, dan total jumlah kadar perak = total jumlah kadar yang dibutuhkan = 13.800 ton.

Analisis Sensitivitas

Berikut ini hasil output running solver:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3									
4									
5									
6			Variabel keputusan						
7									
8		Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
9		B14	Jumlah produksi pabrik 1	533.33	0.00	0	1E+30	0	
10		B15	Jumlah produksi pabrik 2	2428	0.00	0	0	0	
11		B16	Jumlah produksi pabrik 3	1300	0.00	0	0	1E+30	
12		B17	Jumlah produksi pabrik 4	1738.7	0.00	0	0	0	
13									
14			Kendala						
15									
16		Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease	
17		B19	Total jumlah kadar tembaga	5400	0	0	440	30	
18		B24	Total jumlah kadar perak	13800	0	0	3153.333333	180	
19		B15	total jumlah produksi	6000	0	6000	300	800	
20									

Gambar 4.15 Hasil analisis sensitivitas

- Pada kolom cell E9 sampai E12, tidak terjadi reduced cost (pembengkakan total biaya), tetapi nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas produksi 1E+30 (tak hingga).
- Kolom final value D17 sampai D19 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E17 sampai E19 memuat shadow price, tetapi tidak terjadi pembengkakan/pengurangan shadow price di mana pengurangan total jumlah kadar tembaga mencapai hingga 30 ton dari batas kebutuhan total jumlah kadar tembaga sebesar 5400 ton. Adapun penambahan kebutuhannya dibatasi sampai 440 ton dari batas total jumlah kadar tembaga 5400 ton, menjadi maksimal 5840 ton. Demikian juga untuk batas total jumlah kadar perak dan total jumlah produksi.

Masalah Campuran Bahan Baku Produk Metal (Beberapa Periode)

Masalah ini adalah pengembangan dari masalah campuran di atas dengan tambahan adanya 4 pabrik dengan kualitas dan kapasitas yang berbeda serta biaya operator. Hasil dan kualitas yang berbeda adalah kebutuhan per tahun. Hanya 3 pabrik yang buka setiap tahun lewat keputusan pabrik. Di bawah ini adalah tabel dari masalah campuran:

	Pabrik 1	Pabrik 2	Pabrik 3	Pabrik 4
Kandungan Tembaga (%)	1	0.7	1.5	0.7
Kandungan Perak (%)	2.3	1.6	1.2	4.1
Kemampuan Produksi per Tahun (ton)	2000	2500	1300	3000
Biaya Pabrik (juta)	3.5	4	4	2

Pabrik mana yang seharusnya dipilih dan berapa banyak material masing-masing pabrik (kandungan tembaga dan perak) yang dibutuhkan untuk memperkecil biaya produksi per tahun dengan tambahan berikut?

	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
Kebutuhan Jumlah Produksi	4500	3100	3500	3700	4000
Kebutuhan Produksi Tembaga (ton)	0.9	1.2	1	1.1	0.8
Kebutuhan Produksi Perak (ton)	1.9	1.7	2.8	1.9	2.1

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusannya adalah X_{ij} dan Y_{ij} yang masing-masing menyatakan jumlah produksi dan keputusan pabrik di mana $i = 1, 2, 3$ dan 4 yang masing-masing mewakili $i = 1$ (Pabrik 1), $i = 2$ (Pabrik 2), $i = 3$ (Pabrik 3) dan $i = 4$ (Pabrik 4) dan $j = 1, 2, 3, 4, 5$ yang masing-masing menyatakan $j = 1$ (tahun 1), $j = 2$ (tahun 2), $j = 3$ (tahun 3), $j = 4$ (tahun 4), $j = 5$ (tahun 5).

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah memperkecil biaya produksi pabrik yaitu mengalikan biaya produksi per tahun dengan keputusan pabrik:

$$Z = 3.5(X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15}) + 4(X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25}) + 4(X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35}) + 2(X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45})$$

Kendala

- Jumlah produksi Pabrik 1 Tahun 1 tidak melebihi kemampuan produksi per tahun Pabrik 1 Tahun 1 (keputusan pabrik $\times$ kemampuan produksi)

Pabrik 1 Tahun 1 Pabrik 1 Tahun 3 Pabrik 1 Tahun 5

$$X_{11} \leq 2000Y_{11} \quad X_{13} \leq 2000Y_{13} \quad X_{15} \leq 2000Y_{15}$$

Pabrik 1 Tahun 2 Pabrik 1 Tahun 4

$$X_{12} \leq 2000Y_{12} \quad X_{14} \leq 2000Y_{14}$$

Pabrik 2 Tahun 1 Pabrik 2 Tahun 3 Pabrik 2 Tahun 5

$$X_{21} \leq 2000Y_{21} \quad X_{23} \leq 2000Y_{23} \quad X_{25} \leq 2000Y_{25}$$

Pabrik 2 Tahun 2 Pabrik 2 Tahun 4

$$X_{22} \leq 2000Y_{22} \quad X_{24} \leq 2000Y_{24}$$

Pabrik 3 Tahun 1	Pabrik 1 Tahun 3	Pabrik 1 Tahun 5
$X_{31} \leq 2000Y_{31}$	$X_{33} \leq 2000Y_{33}$	$X_{35} \leq 2000Y_{35}$
Pabrik 1 Tahun 2	Pabrik 1 Tahun 4	
$X_{32} \leq 2000Y_{32}$	$X_{34} \leq 2000Y_{34}$	
Pabrik 4 Tahun 1	Pabrik 1 Tahun 3	Pabrik 1 Tahun 5
$X_{41} \leq 2000Y_{41}$	$X_{43} \leq 2000Y_{43}$	$X_{45} \leq 2000Y_{45}$
Pabrik 4 Tahun 2	Pabrik 1 Tahun 4	
$X_{42} \leq 2000Y_{42}$	$X_{44} \leq 2000Y_{44}$	

Total jumlah produksi tembaga disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total jumlah kebutuhan tembaga:

$$\text{Tahun 1: } 1X_{11} + 0.7X_{21} + 1.5X_{31} + 0.7X_{41} \geq 0.9(X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41})$$

$$\text{Tahun 2: } 1X_{12} + 0.7X_{22} + 1.5X_{32} + 0.7X_{42} \geq 1.2(X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42})$$

$$\text{Tahun 3: } 1X_{13} + 0.7X_{23} + 1.5X_{33} + 0.7X_{43} \geq 1(X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43})$$

$$\text{Tahun 4: } 1X_{14} + 0.7X_{24} + 1.5X_{34} + 0.7X_{44} \geq 1.1(X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44})$$

$$\text{Tahun 5: } 1X_{15} + 0.7X_{25} + 1.5X_{35} + 0.7X_{45} \geq 0.8(X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45})$$

- Keputusan pabrik tidak boleh melebihi 3 dan merupakan bilangan bulat

$$Y_{ij} \leq 3 \text{ dan bilangan bulat}$$

- Jumlah produksi perak disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi jumlah kebutuhan perak:

$$\text{Tahun 1: } 2.3X_{11} + 1.6X_{21} + 1.2X_{31} + 4.1X_{41} \geq 1.9(X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41})$$

$$\text{Tahun 2: } 2.3X_{12} + 1.6X_{22} + 1.2X_{32} + 4.1X_{42} \geq 1.7(X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42})$$

$$\text{Tahun 3: } 2.3X_{13} + 1.6X_{23} + 1.2X_{33} + 4.1X_{43} \geq 2.8(X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43})$$

$$\text{Tahun 4: } 2.3X_{14} + 1.6X_{24} + 1.2X_{34} + 4.1X_{44} \geq 1.9(X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44})$$

$$\text{Tahun 5: } 2.3X_{15} + 1.6X_{25} + 1.2X_{35} + 4.1X_{45} \geq 2.1(X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45})$$

- Total jumlah produksi disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total kebutuhan produksi:

$$\text{Tahun 1: } (X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41}) \geq 4500$$

$$\text{Tahun 2: } (X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42}) \geq 3100$$

Dari Gambar 4.16 diketahui bahwa tujuan dan fungsi kendala dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah produksi (ton)	B24:F27
Keputusan pabrik	B16:F19

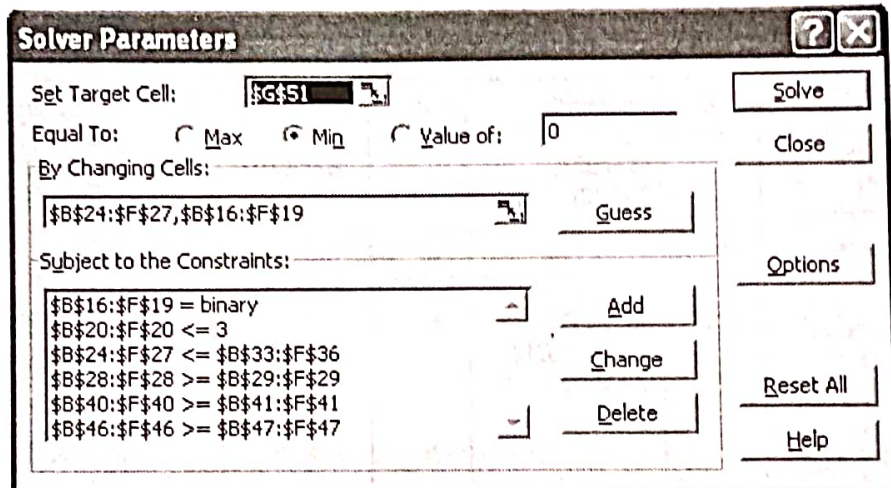
Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Dikopli ke
Meminimalkan total biaya produksi pabrik dari tahun 1 sampai tahun 5, di mana: Biaya produksi pabrik Tahun 1	G51	=SUM (B51:F51)	-
	B51	=SUMPRODUCT (B16:B19,E9:E12)	=SUMPRODUCT(E9:E12, F16:F19)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopl	Formula Kopl	Batas Kopl
Jumlah produksi (ton) tidak melebihi kemampuan produksi per tahun Pabrik1 Tahun1	B24	=D9*B16	$\leq$	-	F27	=D12*F16	-
Total jumlah produksi tembaga disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi kebutuhan jumlah produksi tembaga Tahun 1	B40	=SUMPRODUCT (B24:B27, B9:B12)	$\geq$	B42*SUM (B24:B27)	F40	=SUMPRODUCT (F24:F27, B9:B12)	F42*SUM (F24:F27)
Total jumlah produksi perak disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi kebutuhan kandungan kadar perak	B46	=SUMPRODUCT(C9:C12, B24:B27)	$\geq$	B48*SUM (B24:B27)	F46	=SUMPRODUCT(C9:C12,F24:F27)	F48*SUM (F24:F27)
Total jumlah produksi disyaratkan sama atau melebihi total kebutuhan produksi Tahun 1	B2	=SUM(B24:B27)	$\geq$	B29	F28	=SUM(F24:F27)	F28

Setelah menuliskan rumus implementasi, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 4.17 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan memperkecil biaya produksi pabrik(cellG51), yaitu mengalikan jumlah produksi (cell B24:F27) dengan keputusan pabrik (cell B16:F19).

- By Changing Cells adalah variabel keputusan jumlah produksi (cell B24:F27) dan keputusan pabrik (cell B16:F19).
- Subject to the Constraints adalah kendala yaitu jumlah produksi (cell B24:F27) tidak melebihi maksimum produksi (cell D9:D12), total jumlah produksi tembaga (cell B40:F40) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total jumlah kebutuhan tembaga (cell B41:F41), keputusan pabrik (cell B16:F19) tidak melebihi 3 dan merupakan bilangan bulat, jumlah produksi perak (cell B46:F46) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi jumlah kebutuhan perak (cell B47:F47), total jumlah produksi (cell B28:F28) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total kebutuhan produksi (cell B29:F29).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan variabel keputusan, fungsi tujuan dan kendala maka muncul Solver Parameters di bawah ini:



Gambar 4.17 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah gambar 4.17, langkah-langkah selanjutnya sama dengan gambar 4.3.

Implementasi Akhir dengan Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F
7	Informasi pabrik					
		kandungan tembaga	kandungan perak	kemampuan produksi per tahun (year)	biaya pabrik (jutaan Rp)	
9	Pabrik1	1	2,3	2000	3,5	
10	Pabrik2	0,7	1,6	2500	4	
11	Pabrik3	1,5	1,2	1300	4	
12	Pabrik4	0,7	4,1	3000	2	
14	Keputusan Pabrik (1=ya, 0=tidak)					
15		Tahun1	Tahun2	Tahun3	Tahun4	Tahun5
16	Pabrik1	1	1	1	1	1
17	Pabrik2	0	6,94E-18	0	0	0
18	Pabrik3	1	1	1	1	-1,4E-16
19	Pabrik4	1	3,43E-18	1	1	1
20	Total	3	2	3	3	2
22	jumlah produksi (ton)					
23		tahun1	tahun2	tahun3	tahun4	tahun5
24	Pabrik1	2000	1800	433	2000	2000
25	Pabrik2	0	0	0	0	0
26	Pabrik3	1300	1300	1300	1300	0
27	Pabrik4	1200	0	1767	400	2000
28	Total	4500	3100	3500	3700	4000
29	Kebutuhan	4500	3100	3500	3700	4000
31	Kapasitas produksi (tons)					
32		Tahun1	Tahun2	Tahun3	Tahun4	Tahun5
33	Pabrik1	2000	2000	2000	2000	2000
34	Pabrik2	0	0	0	0	0
35	Pabrik3	1300	1300	1300	1300	0
36	Pabrik4	3000	0	3000	3000	3000
38	Batas kandungan kadar tembaga					
39		tahun1	tahun2	tahun3	tahun4	tahun5
40	total jumlah tembaga	4790	3750	3620	4230	3400
41	total jumlah kebutuhan	4050	3720	3500	4070	3200
42	tembaga per ton (minimum)	0,9	1,2	1	1,1	0,8
44	Batas kandungan kadar perak					
45		tahun1	tahun2	tahun3	tahun4	tahun5
46	total jumlah perak	11080	5700	9800	7800	12800
47	total jumlah kebutuhan	8550	5270	9800	7030	8400
48	kebutuhan perak per ton (minimum)	1,9	1,7	2,8	1,9	2,1
50	Biaya produksi	tahun1	tahun2	tahun3	tahun4	tahun5
51		9,5	7,5	9,5	9,5	5,5
						Total
						41,5

Gambar 4.18 Tampilan akhir dalam Excel

Dari Gambar 4.18 di atas diketahui bahwa keputusan Pabrik 1 pada Tahun 1, 3 dan 4 adalah yang terbaik karena mempunyai nilai 1 dengan alasan memperkecil biaya produksi per tahun. Adapun untuk jumlah produksi dan kapasitas produksi berada di Pabrik 1, 3, dan 4 pada Tahun 1 sampai Tahun 5, dengan total biaya pabrik sebesar Rp 41.500.000,00.

Masalah Proses Pilihan

Suatu penggilingan kayu memiliki 3 pabrik kayu yang berbeda. Setiap pabrik memiliki kecepatan yang berbeda, biaya produksi pabrik dan ketebalan maksimum dari kayu. Bagaimana seharusnya penggilingan kayu memilih pabrik untuk memperkecil biaya produksi pabrik dan jumlah kayu dengan waktu pengerjaan tidak lebih dari 3 jam?

Di bawah ini adalah tabel dari proses pilihan berdasarkan informasi dari pabrik kayu:

	Kecepatan (ft/min)	Biaya Produksi (xRp 1000/jam)	Maksimum Ketebalan Kayu (ft)
Pabrik 1	5	150	60
Pabrik 2	7	190	40
Pabrik 3	8	225	20

Rencana Pemotongan Ukuran di Pabrik Kayu						
	1"	2"	3"	5"	Jam	Biaya(Rp)
Pabrik 1	0	0	0	0	0.00	0
Pabrik 2	0	0	0	0	0.00	0
Pabrik 3	0	0	0	0	0.00	0
Total	0	0	0	0		0
Permintaan	500	800	600	300		

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah jumlah kayu yang diproduksi oleh pabrik yang berbeda, dinotasikan X_{ij} di mana $j = 1, 2, 3, 4$, masing-masing mewakili 1", 2", 3", 5" dan $i = 1, 2, 3$ mewakili Pabrik 1, Pabrik 2, dan Pabrik 3.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan biaya pabrik yaitu biaya pabrik dikalikan ketebalan kayu, dibagi dengan maksimum ketebalan kayu dikalikan kecepatan, yang dirumuskan seperti di bawah ini:

$$\frac{150(X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15})}{60 \times 5} + \frac{190(X_{21} + X_{22} + X_{23})}{7 \times 60} + \frac{225(X_{31} + X_{32})}{8 \times 60}$$

Kendala

- Rencana pabrik kayu jadi dinotasikan:

$$X_{ij} \geq 0$$

- Total jam produksi $\leq$ jumlah jam yang tersedia dirumuskan:

$$\frac{X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}}{5 \times 60} + \frac{X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}}{7 \times 40} + \frac{X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34}}{8 \times 20} \leq 3$$

- Total ketebalan kayu $\geq$ permintaan, dirumuskan:

$$1'' \quad X_{11} + X_{21} + X_{31} \geq 500$$

$$2'' \quad X_{12} + X_{22} + X_{32} \geq 800$$

$$3'' \quad X_{13} + X_{23} \geq 600$$

$$5'' \quad X_{14} \geq 300$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
5	Informasi Pabrik							
			Biaya					
		Kecepatan	produksi	Maximum				
6		(ft/min)	pabrik (Rp	ketebalan				
			/hour)	kayu (ft)				
7	Pabrik1	5	150	60				
8	Pabrik2	7	190	40				
9	Pabrik3	8	225	20				
11	Rencana pabrik kayu (m)							
12		1"	2"	3"	5"	jam kerja produksi	Biaya	
13	Pabrik1	0	0	0	0	0.00	0	
14	Pabrik2	0	0	0		0.00	0	
15	Pabrik3	0	0			0.00	0	
16	Total	0	0	0	0			
17	Permintaan	500	800	600	300			

Gambar 4.19 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 4.19 diketahui bahwa tujuan dan fungsi kendala dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

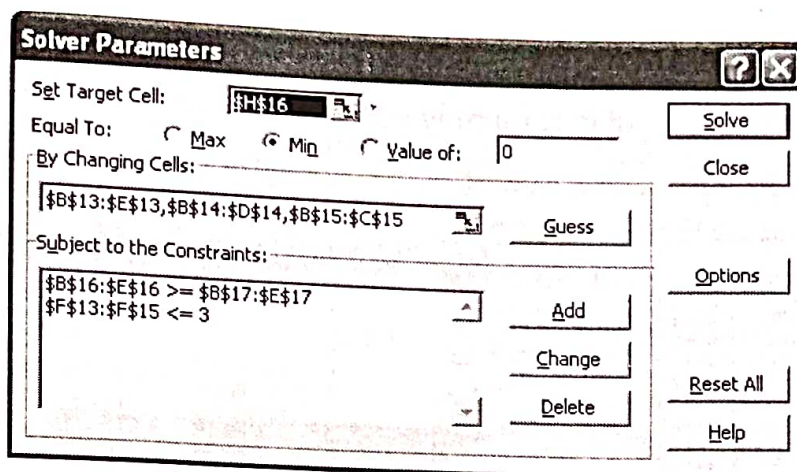
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah kayu yang diproduksi oleh pabrik yang berbeda	B13:E15

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Dikopi ke
Meminimalkan total biaya pabrik kayu, di mana:	H16	=SUM (H13:H15)	-
Biaya Pabrik 1	H13	=C7*SUM(B13:E13)/(B7*60)	=C9*SUM(B15:E15)/(B9*60)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Total jam produksi Pabrik 1	F13	= SUM(B13:E13)/(B7*60)	≤	3
Total jam produksi Pabrik 2	F14	= SUM(B14:D14)/(B8*60)	≤	3
Total jam produksi Pabrik 3	F15	= SUM(B15:C15)/(B9*60)	≤	3
Total produksi ukuran 1"	B16	= SUM(B13:B15)	≥	B17
Total produksi ukuran 2"	C16	= SUM(C13:C15)	≥	C17
Total produksi ukuran 3"	D16	= SUM(D13:D15)	≥	D17
Total produksi ukuran 5"	E16	= SUM(E13:E15)	≥	E17

Setelah memasukkan rumus implementasi, didapat Gambar 4.20 seperti di bawah ini dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya produksi pabrik (cell H16).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang jumlah kayu yang diproduksi oleh pabrik yang berbeda (cell B13:E13, B14:D14, B15:C15).
- Subject to the Constraints adalah kendala yaitu total ketebalan kayu (cell B16:E16) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan (cell B17:E17) dan total jam produksi (cell F13:F15) tidak boleh melebihi jumlah jam produksi yang tersedia, yaitu 3 jam.
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka muncul Solver Parameters di bawah ini:



Gambar 4.20 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 4.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
5	Informasi Pabrik							
		Kecepatan (ft/min)	Biaya produksi pabrik(Rp /hour)	Maximum ketebalan kayu (ft)				
6								
7	Pabrik1	5	150	60				
8	Pabrik2	7	190	40				
9	Pabrik3	8	225	20				
11	Rencana pabrik kayu (ft)							
12		1"	2"	3"	5"	jam kerja produksi	Biaya	
13	Pabrik1	0	0	0	300	1.00	150	
14	Pabrik2	0	660	600		3.00	570	
15	Pabrik3	500	140			1.33	300	
16	Total	500	800	600	300		1020	
17	Permintaan	500	800	600	300			

Gambar 4.21 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Dari Gambar 4.21 di atas, penggilingan kayu memilih Pabrik 2 dengan jumlah kayu untuk ukuran 2" = 660 unit dan ukuran 3" = 600 unit dengan biaya produksi = Rp 570.000,00 serta jam kerja produksi 3 jam, dan Pabrik 3 dengan jumlah kayu untuk ukuran 1" = 500 unit dan 2" = 140 unit dengan biaya produksi = Rp 300,00 x 10000 = Rp 3.000.000,00 serta jam kerja produksi 1.33 jam, Pabrik 1 dengan jumlah kayu untuk ukuran 5" = 300 unit dengan biaya produksi 150 x Rp 10.000,00 = Rp 1.500.000,00 serta jam kerja produksi 1 jam dan total biaya produksi = Rp 1.020,00 x 10000 = Rp 10.200.000,00.

Analisis Sensitivitas

Berikut ini adalah output dari running solver:

	A	B	C	D	E	F	G	H
4								
5								
6		Variabel keputusan						
7								
8		Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease
9	B13	Pabrik1 1"		0	0.03125	0.5	1E+30	0.03125
10	C13	Pabrik1 2"		0	0.03125	0.5	1E+30	0.03125
11	D13	Pabrik1 3"		0	0.03125	0.5	1E+30	0.03125
12	E13	Pabrik1 5"		300	0	0.5	1E+30	0.5
13	B14	Pabrik2 1"		0	0	0.452380952	1E+30	0
14	C14	Pabrik2 2"		660	0	0.452380952	0	0.03125
15	D14	Pabrik2 3"		600	0	0.452380952	0.03125	0.46875
16	B15	Pabrik3 1"		500	0	0.46875	0	0.46875
17	C15	Pabrik3 2"		140	0	0.46875	0.03125	0
18								
19		Kendala						
20								
21		Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease
22	F13	Pabrik1 jam kerja produksi		1.00	0.00	3	1E+30	2
23	F14	Pabrik2 jam kerja produksi		3.00	-6.87	3	0.333333333	1.571428571
24	F15	Pabrik3 jam kerja produksi		1.33	0.00	3	1E+30	1.666666667
25	B16	Total 1"		500	0.46875	500	800	500
26	C16	Total 2"		800	0.46875	800	800	140
27	D16	Total 3"		600	0.46875	600	660	140
28	E16	Total 5"		300	0.5	300	600	300

Gambar 4.22 Hasil analisis sensitivitas

- Kolom cell E9 sampai E17 memuat reduced cost (pembengkakan total biaya produksi pabrik). Misalkan Pabrik 1 dengan ukuran 1" dinaikkan sebanyak x unit (sebelumnya, solusi optimal untuk ukuran kayu 1" di Pabrik 1 bernilai 0), sehingga total jumlah ukuran kayu 1" di Pabrik 1 akan membengkak sebesar $0,03125x$ menjadi Rp $1.020,00 + 0,03125x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D22 sampai D28 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E22 sampai E28 memuat shadow price. Misalnya jam kerja produksi di Pabrik 2 adalah -6.87. Artinya, bila batas jam kerja produksi di Pabrik 2 yang digunakan diturunkan sebesar x jam kerja, solusi optimalnya akan berkurang sebesar $-6.87x$, yaitu Rp $1.020,00 - 6.87x$, di mana pengurangan yang digunakan dibatasi sampai 1.571428571 dari batas jam kerja produksi di Pabrik 2 yang digunakan sebesar 3 jam. Adapun penambahan jam kerja produksi di Pabrik 2 dibatasi sampai 0.333333333 dari batas jam kerja produksi di Pabrik 2 sebesar 3 jam, yaitu maksimal 3.333333333. Demikian juga untuk total ukuran kayu yang ada.

Masalah Potongan Sisa Persediaan

Suatu penggilingan baja menghasilkan lembaran baja dalam 3 ukuran yang berbeda. Bagaimanapun 3 permintaan lainnya adalah ukuran lebih kecil. Bagaimana seharusnya perusahaan memotong lembaran baja dalam pesanan untuk memperkecil pembuangan? Di bawah ini adalah tabel dari masalah potongan sisa persediaan:

Kemungkinan Kombinasi						
	45"sheet	30"sheet	18"sheet	pembuangan lembaran	jumlah lembaran	total pembuangan
1	2	0	0	10	0	0
2	1	1	1	7	0	0
3	1	0	3	1	0	0
4	0	3	0	10	0	0
5	0	2	2	4	0	0
6	0	1	3	16	0	0
7	0	0	5	10	0	0
8	1	1	0	5	0	0
9	0	0	1	17	0	0
10	0	2	1	2	0	0
11	0	1	2	14	0	0
12	0	0	4	8	0	0
13	1	0	0	10	0	0
14	0	1	1	7	0	0
15	0	0	3	1	0	0
Total	7	12	26		Total	0
Pemintaan	150	200	175			

Pemrograman LINIER

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah jumlah waktu yang diperlukan untuk memotong jumlah lembaran baja dengan beberapa cara, dinotasikan X_{ijk} dengan $i = 1, 2, 3, \dots, 15$ dan masing-masing mewakili kemungkinan kombinasi 1, 2, ..., 15; $j = 1, 2, 3$ dan masing-masing mewakili 100"sheet, 80"sheet, 55"sheet serta $k = 1, 2, 3$ dan masing-masing mewakili 45"sheet, 30"sheet, 18"sheet.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan total pembuangan lembaran yaitu mengalikan antara pembuangan lembaran dengan jumlah lembaran yang dirumuskan:

$$10(X_{111})+7(X_{211})+1(X_{311})+10(X_{411})+4(X_{511})+16(X_{611})+10(X_{711})+5(X_{821})+17(X_{921})+2(X_{1021})+14(X_{1121})+8(X_{1221})+10(X_{1331})+7(X_{1431})+1(X_{1531})$$

Kendala

Total lembaran yang dibuat = permintaan, dirumuskan:

Ukuran lembaran 45" sheet

$$(2X_{111}+1X_{211}+1X_{311}+1X_{821}+1X_{921}+1X_{1331}) = 150$$

Ukuran lembaran 30" sheet

$$(1X_{212}+3X_{412}+2X_{512}+1X_{612}+1X_{822}+2X_{1022}+1X_{1122}+1X_{1432}) = 200$$

Ukuran lembaran 18" sheet

$$(1X_{213}+3X_{313}+2X_{513}+3X_{613}+5X_{713}+1X_{923}+1X_{1023}+2X_{1123}+4X_{1223}+1X_{1433}+3X_{1533}) = 175$$

- Lembaran yang digunakan ≥ 0 dan bilangan bulat (0 atau 1)

$$X_{ijk} \geq 0 \text{ atau bilangan bulat}$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
5	Kemungkinan kombinasi								
6			45" sheet	30" sheet	18" sheet	pembuangan (inches)	jumlah lembaran	total pembuangan	
7	1	100" sheet	2	0	0	10	0	0	
8	2		1	1	1	7	0	0	
9	3		1	0	3	1	0	0	
10	4		0	3	0	10	0	0	
11	5		0	2	2	4	0	0	
12	6		0	1	3	16	0	0	
13	7		0	0	5	10	0	0	
14	8	80" sheet	1	1	0	5	0	0	
15	9		1	0	1	17	0	0	
16	10		0	2	1	2	0	0	
17	11		0	1	2	14	0	0	
18	12		0	0	4	8	0	0	
19	13	55" sheet	1	0	0	10	0	0	
20	14		0	1	1	7	0	0	
21	15		0	0	3	1	0	0	
23		Totals	0	0	0		Total	0	
24		permintaan	150	200	175				
25									

Gambar 4.23 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 4.23 diketahui bahwa rumusan tujuan dan fungsi kendala adalah seperti pada tabel di bawah ini:

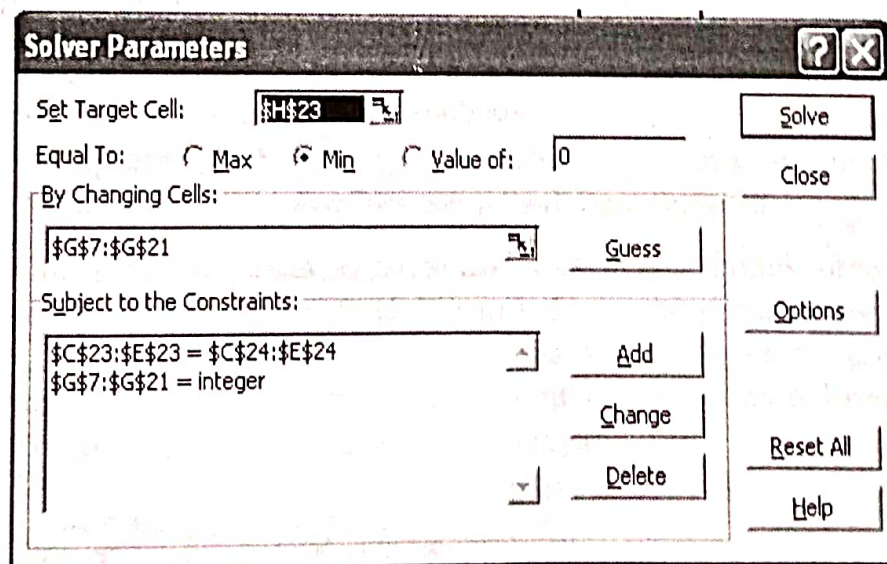
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah waktu yang diperlukan untuk memotong sejumlah lembaran baja dengan beberapa cara	G7:G21

Fungsi Tujuan			
	Cell	Formula	Dikopi ke
Meminimalkan total pembuangan lembaran di mana: Kombinasi 1 pembuangan lembaran	H23 H7	=SUM (H7:H21) =F7*G7	- =F21*G21

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Lembaran 45"sheet	C23	=SUM(C7:C21)	=	C24
Lembaran 30"sheet	D23	=SUM(D7:D21)	=	D24
Lembaran 15"sheet	E23	=SUM(E7:E21)	=	E24

Setelah melakukan implementasi awal dengan Solver di Excel, akan tampil Solver Parameters seperti gambar 4.24 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total pembuangan lembaran (cell H23).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan jumlah waktu yang diperlukan untuk memotong jumlah lembaran baja dengan beberapa cara (cell G7:G21).
- Subject to the Constraints adalah kendala total ukuran lembaran yang dibuat (cell C23:E23) = permintaan (cell C24:E24) dan lembaran yang digunakan ≥ 0 dan bilangan bulat.
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala serta linier dalam solver, akan tampil Solver Parameters berikut:



Gambar 4.24 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah menuliskan rumus implementasi, langkah-langkah selanjutnya sama dengan Gambar 4.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
5	Kemungkinan kombinasi								
6			45" sheet	30" sheet	18" sheet	pembuangan (inches)	jumlah lembaran	total pembuangan	
7	1	100" sheet	2	0	0	10	0	0	
8	2		1	1	1	7	0	0	
9	3		1	0	3	1	42	42	
10	4		0	3	0	10	0	0	
11	5		0	2	2	4	0	0	
12	6		0	1	3	16	0	0	
13	7		0	0	5	10	0	0	
14	8	80" sheet	1	1	0	5	108	540	
15	9		1	0	1	17	0	0	
16	10		0	2	1	2	46	92	
17	11		0	1	2	14	0	0	
18	12		0	0	4	8	0	0	
19	13	55" sheet	1	0	0	10	0	0	
20	14		0	1	1	7	0	0	
21	15		0	0	3	1	1	1	
23		Totals	150	200	175		Total	675	
24		permintaan	150	200	175				
25									

Gambar 4.25 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Dari Gambar 4.25 di atas, maka total pembuangan adalah 675 dan perusahaan memotong lembaran baja dalam pesanan untuk memperkecil pembuangan dengan perincian berikut: kemungkinan jumlah lembaran dan total pembuangan untuk kemungkinan kombinasi 3 = 42 lembar, total pembuangan untuk kemungkinan kombinasi 8 = 540 lembar, kemungkinan kombinasi 10 total pembuangan lembaran = 92 untuk ukuran 80"sheet dan untuk kemungkinan kombinasi 15, jumlah lembaran dan total pembuangan = 1.

-oo0oo-

BAB 5

MASALAH DISTRIBUSI

Dalam masalah distribusi, beberapa penerapan Solver yang penting adalah pada model distribusi atau model jaringan kerja di mana banyak uang dapat dihemat oleh perusahaan per tahun dengan mengaplikasikan pemrograman linier untuk masalah distribusi yang sangat besar.

Dalam Bab 5, dibahas masalah transportasi sederhana dalam Transportasi 1 di mana total biaya pengiriman adalah biaya pengiriman dikalikan dengan jumlah produk yang akan dikirim. Model transportasi tersebut kemudian diperluas menjadi model transportasi 2 dengan menghitung jumlah produk yang dikirim dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko dan gudang ke toko, dan model transportasi 3 yang menghitung jumlah produk yang dikirim dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko dan gudang ke toko ditambah dengan jumlah produk dikirim keluar dari masing-masing pabrik.

Masalah ransel dalam knapsack merupakan sebuah contoh masalah pengangkutan beberapa gas dengan sebuah truk. Masalah berikutnya akan membahas masalah tata letak fasilitas di mana perusahaan memiliki keputusan untuk membuka pabrik baru jika menguntungkan dan menutup pabrik baru jika tidak menguntungkan serta menyimpan uang secara keseluruhan yang tidak jadi digunakan untuk membangun pabrik baru tersebut.

Masalah Prodtran akan membahas kombinasi model produksi dan transportasi di mana jumlah produk yang dibuat bergantung pada pilihan distribusi yang dibuat. Jenis kombinasi ini sering terjadi, tetapi banyak pembuat model yang lebih suka memisahkannya ke dalam model-model yang lebih kecil untuk menyederhanakan masalahnya.

Masalah Transportasi 1

Suatu pabrik ingin memperkecil biaya pengiriman sebuah produk dari 2 pabrik yang berbeda ke 5 toko yang berbeda. Setiap perusahaan memiliki persediaan yang terbatas untuk setiap pelanggan dalam hal permintaan.

Bagaimana seharusnya pabrik menyalurkan produk ke setiap toko untuk memperkecil biaya pengiriman dari setiap pabrik ke setiap toko? Di bawah ini adalah tabel masalah transportasi 1:

Biaya Pengiriman (xRp 10000/produk)		Tujuan					
	Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5		
Pabrik 1	1.75	2.25	1.50	2.00	1.50		
Pabrik 2	2.00	2.50	2.50	1.50	1.00		
Jumlah Pengiriman Produk							
	Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total	Kapasitas
Pabrik 1	0	0	0	0	0	0	60000
Pabrik 2	0	0	0	0	0	0	60000
Total	0	0	0	0	0		
Permintaan	30000	23000	15000	32000	16000		
Total Biaya Pengiriman Produk 0							

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusannya adalah pengiriman jumlah produk dari setiap pabrik ke setiap toko yang dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili Pabrik 1 dan Pabrik 2, $j = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, Toko 2, Toko 3, Toko 4, Toko 5.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah meminimalkan total biaya pengiriman dari setiap pabrik ke setiap toko, yaitu (biaya pengiriman per produk dikalikan jumlah produk yang dikirim) dan dirumuskan seperti di bawah ini (xRp 10.000,00):

$$Z = 1,75X_{11} + 2,25X_{12} + 1,5X_{13} + 2X_{14} + 1,5X_{15} + 2X_{21} + 2,5X_{22} + 2,5X_{23} + 1,5X_{24} + 1X_{25}$$

Kendala

- Pengiriman jumlah produk disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi 0, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{ij} \geq 0, \text{ untuk } i = 1, 2, \text{ dan } j = 1, 2 \dots 5$$

- Total penerimaan produk untuk Toko 1, 2, 3, 4 dan 5 melebihi permintaan jumlah produk yang dirumuskan sebagai berikut:

Permintaan Toko 1: $X_{11} + X_{21} \geq 30000$

Permintaan Toko 2: $X_{12} + X_{22} \geq 23000$

Permintaan Toko 3: $X_{13} + X_{23} \geq 15000$

Permintaan Toko 4: $X_{14} + X_{24} \geq 32000$

Permintaan toko 5: $X_{15} + X_{25} \geq 16000$

- Total pengiriman jumlah produk dari Pabrik 1 dan 2 tidak boleh melebihi kapasitas Pabrik 1 dan 2, dirumuskan sebagai berikut:

Kapasitas Pabrik 1 : $X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} \leq 60000$

Kapasitas Pabrik 2 : $X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} \leq 60000$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
3									
4									
6	Biaya pengiriman								
7		Toko (Penerima)							
8		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5			
9	pabrik 1	1 75	2 25	1 50	2 00	1 50			
10	pabrik 2	2 00	2 50	2 50	1 50	1 00			
12	Jumlah produk yang dikirimkan								
13		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total	Kapasitas	
14	pabrik 1	0	0	0	0	0	0	60,000	
15	pabrik 2	0	0	0	0	0	0	60,000	
16	Total	0	0	0	0	0			
17	Permintaan	30 000	23 000	15 000	32 000	16 000			
19	Total biaya pengiriman	0							
20									

Gambar 5.1 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 5.1, fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

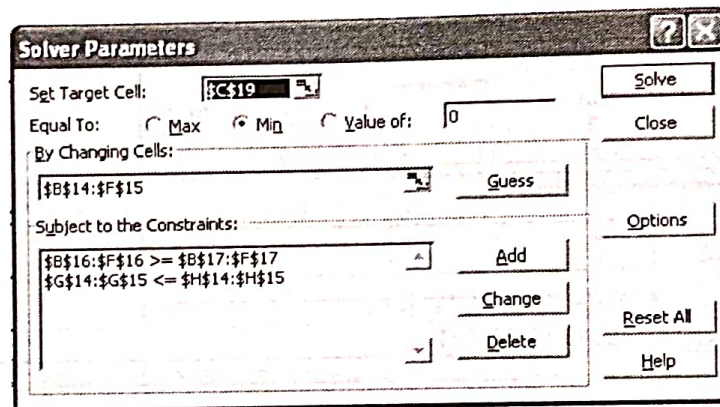
Variabel Keputusan	Cell
Pengiriman jumlah produk dari setiap pabrik ke setiap toko	= (B14:F15)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pengiriman	B19	=SUMPRODUCT(B9:F10,B14:F15)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Dikopi ke	Batas
Total penerimaan produk melebihi permintaan Toko1	B16	=SUM(B14:B15)	$\geq$	B17	=SUM(F14:F15)	F17
Total pengiriman produk tidak boleh melebihi kapasitas Pabrik 1	G14	=SUM(B14:F14)	$\geq$	H14	=SUM(B15:F15)	H15

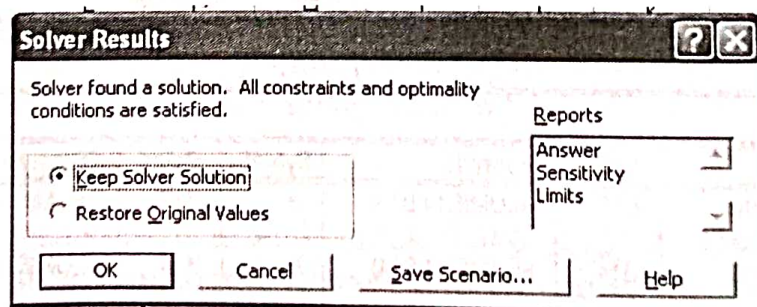
Setelah memasukkan rumus awal, didapat Solver Parameter seperti Gambar 4.2 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman dari setiap pabrik ke setiap toko (cell B19).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan pengiriman jumlah produk dari setiap pabrik ke setiap toko (cell B14:F15).
- Subject to the Constraints adalah kendala total penerimaan produk (cell B16:F16) yang disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan produk (cell B17:F17) dan total jumlah pengiriman produk (cell G14:G15) $\leq$ kapasitas pabrik (cell H14:H15)
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul Solver Parameters berikut:



Gambar 5.2 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah semua fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dimasukkan ke dalam Solver Parameters pada Gambar 5.2, tekan solve sehingga muncul Solver Results. Isi kotak Keep Solver Solution. Pilih **answer** dan tekan OK untuk menemukan jawaban masalah ini yang meliputi fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan.



Gambar 5.3 Solver Results dalam Excel

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	Formula Bar	E	F	G	H	I
3									
4									
6	Biaya pengiriman								
7		<i>tempat tujuan</i>							
8		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5			
9	pabrik 1	1.75	2.25	1.50	2.00	1.50			
10	pabrik 2	2.00	2.50	2.50	1.50	1.00			
12	Jumlah produk yang dikirimkan								
13		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total	Kapasitas	
14	pabrik 1	0	0	12,000	32,000	16,000	60,000	60,000	
15	pabrik 2	30,000	23,000	3,000	0	0	56,000	60,000	
16	Total	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000			
17	Permintaan	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000			
19	Total biaya pengiriman		231,000						
20									

Gambar 5.4 Tampilan akhir dalam Excel

Dari Gambar 5.4 di atas, Pabrik 1 seharusnya menyalurkan produk ke Toko 3 = 12000, Toko 4 = 32000 dan Toko 5 = 16000 dengan total jumlah produk = 60000 dan Pabrik 2 menyalurkan produk ke Toko 1 = 30000, Toko 2 = 23000 dan Toko 3 = 3000 dengan total jumlah produk di Pabrik 1 dan Pabrik 2 masing-masing sebesar 60000 unit dan 56000 unit serta total biaya pengiriman sebesar Rp 231.000,00.

Analisis Sensitivitas

Gambar di bawah ini adalah hasil output running solver, yaitu:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Variabel keputusan			Final	Reduced	Objective	Allowable	Allowable	
2	Cell	Name		Value	Cost	Coefficient	Increase	Decrease	
3	B14	Pabrik 1 toko1		0	0	0	1E+30	0	
4	C14	Pabrik 1 toko 2		12,000	0	0	0	0	
5	D14	Pabrik 1 toko3		0	0	0	1E+30	0	
6	E14	Pabrik 1 toko 4		32,000	0	0	0	0	
7	F14	Pabrik 1 toko 5		16,000	0	0	0	0	
8	B15	Pabrik 2 toko 1		30,000	0	0	0	0	
9	C15	Pabrik 2 toko 2		11,000	0	0	0	0	
10	D15	Pabrik 2 toko 3		15,000	0	0	0	0	
11	E15	Pabrik 2 toko 4		0	0	0	1E+30	0	
12	F15	Pabrik 2 toko 5		0	0	0	1E+30	0	
13	Kendala			Final	Shadow	Constraint	Allowable	Allowable	
14	Cell	Name		Value	Price	R.H. Side	Increase	Decrease	
15	B16	Total toko 1		30,000	0	30000	3999.999996	30000	
16	C16	Total toko 2		23,000	0	23000	4000.000011	10999.99983	
17	D16	Total toko 3		15,000	0	15000	3999.999996	15000	
18	E16	Total toko 4		32,000	0	32000	4000.000025	10999.99987	
19	F16	Total toko 5		16,000	0	16000	4000.000025	10999.99987	
20	G14	Total pabrik 1		60,000	0	60000	10999.99983	4000.000011	
21	G15	Total pabrik 2		56,000	0	60000	1E+30	4000.000011	
22									

Gambar 5.5 Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- ## Masalah Transportasi 2

Biaya pengiriman (xRp10.000,00/produk)							
Tujuan							
	Gudang 1	Gudang 2	Gudang 3	Gudang 4	Total		
Pabrik 1	0.50	0.50	1.00	0.20	35000		
Pabrik 2	1.50	0.30	0.50	0.20	56000		
Kapasitas	45000	20000	30000	15000			

	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Toko 5	Total	Kapasitas Pabrik
Pabrik1	1.75	2.50	1.50	2.00	1.50	25000	60000
Pabrik2	2.00	2.50	2.50	1.50	1.00	0	60000

	Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total
Gudang1	1.50	1.50	0.50	1.50	3.00	45000
Gudang2	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	20000
Gudang3	1.00	1.50	2.00	2.00	0.50	11000
Gudang4	2.50	1.50	0.20	1.50	0.50	15000
Permintaan	30000	23000	5000	32000	16000	

Total Biaya Pengiriman	0
------------------------	---

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

- Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke- i ke gudang ke- j yang dinotasikan dengan X_{ij} , di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili Pabrik 1 dan Pabrik 2 dan $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, Gudang 2, Gudang 3 dan Gudang 4.
- Jumlah pengiriman produk dari pabrik i ke toko k yang dinotasikan dengan Y_{ik} di mana $i = 1, 2$, masing-masing mewakili Pabrik 1 dan Pabrik 2 dan $k = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, Toko 2, Toko 3, Toko 4, dan Toko 5.
- Jumlah pengiriman produk dari gudang j ke toko k yang dinotasikan dengan Z_{jk} , di mana $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, Gudang 2, Gudang 3 dan Gudang 4 dan $k = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, Toko 2, Toko 3, Toko 4 dan Toko 5.

Kendala

- Dari pabrik i ke gudang j , pabrik i ke toko k , gudang j ke toko k disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi 0 yang dirumuskan seperti di bawah ini:

$$X_{ij} \geq 0, Y_{ik} \geq 0, Z_{jk} \geq 0$$

- Total pengiriman produk dari pabrik i tidak boleh melebihi kapasitas setiap pabrik, yang dirumuskan sebagai berikut:

Kapasitas Pabrik 1:

$$(X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}) + (Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} + Y_{15}) \leq 60000$$

Kapasitas Pabrik 2:

$$(X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}) + (Y_{21} + Y_{22} + Y_{23} + Y_{24} + Y_{25}) \leq 60000$$

- Total pengiriman produk ke toko k disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan tiap toko, yang dirumuskan:

$$\text{Permintaan Toko 1: } (Y_{11} + Y_{21}) + (Z_{11} + Z_{21} + Z_{31} + Z_{41}) \geq 30000$$

$$\text{Permintaan Toko 2: } (Y_{12} + Y_{22}) + (Z_{12} + Z_{22} + Z_{32} + Z_{42}) \geq 23000$$

$$\text{Permintaan Toko 3: } (Y_{13} + Y_{23}) + (Z_{13} + Z_{23} + Z_{33} + Z_{43}) \geq 15000$$

Permintaan Toko 4: $(Y_{14}+Y_{24})+(Z_{14}+Z_{24}+Z_{34}+Z_{44})\geq 32000$

Permintaan Toko 5: $(Y_{15}+Y_{25})+(Z_{15}+Z_{25}+Z_{35}+Z_{45})\geq 16000$

- Total pengiriman produk ke gudang j tidak boleh melebihi kapasitas setiap gudang, yang dirumuskan:

Kapasitas Gudang 1: $X_{11}+X_{21}\leq 45000$

Kapasitas Gudang 2: $X_{12}+X_{22}\leq 20000$

Kapasitas Gudang 3: $X_{13}+X_{23}\leq 30000$

Kapasitas Gudang 4: $X_{14}+X_{24}\leq 15000$

- Total pengiriman produk ke gudang ke-j yang masuk = total gudang ke-j yang keluar, yang dirumuskan:

Gudang 1 $X_{11}+X_{21}=Z_{11}+Z_{12}+Z_{13}+Z_{14}+Z_{15}$

Gudang 2 $X_{12}+X_{22}=Z_{21}+Z_{22}+Z_{23}+Z_{24}+Z_{25}$

Gudang 3 $X_{13}+X_{23}=Z_{31}+Z_{32}+Z_{33}+Z_{34}+Z_{35}$

Gudang 4 $X_{14}+X_{24}=Z_{41}+Z_{42}+Z_{43}+Z_{44}+Z_{45}$

- Fungsi tujuannya adalah meminimalkan total biaya pengiriman yaitu dengan mengalikan biaya pengiriman dari pabrik ke gudang, pabrik ke pelanggan dan gudang ke pelanggan yang dirumuskan seperti di bawah ini:

$Z_{\text{total}}=0.5X_{11}+0.5X_{12}+1X_{13}+0.2X_{14}+1.5X_{21}+0.3X_{22}+0.5$

$+0.2X_{24}+1.75Y_{11}+2.5Y_{12}+1.5Y_{13}+2Y_{14}+1.5Y_{15}+2Y_{21}+2.5Y_{22}+2.5Y_{23}$

$+1.5Y_{24}+1Y_{25}+1.5Z_{11}+1.5Z_{12}+0.5Z_{13}+1.5Z_{14}+3Z_{15}+1Z_{21}+0.5Z_{22}+$

$0.5Z_{23}+1Z_{24}+0.5Z_{25}+1Z_{31}+1.5Z_{32}+2Z_{33}+2Z_{34}+0.5Z_{35}+2.5Z_{41}+1.5Z_{42}+0.2Z_{43}$
 $+1.5Z_{44}+0.5Z_{45}$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
48	Biaya pengiriman								
49									
50		<i>(Rp.130)</i>							
51		gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4				
52	pabrik 1	0.50	0.50	1.00	0.20				
53	pabrik 2	1.50	0.30	0.50	0.20				
54		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5			
55	pabrik 1	1.75	2.50	1.50	2.00	1.50			
56	pabrik 2	2.00	2.50	2.50	1.50	1.00			
58		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5			
59	gudang 1	1.50	1.50	0.50	1.50	3.00			
60	gudang 2	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50			
61	gudang 3	1.00	1.50	2.00	2.00	0.50			
62	gudang 4	2.50	1.50	0.20	1.50	0.50			
64	jumlah produk yang dikirim								
65		gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4	Total			
66	pabrik 1	0	0	0	0	0			
67	pabrik 2	0	0	0	0	0			
68	Total	0	0	0	0				
69	Kapasitas	45,000	20,000	30,000	15,000				
71		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total		
72	pabrik 1	0	0	0	0	0	0	kapasitas	
73	pabrik 2	0	0	0	0	0	0	pabrik	
74		total produk yang dikirim keluar ke pabrik 1					0		60,000
75		Total produk yang dikirim keluar ke pabrik 2					0		60,000
77		toko1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total		
78	gudang 1	0	0	0	0	0	0		
79	gudang 2	0	0	0	0	0	0		
80	gudang 3	0	0	0	0	0	0		
81	gudang 4	0	0	0	0	0	0		
82	Total	0	0	0	0	0			
83	Permintaan	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000			
85	Total biaya pengiriman								
86									

Gambar 5.6 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 5.6, dirumuskan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke gudang	=(B66:E67)
Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke toko	=(B72:F73)
Jumlah pengiriman produk dari gudang ke toko	=(B78:F81)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pengiriman	C85	=SUMPRODUCT(B51:E52,B66:E67)+SUMPRODUCT(B55:F56,B72:F73)+SUMPRODUCT(B59:F62,B78:F81)

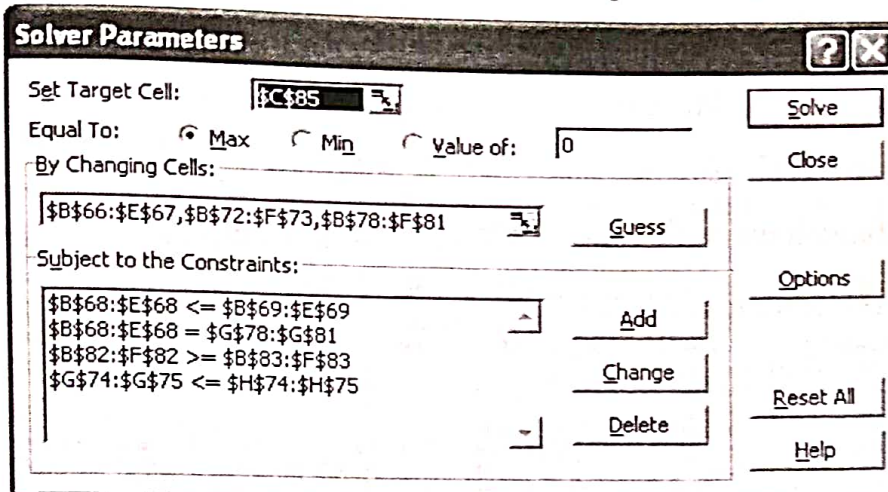
Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopl	Dikopi ke	Batas Kopl
Total pengiriman produk dari Pabrik 1 tidak boleh melebihi kapasitas Pabrik 1	G74	=SUM(B66:E66) +SUM(B72:E72)	≤	H74	G75	=SUM(B67:E67) +SUM(B73:E73)	H75
Total pengiriman produk ke Toko 1 disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan Toko 1	B82	=SUM(B72:B73) +SUM(B78:B81)	≥	B83	F82	=Sum(F72:F73) +Sum(F78:F81)	F83
Total pengiriman produk ke Gudang 1 tidak melebihi kapasitas Gudang 1	B68	=SUM(B66:B67)	≤	B69	E68	=Sum(F66:F67)	E69
Total pengiriman produk ke Gudang 1 yang masuk = yang keluar	B68	=SUM(B66:B67)	=	G78=SUM(B78:F78)	E68	=Sum(E66:E67)	G81

Setelah memasukkan rumus implementasi, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 5.7 dengan keterangan sebagai berikut:

Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman produk dari setiap pabrik ke setiap gudang (cell B51:E52, B66:E67), setiap pabrik ke setiap toko (cell B55:F56, B72:F73) dan setiap toko ke setiap gudang (cell B59:F62, B78:F81).

- By Changing Cells adalah variabel keputusan pengiriman jumlah produk dari setiap pabrik ke setiap gudang (cell B66:E67), dari setiap pabrik ke setiap toko (cell B72:F73) dan setiap gudang ke setiap toko (cell B78:F81).
- Subject to the Constraints adalah kendala yaitu total pengiriman produk dari pabrik ke-i (cell G74:G75) tidak boleh melebihi kapasitas setiap pabrik (cell H74:H75), total pengiriman produk ke toko k (cell B82:F82) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan tiap toko (cell B83:F83), total pengiriman produk ke gudang j (cell B68:E68) tidak boleh melebihi kapasitas setiap gudang (cell B69:E69), total pengiriman produk ke gudang j yang masuk (cell B68:E68) = total gudang j yang keluar (cell G78:G81).

- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam Solver serta memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul Solver Parameters seperti di bawah ini:



Gambar 5.7 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 5.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
48	Biaya pengiriman								
49		tujuan							
50		gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4				
51	pabrik 1	0.50	0.50	1.00	0.20				
52	pabrik 2	1.50	0.30	0.50	0.20				
54		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5			
55	pabrik 1	1.75	2.50	1.50	2.00	1.50			
56	pabrik 2	2.00	2.50	2.50	1.50	1.00			
58		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5			
59	gudang 1	1.50	1.50	0.50	1.50	3.00			
60	gudang 2	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50			
61	gudang 3	1.00	1.50	2.00	2.00	0.50			
62	gudang 4	2.50	1.50	0.20	1.50	0.50			
64	jumlah produk yang dikirim								
65		gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4	Total			
66	pabrik 1	0	0	30,000	0	30,000			
67	pabrik 2	0	0	0	0	0			
68	Total	0	0	30,000	0				
69	Kapasitas	45,000	20,000	30,000	15,000				
71		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total		
72	pabrik 1	30,000	0	0	0	0	30,000		
73	pabrik 2	0	0	60,000	0	0	60,000		
74		total produk yang dikirim keluar ke pabrik 1					60,000	60,000	
75		Total produk yang dikirim keluar ke pabrik 2					60,000	60,000	
77		toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total		
78	gudang 1	0	0	0	0	16,000	0		
79	gudang 2	0	0	0	0	0	0		
80	gudang 3	0	0	30,000	0	0	30,000		
81	gudang 4	0	23,000	0	32,000	0	0		
82	Total	30,000	23,000	90,000	32,000	16,000			
83	Permintaan	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000			
85	Total biaya pengiriman		423,000						
86									

Gambar 5.8 Tampilan solusi akhir dalam Excel

Berdasarkan Gambar 5.8, jumlah produk yang dikirim dari Pabrik 1 ke Gudang 3 = 30.000 unit, jumlah produk yang dikirimkan dari Pabrik 1 ke Toko 1 = 30.000 unit, Pabrik 2 ke Toko 3 = 60.000 unit, dan Gudang 1 ke Toko 5 = 16.000 unit, Gudang 3 ke Toko 3 = 30.000 unit, Gudang 4 ke Toko 2 = 23.000 unit dan Toko 4 = 32.000 unit dengan total biaya pengiriman = Rp 423.000,00.

Analisis Sensitivitas

Gambar di bawah ini adalah hasil output running solver, yaitu:

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Venebel keputusan							
7								
8	Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
9	B66	Pabrik1Gudang1	3,000	0	0.5	0.249999965	0.050000002	
10	C66	Pabrik1gudang2	20,000	0	0.5	0.049999995	1E+30	
11	D66	Pabrik1gudang3	0	0	1.000000018	1E+30	0.250000036	
12	E66	Pabrik1 gudang4	15,000	0	0.2	0.249999983	1E+30	
13	B67	Pabrik2gudang1	0	1	1.5	1E+30	1.249999981	
14	C67	Pabrik2gudang2	0	0	0.300000014	1E+30	0.049999995	
15	D67	Pabrik2gudang3	12,000	0	0.5	0.049999995	0	
16	E67	Pabrik2gudang4	0	0	0.200000001	1E+30	0.249999983	
17	B72	Pabrik1toko1	18,000	0	1.75	0.050000002	0.049999995	
18	C72	Pabrik1toko2	0	0	2.5	1E+30	0.5	
19	D72	Pabrik1toko3	0	1	1.5	1E+30	0.550000019	
20	E72	Pabrik1toko4	0	0	2	1E+30	0.250000018	
21	F72	Pabrik1toko5	0	0	1.5	1E+30	0.250000018	
22	B73	Pabrik2toko1	0	0	2	1E+30	0.499999982	
23	C73	Pabrik2toko2	0	1	2.5	1E+30	0.749999981	
24	D73	Pabrik2toko3	0	2	2.5	1E+30	1.8	
25	E73	Pabrik2toko4	32,000	0	1.5	0.250000018	1.749999982	
26	F73	Pabrik2toko5	16,000	0	1	0	0.249999998	
27	B78	Gudang1toko1	0	0	1.499999998	1E+30	0.249999999	
28	C78	Gudang1toko2	3,000	0	1.5	0.249999965	0.750000006	
29	D78	Gudang1toko3	0	0	0.5	1E+30	0.050000002	
30	E78	Gudang1toko4	0	0	1.5	1E+30	0.250000019	
31	F78	Gudang1toko5	0	2	3	1E+30	2.250000019	
32	B79	Gudang2toko1	0	1	1	1E+30	0.750000006	
33	C79	Gudang2toko2	20,000	0	0.499999995	0.750000006	1E+30	
34	D79	Gudang2toko3	0	1	0.499999995	1E+30	1.050000019	
35	E79	Gudang2toko4	0	1	1.000000018	1E+30	0.750000042	
36	F79	Gudang2toko5	0	1	0.499999995	1E+30	0.750000019	
37	B80	Gudang3toko1	12,000	0	1.000000018	0.049999995	0.050000002	
38	C80	Gudang3toko2	0	0	1.499999984	1E+30	0.249999965	
39	D80	Gudang3toko3	0	2	2.000000008	1E+30	1.800000008	
40	E80	Gudang3toko4	0	1	2.000000008	1E+30	1.000000007	
41	F80	Gudang3toko5	0	0	0.5	1E+30	0	
42	B81	Gudang4toko1	0	1	2.499999999	1E+30	1.499999981	
43	C81	Gudang4toko2	0	0	1.499999998	1E+30	0.249999998	
44	D81	Gudang4toko3	15,000	0	0.2	0.050000002	0.949999981	
45	E81	Gudang4toko4	0	0	1.499999998	1E+30	0.499999998	
46	F81	Gudang4toko5	0	0	0.5	0.249999998	0.050000002	
48	Kendala							
49								
50	Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease	
51	G74	total produk dikirim dari pabrik1	56,000	0	60000	1E+30	4000.0000002	
52	G75	total produk dikirim dari pabrik2	60,000	0	60000	18000	4000.0000002	
53	B82	total toko1	30,000	2	30000	4000.0000002	18000	
54	C82	total toko2	23,000	2	23000	4000.0000005	3000	
55	D82	total toko3	15,000	1	15000	0	15000	
56	E82	total toko4	32,000	2	32000	4000.0000002	18000	
57	F82	total toko5	16,000	1	16000	4000.0000002	16000	
58	B68	total gudang1	3,000	0	45000	1E+30	42000	
59	C68	total gudang2	20,000	-1	20000	3000	20000	
60	D68	total gudang3	12,000	0	30000	1E+30	18000	
61	E68	total gudang4	15,000	-1	15000	16000	0	
62	G78	total gudang1	3,000	1	0	4000.0000005	3000	
63	G79	total gudang2	20,000	2	0	4000.0000005	3000	
64	G80	total gudang3	12,000	1	0	4000.0000002	18000	
65	G81	total gudang4	15,000	1	0	0	16000	

Gambar 5.9 Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- Dari Gambar 5.9, kolom E9 sampai E46 terjadi reduce cost (pembengkakan biaya) pada jumlah produk yang dikirimkan dari Pabrik 2 ke Gudang 1 (kolom E13), misalnya Pabrik 1 menaikkan jumlah produk yang dikirimkan sebesar x unit (sebelumnya dalam solusi optimalnya untuk jumlah produk yang dikirimkan bernilai 0) sehingga total jumlah produksi yang dikirimkan akan membengkak sebanyak $1x$ menjadi Rp 423.000,00+ $1x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D51 sampai D65 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E51 sampai E65 memuat shadow price dan terjadi kenaikan jumlah produk yang dikirimkan untuk Toko 1 sebesar 2 unit sehingga solusi optimalnya menjadi Rp 423.000,00 + $2X$, dengan pengurangan jumlah produksi yang dikirimkan oleh Toko 1 dibatasi sampai 18.000 unit dari batas jumlah produk yang dikirimkan sebesar 30.000 unit, sedangkan penambahan jumlah produk yang dikirimkan dibatasi sampai 4.000 unit dari batas total jumlah produk yang dikirimkan sebesar 30.000 unit, yaitu maksimal 34.000 unit. Demikian juga untuk batas jumlah produk yang dikirimkan selain untuk Toko 1.

Masalah Transportasi Level 3

Masalah transportasi 3 merupakan pengembangan dari masalah transportasi 2. Bagaimana seharusnya perusahaan menyalurkan 3 hasil produk untuk memperkecil biaya pengiriman dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko, dan gudang ke toko, dengan memperhatikan kapasitas pabrik dan kapasitas gudang? Di bawah ini adalah tabel masalah transportasi 3:

- Dari Gambar 5.9, kolom E9 sampai E46 terjadi reduce cost (pembengkakan biaya) pada jumlah produk yang dikirimkan dari Pabrik 2 ke Gudang 1 (kolom E13), misalnya Pabrik 1 menaikkan jumlah produk yang dikirimkan sebesar x unit (sebelumnya dalam solusi optimalnya untuk jumlah produk yang dikirimkan bernilai 0) sehingga total jumlah produksi yang dikirimkan akan membengkak sebanyak $1x$ menjadi Rp 423.000,00 + $1x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D51 sampai D65 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E51 sampai E65 memuat shadow price dan terjadi kenaikan jumlah produk yang dikirimkan untuk Toko 1 sebesar 2 unit sehingga solusi optimalnya menjadi Rp 423.000,00 + $2X$, dengan pengurangan jumlah produksi yang dikirimkan oleh Toko 1 dibatasi sampai 18.000 unit dari batas jumlah produk yang dikirimkan sebesar 30.000 unit, sedangkan penambahan jumlah produk yang dikirimkan dibatasi sampai 4.000 unit dari batas total jumlah produk yang dikirimkan sebesar 30.000 unit, yaitu maksimal 34.000 unit. Demikian juga untuk batas jumlah produk yang dikirimkan selain untuk Toko 1.

Masalah Transportasi Level 3

Masalah transportasi 3 merupakan pengembangan dari masalah transportasi 2. Bagaimana seharusnya perusahaan menyalurkan 3 hasil produk untuk memperkecil biaya pengiriman dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko, dan gudang ke toko, dengan memperhatikan kapasitas pabrik dan kapasitas gudang? Di bawah ini adalah tabel masalah transportasi 3:

Biaya pengiriman (xRp 10.000/produk)		Tujuan			
		Gudang 1	Gudang 2	Gudang 3	Gudang 4
Pabrik1	Produk1	0,50	0,50	1,00	0,20
	Produk2	1,00	0,75	1,25	1,25
	Produk3	0,75	1,25	1,00	0,80
Pabrik 2	Produk1	1,50	0,30	0,50	0,20
	Produk2	1,25	0,80	1,00	0,75
	Produk3	1,40	0,90	0,95	1,10
Kapasitas gudang	Produk1	35.000	20.000	35.000	15.000
	Produk2	30.000	25.000	15.000	24.000
	Produk3	20.000	20.000	25.000	20.000

		Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Toko 5	Kapasitas pabrik
Pabrik 1	Produk1	2,75	3,50	2,50	3,00	2,50	90.000
	Produk2	2,50	3,00	2,00	2,75	2,60	100.000
	Produk3	2,90	3,00	2,25	2,80	2,35	80.000
Pabrik 2	Produk1	3,00	3,50	3,50	2,50	2,00	75.000
	Produk2	2,25	2,95	2,20	2,50	2,10	65.000
	Produk3	2,45	2,75	2,35	2,85	2,45	90.000

		Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5
Gudang1	Produk1	1,50	0,80	0,50	1,50	3,00
	Produk2	1,00	0,90	1,20	1,30	2,10
	Produk 3	1,25	0,70	1,10	0,80	1,60
Gudang2	Produk1	1,00	0,50	0,50	1,00	0,50
	Produk2	1,25	1,00	1,00	0,90	1,50
	Produk 3	1,10	1,10	0,90	1,40	1,75
Gudang3	Produk1	1,00	1,50	2,00	2,00	0,50
	Produk2	0,90	1,35	1,45	1,80	1,00
	Produk 3	1,25	1,20	1,75	1,70	0,85
Gudang4	Produk1	2,50	1,50	0,60	1,50	0,50
	Produk2	1,75	1,30	0,70	1,25	1,10
	Produk 3	1,50	1,10	1,50	1,10	0,90
Permintaan	Produk1	30000	23000	15000	32000	16000
	Produk2	20000	15000	22000	12000	18000
	Produk3	25000	22000	16000	20000	25000

Total biaya pengiriman		0			
------------------------	--	---	--	--	--

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Cara penyelesaian masalah transportasi 3 tak jauh berbeda dengan masalah transportasi 2. Variabel keputusan dan kendala yang digunakan masih sama seperti dalam masalah transportasi 2, kecuali tambahan 1 variabel keputusan yaitu produk.

Variabel Keputusan

- jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik i sampai ke gudang k , dengan Produk 1 sampai Produk 3 dinotasikan dengan j yang dinotasikan dengan X_{ijk} , di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili Pabrik 1 dan Pabrik 2, $k = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, Gudang 2, Gudang 3, Gudang 4 dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, Produk 2 dan Produk 3.
- Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik i dengan Produk 1 sampai Produk 3 dinotasikan dengan j untuk toko l yang dinotasikan dengan Y_{ijl} , di mana $i = 1, 2$ yang masing-masing mewakili Pabrik 1 dan Pabrik 2; $l = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, Toko 2, Toko 3, Toko 4, Toko 5; $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, Produk 2 dan Produk 3.
- Jumlah produk yang dikirimkan dari gudang k dengan produk j untuk toko l yang dinotasikan dengan Z_{kjl} , di mana $k = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, Gudang 2, Gudang 3, Gudang 4; $l = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, Toko 2, Toko 3, Toko 4 dan Toko 5; dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, Produk 2, Produk 3.

Kendala

- Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik i untuk gudang j , pabrik i untuk toko k dan gudang j untuk toko k dirumuskan seperti di bawah ini:

$$X_{ij}, Y_{ik}, Z_{jk} \geq 0$$

- Total jumlah produk yang dikirimkan ke gudang tidak boleh melebihi kapasitas gudang, yang dirumuskan sebagai berikut:

Produk 1 dan Gudang 1:

$$(X_{111} + X_{211}) \leq 35000$$

Produk 2 dan Gudang 1:

$$(X_{121} + X_{221}) \leq 300000$$

Produk 3 dan Gudang 1:

$$(X_{131} + X_{231}) \leq 20000$$

Produk 1 dan Gudang 2:

$$(X_{112} + X_{212}) \leq 20000$$

Produk 2 dan Gudang 2:

$$(X_{122}+X_{222}) \leq 25000$$

Produk 3 dan Gudang 2:

$$(X_{132}+X_{232}) \leq 20000$$

Produk 1 dan Gudang 3:

$$(X_{113}+X_{213}) \leq 30000$$

Produk 2 dan Gudang 3:

$$(X_{123}+X_{223}) \leq 15000$$

Produk 3 dan Gudang 3:

$$(X_{133}+X_{233}) \leq 25000$$

Produk 1 dan Gudang 4:

$$(X_{114}+X_{214}) \leq 15000$$

Produk 2 dan Gudang 4:

$$(X_{124}+X_{224}) \leq 24000$$

Produk 3 dan Gudang 4:

$$(X_{134}+X_{234}) \leq 20000$$

- Total produk yang dikirimkan dari pabrik tidak boleh melebihi kapasitas pabrik, yang dirumuskan:

Pabrik 1 Produk 1:

$$(X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114})+(Y_{111}+Y_{112}+Y_{113}+Y_{114}+Y_{115}) \leq 90000$$

Pabrik 1 Produk 2:

$$(X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124})+(Y_{121}+Y_{122}+Y_{123}+Y_{124}+Y_{125}) \leq 100000$$

Pabrik 1 Produk 3:

$$(X_{131}+X_{132}+X_{133}+X_{134})+(Y_{131}+Y_{132}+Y_{133}+Y_{134}+Y_{135}) \leq 80000$$

Pabrik 2 Produk 1:

$$(X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214})+(Y_{211}+Y_{212}+Y_{213}+Y_{214}+Y_{215}) \leq 75000$$

Pabrik 2 Produk 2:

$$(X_{221}+X_{222}+X_{223}+X_{224})+(Y_{221}+Y_{222}+Y_{223}+Y_{224}+Y_{225}) \leq 65000$$

Pabrik 2 Produk 3:

$$(X_{231}+X_{232}+X_{233}+X_{234})+(Y_{231}+Y_{232}+Y_{233}+Y_{234}+Y_{235}) \leq 90000$$

- Total jumlah pengiriman produk ke toko disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan, yang dirumuskan:

$$\text{Produk 1 Toko 1: } (Z_{111} + Z_{211} + Z_{311} + Z_{411}) \geq 30000$$

$$\text{Produk 2 Toko 1: } (Z_{121} + Z_{221} + Z_{321} + Z_{421}) \geq 20000$$

$$\text{Produk 3 Toko 1: } (Z_{131} + Z_{231} + Z_{331} + Z_{431}) \geq 25000$$

$$\text{Produk 1 Toko 2: } (Z_{112} + Z_{212} + Z_{312} + Z_{412}) \geq 23000$$

$$\text{Produk 2 Toko 2: } (Z_{122} + Z_{222} + Z_{322} + Z_{422}) \geq 15000$$

$$\text{Produk 3 Toko 2: } (Z_{132} + Z_{232} + Z_{332} + Z_{432}) \geq 22000$$

$$\text{Produk 1 Toko 3: } (Z_{113} + Z_{213} + Z_{313} + Z_{413}) \geq 15000$$

$$\text{Produk 2 Toko 3: } (Z_{123} + Z_{223} + Z_{323} + Z_{423}) \geq 22000$$

$$\text{Produk 3 Toko 3: } (Z_{133} + Z_{233} + Z_{333} + Z_{433}) \geq 16000$$

$$\text{Produk 1 Toko 4: } (Z_{114} + Z_{214} + Z_{314} + Z_{414}) \geq 32000$$

$$\text{Produk 2 Toko 4: } (Z_{124} + Z_{224} + Z_{324} + Z_{424}) \geq 12000$$

$$\text{Produk 3 Toko 4: } (Z_{134} + Z_{234} + Z_{334} + Z_{434}) \geq 20000$$

$$\text{Produk 1 Toko 5: } (Z_{115} + Z_{215} + Z_{315} + Z_{415}) \geq 16000$$

$$\text{Produk 2 Toko 5: } (Z_{125} + Z_{225} + Z_{325} + Z_{425}) \geq 18000$$

$$\text{Produk 3 Toko 5: } (Z_{135} + Z_{235} + Z_{335} + Z_{435}) \geq 25000$$

- Total jumlah pengiriman produk ke gudang yang masuk = total jumlah pengiriman produk ke gudang yang keluar, dirumuskan:

$$\text{Gudang 1 Produk 1: } X_{111} + X_{211} = (Z_{111} + Z_{112} + Z_{113} + Z_{114} + Z_{115})$$

$$\text{Gudang 1 Produk 2: } X_{121} + X_{221} = (Z_{121} + Z_{122} + Z_{123} + Z_{124} + Z_{125})$$

$$\text{Gudang 1 Produk 3: } X_{131} + X_{231} = (Z_{131} + Z_{132} + Z_{133} + Z_{134} + Z_{135})$$

$$\text{Gudang 2 Produk 1: } X_{112} + X_{212} = (Z_{211} + Z_{212} + Z_{213} + Z_{214} + Z_{215})$$

$$\text{Gudang 2 Produk 2: } X_{122} + X_{222} = (Z_{221} + Z_{222} + Z_{223} + Z_{224} + Z_{225})$$

$$\text{Gudang 2 Produk 3: } X_{132} + X_{232} = (Z_{231} + Z_{232} + Z_{233} + Z_{234} + Z_{235})$$

$$\text{Gudang 3 Produk 1: } X_{113} + X_{213} = (Z_{311} + Z_{312} + Z_{313} + Z_{314} + Z_{315})$$

$$\text{Gudang 3 Produk 2: } X_{123} + X_{223} = (Z_{321} + Z_{322} + Z_{323} + Z_{324} + Z_{325})$$

$$\text{Gudang 3 Produk 3: } X_{133} + X_{233} = (Z_{331} + Z_{332} + Z_{333} + Z_{334} + Z_{335})$$

$$\text{Gudang 4 Produk 1: } X_{114} + X_{214} = (Z_{411} + Z_{412} + Z_{413} + Z_{414} + Z_{415})$$

$$\text{Gudang 4 Produk 2: } X_{124} + X_{224} = (Z_{421} + Z_{422} + Z_{423} + Z_{424} + Z_{425})$$

$$\text{Gudang 4 Produk 3: } X_{134} + X_{234} = (Z_{431} + Z_{432} + Z_{433} + Z_{434} + Z_{435})$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah meminimalkan biaya pengiriman, yaitu mengalikan biaya pengiriman produk dengan jumlah pengiriman produk (pabrik ke gudang, pabrik ke pelanggan dan gudang ke toko) yang dirumuskan seperti di bawah ini:

minimalkan:

$$(0,5X_{111} + 0,5X_{112} + \dots + 1,10X_{234}) + (2,75Y_{111} + 3,5Y_{112} + \dots + 2,45Y_{235}) + (1,50Z_{111} + 0,80Z_{112} + \dots + 0,90Z_{435})$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7	biaya pengiriman								
8			biaya/turunan						
9			gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4			
10	pabrik 1	produk 1	0.50	0.50	1.00	0.20			
11		produk 2	1.00	0.75	1.25	1.25			
12		produk 3	0.75	1.25	1.00	0.80			
13	pabrik 2	produk 1	1.50	0.30	0.50	0.20			
14		produk 2	1.25	0.80	1.00	0.75			
15		produk 3	1.40	0.90	0.95	1.10			
16									
17			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5		
18	pabrik 1	produk 1	2.75	3.50	2.50	3.00	2.50		
19		produk 2	2.50	3.00	2.00	2.75	2.60		
20		produk 3	2.90	3.00	2.25	2.80	2.35		
21	pabrik 2	produk 1	3.00	3.50	3.50	2.50	2.00		
22		produk 2	2.25	2.95	2.20	2.50	2.10		
23		produk 3	2.45	2.75	2.35	2.85	2.45		
24									
25			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5		
26	gudang 1	produk 1	1.50	0.80	0.50	1.50	3.00		
27		produk 2	1.00	0.90	1.20	1.30	2.10		
28		produk 3	1.25	0.70	1.10	0.80	1.60		
29	gudang 2	produk 1	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50		
30		produk 2	1.25	1.00	1.00	0.90	1.50		
31		produk 3	1.10	1.10	0.90	1.40	1.75		
32	gudang 3	produk 1	1.00	1.50	2.00	2.00	0.50		
33		produk 2	0.90	1.35	1.45	1.80	1.00		
34		produk 3	1.25	1.20	1.75	1.70	0.85		
35	gudang 4	produk 1	2.50	1.50	0.60	1.50	0.50		
36		produk 2	1.75	1.30	0.70	1.25	1.10		
37		produk 3	1.50	1.10	1.50	1.10	0.90		

Gambar 5.10a Tampilan awal dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
39	Jumlah produk yang akan dikirimkan							
40			gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4	Total	
41	pabrik 1	produk 1	0	0	0	0	0	
42		produk 2	0	0	0	0	0	
43		produk 3	0	0	0	0	0	
44	pabrik 2	produk 1	0	0	0	0	0	
45		produk 2	0	0	0	0	0	
46		produk 3	0	0	0	0	0	
47	Total	produk 1	0	0	0	0	0	
48		produk 2	0	0	0	0	0	
49		produk 3	0	0	0	0	0	
50	Kapasitas	produk 1	35,000	20,000	30,000	15,000		
51		produk 2	30,000	25,000	15,000	24,000		
52		produk 3	20,000	20,000	25,000	20,000		
53								
54			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total
55	pabrik 1	produk 1	0	0	0	0	0	0
56		produk 2	0	0	0	0	0	0
57		produk 3	0	0	0	0	0	0
58	pabrik 2	produk 1	0	0	0	0	0	0
59		produk 2	0	0	0	0	0	0
60		produk 3	0	0	0	0	0	0
61								
62								
63			Total produk yang dikirim keluar dari pabrik 1 produk 1					kapasitas
64								90,000
65			produk 2					100,000
66			produk 3					80,000
67			Total produk yang dikirim keluar dari pabrik 2 produk 1					75,000
68			produk 2					65,000
69			produk 3					90,000

Gambar 5.10b Tampilan awal dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
70			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total	
71									
72	Gudang 1	produk 1	0	0	0	0	0	0	0
73		produk 2	0	0	0	0	0	0	0
74		produk 3	0	0	0	0	0	0	0
75	Gudang 2	produk 1	0	0	0	0	0	0	0
76		produk 2	0	0	0	0	0	0	0
77		produk 3	0	0	0	0	0	0	0
78	Gudang 3	produk 1	0	0	0	0	0	0	0
79		produk 2	0	0	0	0	0	0	0
80		produk 3	0	0	0	0	0	0	0
81	Gudang 4	produk 1	0	0	0	0	0	0	0
82		produk 2	0	0	0	0	0	0	0
83		produk 3	0	0	0	0	0	0	0
84	Total	produk 1	0	0	0	0	0		
85		produk 2	0	0	0	0	0		
86		produk 3	0	0	0	0	0		
87	Permintaan	produk 1	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000		
88		produk 2	20,000	15,000	22,000	12,000	18,000		
89		produk 3	25,000	22,000	16,000	20,000	25,000		
90									
91	total biaya pengiriman		0						

Gambar 5.10c Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 5.10, fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke gudang untuk Produk 1 sampai 3	= (C41:F44)
Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke toko untuk Produk 1 sampai 3	= (G55:H58)
Jumlah pengiriman produk dari gudang ke toko untuk Produk 1 sampai 3	= (I72:J75)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan total biaya pengiriman produk dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko dan gudang ke toko untuk Produk 1 sampai 4	C91	=SUMPRODUCT(C10:F15,C41:F44) +SUMPRODUCT(C18:G23,G55:H58) +SUMPRODUCT(C26:G37,I72:J75)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopy	Dikopy ke	Batas Kopy
Total jumlah produk yang dikirim tidak boleh melebihi kapasitas gudang untuk Produk 1 Gudang 1	C47	=SUM(C41,C44)	≤	C50	F49	=SUM(F41,F44)	F52
Total jumlah produk yang dikirim dari pabrik tidak boleh melebihi kapasitas pabrik untuk Pabrik 1 Produk 1	G63	=SUM(G41,H55)	≤	H63	G68	=SUM(G46,G50)	H62
Total jumlah produk yang dikirim ke toko disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan untuk Produk 1 Toko1	C84	=SUM(C72,C75, C78,C81)	≥	C87	G86	=SUM(G74,G77, G80,G83)	G89
Total jumlah produk yang dikirim ke gudang yang masuk = yang keluar untuk Gudang 1 Produk 1	I72	=SUM(C41,C44)	=	H72= SUM(C72: G72)	I83	=SUM(F43,F46)	H83=SUM(C83:G 83)

Setelah rumus implementasi dimasukkan, muncul Solver Parameters seperti gambar 5.11 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman produk (cell C91).

- By Changing Cells adalah variabel keputusan pengiriman jumlah produk dari setiap pabrik ke setiap gudang (cell C41:F56), dari setiap pabrik ke setiap toko (cell C55:G60), dan setiap gudang ke setiap toko (cell C72:G83).
- Subject to the Constraints adalah kendala yaitu total jumlah produk yang dikirim ke gudang (cell C47:F49) tidak boleh melebihi kapasitas gudang (cell C50:F52), total produk yang dikirimkan dari pabrik (cell G63:G68) tidak boleh melebihi kapasitas pabrik (cell H63:H68), total jumlah pengiriman produk ke toko (cell C84:G86) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan (cell C87:G89) dan total jumlah pengiriman produk ke gudang yang masuk (cell I72:I83) = total jumlah pengiriman produk ke gudang yang keluar (cell H72:H83).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul:

Solver Parameters

Set Target Cell:

Equal To: ☐ Max ☒ Min ☐ Value of:

By Changing Cells:

Subject to the Constraints:

\$C\$47:\$F\$49 <= \$C\$50:\$F\$52	Add
\$C\$84:\$G\$86 >= \$C\$87:\$G\$89	Change
\$G\$63:\$G\$68 <= \$H\$63:\$H\$68	Delete
\$I\$72:\$I\$83 = \$H\$72:\$H\$83	

Gambar 5.11 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 5.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7	biaya pengiriman								
8			temporal tujuan						
9			gudang 1	gudang 2	gudang 3	gudang 4			
10	pabrik 1	produk 1	0.50	0.50	1.00	0.20			
11		produk 2	1.00	0.75	1.25	1.25			
12		produk 3	0.75	1.25	1.00	0.80			
13	pabrik 2	produk 1	1.50	0.30	0.50	0.20			
14		produk 2	1.25	0.80	1.00	0.75			
15		produk 3	1.40	0.90	0.95	1.10			
16									
17			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5		
18	pabrik 1	produk 1	2.75	3.50	2.50	3.00	2.50		
19		produk 2	2.50	3.00	2.00	2.75	2.60		
20		produk 3	2.90	3.00	2.25	2.80	2.35		
21	pabrik 2	produk 1	3.00	3.50	3.50	2.50	2.00		
22		produk 2	2.25	2.95	2.20	2.50	2.10		
23		produk 3	2.45	2.75	2.35	2.85	2.45		
24									
25			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5		
26	gudang 1	produk 1	1.50	0.80	0.50	1.50	3.00		
27		produk 2	1.00	0.90	1.20	1.30	2.10		
28		produk 3	1.25	0.70	1.10	0.80	1.60		
29	gudang 2	produk 1	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50		
30		produk 2	1.25	1.00	1.00	0.90	1.50		
31		produk 3	1.10	1.10	0.90	1.40	1.75		
32	gudang 3	produk 1	1.00	1.50	2.00	2.00	0.50		
33		produk 2	0.90	1.35	1.45	1.80	1.00		
34		produk 3	1.25	1.20	1.75	1.70	0.85		
35	gudang 4	produk 1	2.50	1.50	0.60	1.50	0.50		
36		produk 2	1.75	1.30	0.70	1.25	1.10		
37		produk 3	1.50	1.10	1.50	1.10	0.90		

Gambar 5.12 a Tampilan akhir Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
70			toko 1	toko 2	toko 3	toko 4	toko 5	Total	
71									
72	Gudang 1	produk 1	0	20,000	15,000	0	0	35,000	35,000
73		produk 2	20,000	2,000	0	0	0	22,000	22,000
74		produk 3	0	20,000	0	0	0	20,000	20,000
75	Gudang 2	produk 1	0	3,000	0	17,000	0	20,000	20,000
76		produk 2	0	13,000	0	12,000	0	25,000	25,000
77		produk 3	18,000	2,000	0	0	0	20,000	20,000
78	Gudang 3	produk 1	30,000	0	0	0	0	30,000	30,000
79		produk 2	0	0	0	0	15,000	15,000	15,000
80		produk 3	0	0	0	0	25,000	25,000	25,000
81	Gudang 4	produk 1	0	0	0	0	15,000	15,000	15,000
82		produk 2	0	0	22,000	0	2,000	24,000	24,000
83		produk 3	0	0	0	20,000	0	20,000	20,000
84	Total	produk 1	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000		
85		produk 2	20,000	15,000	22,000	12,000	18,000		
86		produk 3	25,000	22,000	16,000	20,000	25,000		
87	Pemintaan	produk 1	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000		
88		produk 2	20,000	15,000	22,000	12,000	18,000		
89		produk 3	25,000	22,000	16,000	20,000	25,000		
90									
91	total biaya pengiriman		519,700						

Gambar 5.12b Tampilan akhir Solver dalam Excel

Berdasarkan Gambar 5.12, tampak bahwa total biaya pengiriman adalah Rp 519.700,00. Total jumlah pengiriman produk ke gudang yang keluar = yang masuk, dengan perincian: untuk Gudang 1 dengan Produk 1, 2, 3 masing-masing mewakili 35.000, 22.000, 20.000, untuk Gudang 2 dengan Produk 1, 2, 3 masing-masing mewakili 20.000, 25.000, 20.000, untuk Gudang 3 dengan Produk 1, 2, 3 masing-masing mewakili 30.000, 15.000 dan 25.000, dan untuk Gudang 4 dengan Produk 1, 2, 3 masing-masing mewakili 15.000, 24.000 dan 20.000. Total jumlah produk yang dikirimkan ke Toko 1 sampai Toko 5 untuk Produk 1 masing-masing mewakili 30.000, 23.000, 15.000, 32.000, 16.000; untuk Produk 2 masing-masing mewakili 20.000, 15.000, 22.000, 12.000, 18.000; dan untuk Produk 3 masing-masing mewakili 25.000, 22.000, 16.000, 20.000, 25.000. Total jumlah pengiriman produk ke Pabrik 1 dan 2 tidak boleh melebihi kapasitas pabrik dengan perincian sebagai berikut: Pabrik 1 dengan Produk 1, 2, 3 yang masing-masing mewakili 50.000, 47.000 dan 56.000, Pabrik 2 dengan Produk 1, 2, 3, yang masing-masing mewakili 66.000, 40.000 dan 52.000. Produk 1 dengan Gudang 1 sampai 4 berturut-turut adalah 35.000, 20.000, 30.000 dan 15.000. Produk 2 dengan Gudang 1 sampai 4 berturut-turut adalah 22.000, 25.000, 15.000 dan 24.000, Produk 3 dengan Gudang 1 sampai 4 berturut-turut adalah 20.000, 20.000, 25.000 dan 20.000.

Analisis Sensitivitas

Gambar di bawah ini adalah hasil output running solver:

			D	E	F	G	H	
A	B	C	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
6	Variabel keputusan							
7	Cell	Name						
8	C41	dari pabrik1 produk1 ke gudang1	35.000	0	0,5	1E+30	0,2	
9	D41	dari pabrik1 produk1 ke gudang2	0	1	1	1E+30	0,5	
10	E41	dari pabrik1 produk1 ke gudang3	0	0	0,2	0	1E+30	
11	F41	dari pabrik1 produk1 ke gudang4	15.000	0	1	0	0,15	
12	C42	dari pabrik1 produk2 ke gudang1	22.000	0	0,75	0,05	1E+30	
13	D42	dari pabrik1 produk2 ke gudang2	25.000	0	1,25	1E+30	0,25	
14	E42	dari pabrik1 produk2 ke gudang3	0	0	1,25	1E+30	0,5	
15	F42	dari pabrik1 produk2 ke gudang4	0	1	0,75	0,65	1E+30	
16	C43	dari pabrik1 produk3 ke gudang1	20.000	0	1,25	1E+30	0,35	
17	D43	dari pabrik1 produk3 ke gudang2	0	0	1	1E+30	0,05	
18	E43	dari pabrik1 produk3 ke gudang3	0	0	0,8	0,3	1E+30	
19	F43	dari pabrik1 produk3 ke gudang4	20.000	0	1,5	1E+30	1	
20	C44	dari pabrik2 produk1 ke gudang1	0	1	0,3	0,2	1E+30	
21	D44	dari pabrik2 produk1 ke gudang2	20.000	0	0,5	0,5	1E+30	
22	E44	dari pabrik2 produk1 ke gudang3	30.000	0	0,2	1E+30	0	
23	F44	dari pabrik2 produk1 ke gudang4	0	0	1,25	1E+30	0,25	
24	C45	dari pabrik2 produk2 ke gudang1	0	0	0,8	1E+30	0,05	
25	D45	dari pabrik2 produk2 ke gudang2	0	0	1	0,1	1E+30	
26	E45	dari pabrik2 produk2 ke gudang3	15.000	0	0,75	0,25	1E+30	
27	F45	dari pabrik2 produk2 ke gudang4	24.000	0	1,4	1E+30	0,65	
28	C46	dari pabrik2 produk3 ke gudang1	0	1	0,9	0,35	1E+30	
29	D46	dari pabrik2 produk3 ke gudang2	20.000	0	0,95	0,05	1E+30	
30	E46	dari pabrik2 produk3 ke gudang3	25.000	0	1,1	1E+30	0,3	
31	F46	dari pabrik2 produk3 ke gudang4	0	0	2,75	1E+30	0,25	
32	C55	total dari pabrik1 produk1 ke gudang1	0	2	3,5	1E+30	1,5	
33	D55	total dari pabrik1 produk1 ke gudang2	0	1	2,5	1E+30	0,8	
34	E55	total dari pabrik1 produk1 ke gudang3	0	1	3	1E+30	0,5	
35	F55	total dari pabrik1 produk1 ke gudang4	0	1	3	1E+30	0,5	
36	A	B	C	D	E	F	G	H
37	G55	total dari pabrik1 produk1 ke gudang5	0	1	2,5	1E+30	0,5	
38	C56	total dari pabrik1 produk2 ke gudang1	0	1	2,5	1E+30	0,5	
39	D56	total dari pabrik1 produk2 ke gudang2	0	1	3	1E+30	1,1	
40	E56	total dari pabrik1 produk2 ke gudang3	0	0	2	1E+30	0,3	
41	F56	total dari pabrik1 produk2 ke gudang4	0	1	2,75	1E+30	0,95	
42	G56	total dari pabrik1 produk2 ke gudang5	0	1	2,6	1E+30	0,5	
43	C57	total dari pabrik1 produk3 ke gudang1	0	0	2,9	1E+30	0,45	
44	D57	total dari pabrik1 produk3 ke gudang2	0	1	3	1E+30	0,55	
45	E57	total dari pabrik1 produk3 ke gudang3	16.000	0	2,25	0	2,25	
46	F57	total dari pabrik1 produk3 ke gudang4	0	0	2,8	1E+30	0,25	
47	G57	total dari pabrik1 produk3 ke gudang5	0	0	2,35	1E+30	0	
48	C58	total dari pabrik2 produk1 ke gudang1	0	1	3	1E+30	0,5	
49	D58	total dari pabrik2 produk1 ke gudang2	0	2	3,5	1E+30	1,5	
50	E58	total dari pabrik2 produk1 ke gudang3	0	2	3,5	1E+30	1,8	
51	F58	total dari pabrik2 produk1 ke gudang4	15.000	0	2,5	0,25	0	
52	G58	total dari pabrik2 produk1 ke gudang5	1.000	0	2	0	0,4	
53	C59	total dari pabrik2 produk2 ke gudang1	0	0	2,25	1E+30	0,25	
54	D59	total dari pabrik2 produk2 ke gudang2	0	1	2,95	1E+30	1,05	
55	E59	total dari pabrik2 produk2 ke gudang3	0	1	2,2	1E+30	0,5	
56	F59	total dari pabrik2 produk2 ke gudang4	0	1	2,5	1E+30	0,7	
57	G59	total dari pabrik2 produk2 ke gudang5	1.000	0	2,1	0,2	0	
58	C60	total dari pabrik2 produk3 ke gudang1	7.000	0	2,45	0	0	
59	D60	total dari pabrik2 produk3 ke gudang2	0	0	2,75	1E+30	0,3	
60	E60	total dari pabrik2 produk3 ke gudang3	0	0	2,35	1E+30	0,1	
61	F60	total dari pabrik2 produk3 ke gudang4	0	0	2,85	1E+30	0,3	
62	G60	total dari pabrik2 produk3 ke gudang5	0	0	2,45	1E+30	0,1	
63	C72	total dari gudang1 produk1 ke toko1	0	0	1,5	1E+30	0,2	
64	D72	total dari gudang1 produk1 ke toko2	20.000	0	0,8	0,2	0,3	
65	E72	total dari gudang1 produk1 ke toko3	15.000	0	0,5	0,3	1,7	
66	F72	total dari gudang1 produk1 ke toko4	0	0	1,5	1E+30	0,2	
67	G72	total dari gudang1 produk1 ke toko5	0	2	3	1E+30	2,2	

A	B	C	D	E	F	G	H
68	C73	totaldangudang1produk2ketoko1	20.000	0	1	0	2
69	D73	totaldangudang1produk2ketoko2	2.000	0	0.9	0.4	0.15
70	E73	totaldangudang1produk2ketoko3	0	1	1.2	1E+30	0.5
71	F73	totaldangudang1produk2ketoko4	0	1	1.3	1E+30	0.5
72	G73	totaldangudang1produk2ketoko5	0	1	2.1	1E+30	1
73	C74	totaldangudang1produk3ketoko1	0	1	1.25	1E+30	0.55
74	D74	totaldangudang1produk3ketoko2	20.000	0	0.7	0.1	0
75	E74	totaldangudang1produk3ketoko3	0	1	1.1	1E+30	0.6
76	F74	totaldangudang1produk3ketoko4	0	0	0.8	0	0.1
77	G74	totaldangudang1produk3ketoko5	0	1	1.6	1E+30	1
78	C75	totaldangudang2produk1ketoko1	0	0	1	0.2	0
79	D75	totaldangudang2produk1ketoko2	3.000	0	0.5	0.3	0.2
80	E75	totaldangudang2produk1ketoko3	0	0	0.5	1E+30	0.3
81	F75	totaldangudang2produk1ketoko4	17.000	0	1	0	0.25
82	G75	totaldangudang2produk1ketoko5	0	0	0.5	1E+30	0
83	C76	totaldangudang2produk2ketoko1	0	0	1.25	1E+30	0.15
84	D76	totaldangudang2produk2ketoko2	13.000	0	1	0.15	0.45
85	E76	totaldangudang2produk2ketoko3	0	0	1	1E+30	0.2
86	F76	totaldangudang2produk2ketoko4	12.000	0	0.9	0.45	1.8
87	G76	totaldangudang2produk2ketoko5	0	0	1.5	1E+30	0.3
88	C77	totaldangudang2produk3ketoko1	18.000	0	1.1	0	0
89	D77	totaldangudang2produk3ketoko2	2.000	0	1.1	0	0.3
90	E77	totaldangudang2produk3ketoko3	0	0	0.9	1E+30	0
91	F77	totaldangudang2produk3ketoko4	0	0	1.4	1E+30	0.2
92	G77	totaldangudang2produk3ketoko5	0	1	1.75	1E+30	0.75
93	C78	totaldangudang3produk1ketoko1	30.000	0	1	0	1E+30
94	D78	totaldangudang3produk1ketoko2	0	1	1.5	1E+30	1
95	E78	totaldangudang3produk1ketoko3	0	2	2	1E+30	1.8
96	F78	totaldangudang3produk1ketoko4	0	1	2	1E+30	1
97	G78	totaldangudang3produk1ketoko5	0	0	0.5	1E+30	0
98	C79	totaldangudang3produk2ketoko1	0	0	0.9	1E+30	0
99	D79	totaldangudang3produk2ketoko2	0	1	1.35	1E+30	0.55
100	E79	totaldangudang3produk2ketoko3	0	1	1.45	1E+30	0.85
101	F79	totaldangudang3produk2ketoko4	0	1	1.8	1E+30	1.1
102	G79	totaldangudang3produk2ketoko5	15.000	0	1	0	1E+30
103	C80	totaldangudang3produk3ketoko1	0	0	1.25	1E+30	0.3
104	D80	totaldangudang3produk3ketoko2	0	0	1.2	1E+30	0.25
105	E80	totaldangudang3produk3ketoko3	0	1	1.75	1E+30	1
106	F80	totaldangudang3produk3ketoko4	0	1	1.7	1E+30	0.65
107	G80	totaldangudang3produk3ketoko5	25.000	0	0.85	0.25	1E+30
108	C81	totaldangudang4produk1ketoko1	0	2	2.5	1E+30	1.5
109	D81	totaldangudang4produk1ketoko2	0	1	1.5	1E+30	1
110	E81	totaldangudang4produk1ketoko3	0	0	0.6	1E+30	0.4
111	F81	totaldangudang4produk1ketoko4	0	1	1.5	1E+30	0.5
112	G81	totaldangudang4produk1ketoko5	15.000	0	0.5	0.4	1E+30
113	C82	totaldangudang4produk2ketoko1	0	1	1.75	1E+30	0.75
114	D82	totaldangudang4produk2ketoko2	0	0	1.3	1E+30	0.4
115	E82	totaldangudang4produk2ketoko3	22.000	0	0.7	0.2	1.7
116	F82	totaldangudang4produk2ketoko4	0	0	1.25	1E+30	0.45
117	G82	totaldangudang4produk2ketoko5	2.000	0	1.1	0.25	0.2
118	C83	totaldangudang4produk3ketoko1	0	1	1.5	1E+30	0.5
119	D83	totaldangudang4produk3ketoko2	0	0	1.1	1E+30	0.1
120	E83	totaldangudang4produk3ketoko3	0	1	1.5	1E+30	0.7
121	F83	totaldangudang4produk3ketoko4	20.000	0	1.1	0.1	0
122	G83	totaldangudang4produk3ketoko5	0	0	0.9	0	0.25

	A	B	C	D	E	F	G	H
124	Fendele							
125				Final	Shadow	Constraint	Allowable	Allowable
126	Cell	Name	Value	Price	RH Side	Increase	Decrease	
127	D47	total produk 1 gudang1	35.000	1	35.000	15.000	17.000	
128	D47	total produk 1 gudang2	20.000	-1	20.000	0	17.000	
129	E47	total produk 1 gudang3	10.000	-1	30.000	0	30.000	
130	F47	total produk 1 gudang4	15.000	-1	15.000	1E+30	8.000	
131	E48	total produk 2 gudang1	22.000	0	30.000	20.000	15.000	
132	F48	total produk 2 gudang2	25.000	0	25.000	10.000	20.000	
133	F48	total produk 2 gudang3	15.000	0	15.000	10.000	10.000	
134	F48	total produk 2 gudang4	24.000	0	24.000	20.000	18.000	
135	C49	total produk 3 gudang1	20.000	-1	20.000	0	18.000	
136	D49	total produk 3 gudang2	20.000	-1	20.000	0	18.000	
137	E49	total produk 3 gudang3	25.000	-1	20.000	0	18.000	
138	F49	total produk 3 gudang4	20.000	-1	90.000	1E+30	40.000	
139	G63	total produk 4 gudang1	10.000	0	10.000	1E+30	5.000	
140	G64	total produk 4 gudang2	42.000	0	10.000	1E+30	2.000	
141	G65	total produk 4 gudang3	56.000	0	65.000	1E+30	30.000	
142	G66	total produk 4 gudang4	66.000	0	65.000	1E+30	25.000	
143	G67	total produk 4 gudang5	40.000	0	90.000	1E+30	38.000	
144	G68	total produk 4 gudang6	52.000	0	30.000	90.000	0	
145	G64	total produk 1 gudang1	30.000	2	23.000	90.000	30.000	
146	D64	total produk 1 gudang2	23.000	2	15.000	90.000	30.000	
147	E64	total produk 1 gudang3	15.000	2	32.000	90.000	15.000	
148	F64	total produk 1 gudang4	32.000	3	16.000	90.000	10.000	
149	G64	total produk 1 gudang5	16.000	2	20.000	80.000	20.000	
150	C65	total produk 2 gudang1	20.000	2	15.000	80.000	20.000	
151	D65	total produk 2 gudang2	15.000	2	22.000	20.000	10.000	
152	E65	total produk 2 gudang3	22.000	2	12.000	80.000	20.000	
153	F65	total produk 2 gudang4	12.000	2	18.000	25.000	10.000	
154	G65	total produk 2 gudang5	18.000	2	25.000	30.000	70.000	
155	C66	total produk 3 gudang1	25.000	2	22.000	18.000	20.000	
156	D66	total produk 3 gudang2	22.000	2	16.000	24.000	15.000	
157	E66	total produk 3 gudang3	16.000	2	20.000	18.000	0	
158	F66	total produk 3 gudang4	20.000	3	25.000	18.000	0	
159	G66	total produk 3 gudang5	25.000	2	25.000	18.000	0	
160	I72	total gudang1 produk1	35.000	1	0	90.000	30.000	
161	I73	total gudang1 produk2	22.000	1	0	80.000	22.000	
162	I74	total gudang1 produk3	20.000	2	0	18.000	20.000	
163	I75	total gudang2 produk1	20.000	1	0	90.000	15.000	
164	I76	total gudang2 produk2	25.000	1	0	80.000	20.000	
165	I77	total gudang2 produk3	20.000	1	0	18.000	70.000	
166	I78	total gudang3 produk1	30.000	2	0	90.000	0	
167	I79	total gudang3 produk2	15.000	1	0	15.000	10.000	
168	I80	total gudang3 produk3	25.000	2	0	18.000	0	
169	I81	total gudang3 produk1	15.000	2	0	90.000	10.000	
170	I82	total gudang3 produk2	24.000	1	0	20.000	10.000	
171	I83	total gudang3 produk3	20.000	1	0	18.000	0	

Gambar 5.13 Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- Berdasarkan Gambar 5.13, kolom E9 sampai E171 menunjukkan terjadinya reduce cost (pembengkakan biaya) pada jumlah produk yang dikirimkan dari Pabrik 1 Produk 1 ke Gudang 3. Misalnya Pabrik 1 menaikkan jumlah produk yang dikirimkan sebesar x unit (sebelumnya dalam solusi optimalnya untuk jumlah produk yang dikirimkan bernilai 0) sehingga total jumlah produksi yang dikirimkan akan membengkak sebanyak $1x$ menjadi Rp 519.700,00+ $1x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D127 sampai D171 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E127 sampai E171 memuat shadow price. Pada kolom E127 terjadi penurunan jumlah Produk 1 yang dikirim dari Pabrik 1 ke Gudang 1 sebesar -1 unit sehingga solusi optimalnya menjadi Rp 519.700,00- $1X$. Pengurangan jumlah Produk 1 yang dikirim dari Pabrik 1 oleh Toko 1 dibatasi sampai 9.000 unit dari batas jumlah

produk yang dikirimkan sebesar 35.000 unit, sedangkan penambahan jumlah produk yang dikirimkan dibatasi sampai 3000 unit dari batas total jumlah Produk 1 yang dikirim dari Pabrik 1 ke Gudang 1 sebesar 35.000 unit, menjadi maksimal 38.000 unit. Demikian juga untuk batas keputusan lain tentang jumlah produk yang dikirim.

Masalah Ransel

Pabrik truk bahan bakar membutuhkan persediaan 3 macam gas yang berbeda ke seorang pelanggan. Jika permintaan tidak dikirim dan diisi maka kerugian perusahaan adalah Rp 0,25,00 per galon. Pabrik truk bahan bakar memiliki 4 bagian terpisah dengan ukuran berbeda. Bagaimana seharusnya pengaturan pengisian pabrik truk bahan bakar oleh 3 macam gas untuk memperkecil biaya kerugian? Di bawah ini adalah tabel dari masalah ransel:

Spesifikasi Truk							
Ukuran (galon)	Bagian 1 1200	Bagian 2 800	Bagian 3 1300	Bagian 4 700			
Keputusan Pabrik (1 = ya, 0 = tidak)							
	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3	Bagian 4			
Gas 1	0	0	0	0			
Gas 2	0	0	0	0			
Gas 3	0	0	0	0			
Total	0	0	0	0			
Jumlah (galon)							
	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3	Bagian 4	Total	Permintaan	Kerugian(xRp10000)
Gas 1	0	0	0	0	0	0	0
Gas 2	0	0	0	0	0	0	0
Gas 3	0	0	0	0	0	0	0
Total Kerugian							0
Jumlah Maksimum (galon)							
	Bagian 1	Bagian 2	Bagian 3	Bagian 4			
Gas 1	0	0	0	0			
Gas 2	0	0	0	0			
Gas 3	0	0	0	0			

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Dalam masalah ini, variabel keputusannya adalah:



- Cara mengatur pengisian gas supaya bagian yang diisi tidak ada sisa dalam truk bahan bakar, yang dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Gas 1, Gas 2, Gas 3 dan $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Bagian 1, Bagian 2, Bagian 3 dan Bagian 4.
- Pengisian jumlah gas (galon) jika bagian tersebut diisi bahan bakar gas yang dinotasikan dengan Y_{ij} , di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Gas 1, Gas 2, Gas 3 dan $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili bagian 1, bagian 2, bagian 3 dan bagian 4.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah meminimumkan total biaya kerugian yaitu mengalikan 0,25 dengan hasil pengurangan antara permintaan dengan total jumlah (galon) yang dirumuskan seperti di bawah ini:

$$z = 0.25 (1800 - (Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} + Y_{14})) + 0.25 (1500 - (Y_{21} + Y_{22} + Y_{23} + Y_{24})) + 0.25 (1000 - (Y_{31} + Y_{32} + Y_{33} + Y_{34}))$$

Kendala

Jumlah maksimum galon ≥ 0 :

$$X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{21}, X_{22}, X_{23}, X_{24}, X_{31}, X_{32}, X_{33}, X_{34} \geq 0 \text{ dan biner}$$

Total keputusan pabrik ≤ 1 :

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} \leq 1$$

Pengisian galon gas $\leq$ jumlah maksimum galon gas:

$$\text{Gas 1 bagian 1: } Y_{11} \leq 1200(X_{11})$$

$$\text{Gas 1 bagian 3: } Y_{13} \leq 1300(X_{13})$$

$$\text{Gas 1 bagian 2: } Y_{12} \leq 800(X_{12})$$

$$\text{Gas 1 bagian 4: } Y_{14} \leq 700(X_{14})$$

$$\text{Gas 2 bagian 1: } Y_{21} \leq 1200(X_{21})$$

$$\text{Gas 2 bagian 3: } Y_{23} \leq 1300(X_{23})$$

$$\text{Gas 2 bagian 2: } Y_{22} \leq 800(X_{22})$$

$$\text{Gas 2 bagian 4: } Y_{24} \leq 700(X_{24})$$

$$\text{Gas 3 bagian 1: } Y_{31} \leq 1200(X_{31})$$

$$\text{Gas 3 bagian 3: } Y_{33} \leq 1300(X_{33})$$

$$\text{Gas 3 bagian 2: } Y_{32} \leq 800(X_{32})$$

$$\text{Gas 3 bagian 4: } Y_{34} \leq 700(X_{34})$$

Total jumlah gas (galon) $\leq$ jumlah permintaan gas:

$$\text{Gas 1 } Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} \leq 1800$$

$$\text{Gas 2 } Y_{21} + Y_{22} + Y_{23} + Y_{24} \leq 1500$$

$$\text{Gas 3 } Y_{31} + Y_{32} + Y_{33} + Y_{34} \leq 1000$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Sistem Distribusi Gas							
7		bagian1	bagian2	bagian3	bagian4			
8	Size (gallons)	1,000	800	1,200	700			
9	Kapasitas pabrik (1-pers. pers. pers.)							
10		Bagian1	Bagian2	Bagian3	Bagian4			
11	Gas 1	0	0	0	0			
12	Gas 2	0	0	0	0			
13	Gas 3	0	0	0	0			
14	Total	0	0	0	0			
15	Jumlah gas (gallons)							
16		Bagian1	Bagian2	Bagian3	Bagian4	Total	Pemintaan	Kerugian(x100000)
17	Gas 1	0	0	0	0	0	1000	0.00
18	Gas 2	0	0	0	0	0	1500	0.00
19	Gas 3	0	0	0	0	0	1000	0.00
20								
21	Jumlah gas dan kerugian (gallons)						Total Kerugian	0.00
22		bagian1	bagian2	bagian3	bagian4			
23	Gas 1	0	0	0	0			
24	Gas 2	0	0	0	0			
25	Gas 3	0	0	0	0			

Gambar 5.14 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 5.14, fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

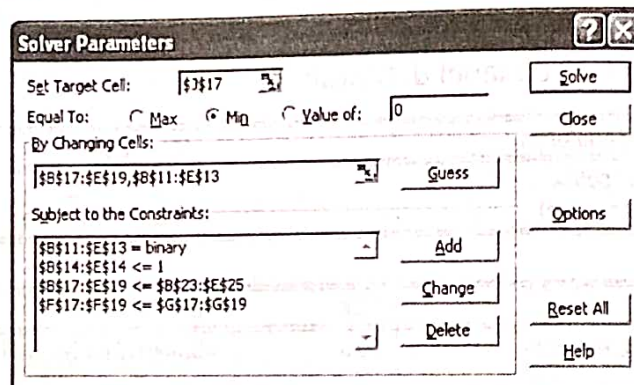
Variabel Keputusan	Cell
Keputusan pabrik	=(B11:E13)
Jumlah gas (galon)	=(B17:E19)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Dikopi ke
Meminimalkan total biaya kerugian	H20	=SUM(H17:H19)	
Di mana:			
Biaya kerugian gas 1	H17	=(G17-F17)*0.25	=(G19-F19)*0.25

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopl	Formula	Batas Kopl
Jumlah Gas 1 bagian1 (galon) tidak boleh melebihi jumlah maksimum Gas 1 bagian1(galon)	B17	=B8*B23	≤	-	E19	=E8*E19	-
Total jumlah Gas 1 tidak boleh melebihi permintaan Gas 1	F17	=SUM(B17:E17)	≤	G17	F19	=SUM(B19:E19)	G19

Setelah memasukkan rumus implementasi, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 5.15 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya kerugian yaitu mengalikan 0,25 dengan hasil pengurangan antara permintaan dengan total jumlah dalam galon (cell H20).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan, yaitu keputusan pabrik (cell B11:E13) dan jumlah gas dalam galon (cell B17:E19).
- Subject to the Constraints adalah kendala jumlah gas dalam galon (cell B17:E19) tidak boleh melebihi jumlah maksimum gas dalam galon (cell B23:B25) dan total jumlah gas (cell F17:F19) tidak boleh melebihi permintaan jumlah gas (cell G17:G19).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam Solver serta turut memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul Solver Parameters seperti gambar di bawah ini:



Gambar 5.15 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah-langkah selanjutnya sama dengan Gambar 5.3.

Implementasi Akhir dengan Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Spesifikasi truk							
7		Bagian1	bagian2	bagian3	bagian4			
8	ukuran(gallons)	1200	800	1300	700			
9	Keputusan pabrik (1=ya, 0=td)							
10		Bagian1	Bagian2	Bagian3	Bagian4			
11	Gas 1	0.416667	1	0.384615	0			
12	Gas 2	0	0	0.615385	1			
13	Gas 3	0.583333	0	0	0			
14	Total	1	1	1	1			
15	Jumlah(gallons)							
16		Bagian1	Bagian2	Bagian3	Bagian4	Total	Permintaan	Kerugian
17	Gas 1	500	800	500	0	1800	1800	0
18	Gas 2	0	0	800	700	1500	1500	0
19	Gas 3	700	0	0	0	700	1000	75
20							total kerugian	75
21	jumlah maksimum(gallons)							
22		Bagian1	Bagian2	Bagian3	Bagian4			
23	Gas 1	500	800	500	0			
24	Gas 2	0	0	800	700			
25	Gas 3	700	0	0	0			

Gambar 5.16 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Berdasarkan Gambar 5.16 di depan, keputusan pabrik berada pada Gas 1 bagian 2, lalu Gas 2 bagian 4 bernilai 1 dan jumlah Gas 1 bagian 1, 2, 3 masing-masing adalah 500 galon, 800 galon dan 500 galon, jumlah Gas 2 bagian 3 dan 4 masing-masing mewakili 800 galon dan 700 galon, dan jumlah Gas 3 bagian 1 adalah 700 galon dengan total kerugian Rp 75,00.

Masalah Pemilihan Tempat Fasilitas

Suatu perusahaan mengirim produk dari 4 gudang ke 5 toko. Perusahaan itu mempertimbangkan pilihan terakhir untuk menutup 1 pabrik atau lebih sehingga meskipun biaya distribusi mungkin akan dinaikkan, barangkali akan mengurangi biaya secara keseluruhan. Bagaimana rencana seharusnya dilakukan jika beberapa pabrik tutup untuk memperkecil biaya transportasi? Di bawah ini adalah tabel biaya transportasi:

Biaya Transportasi (per 1000 produk) (xRp 10.000,00)						
	Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Toko 5	Permintaan
Gudang 1	4000	2000	3000	2500	4500	15
Gudang 2	2500	2600	3400	3000	4000	18
Gudang 3	1200	1800	2600	4100	3000	14
Gudang 4	2200	2600	3100	3700	3200	20
Biaya Produksi	20	22	17	19	18	
Biaya Distribusi	0	0	0	0	0	
Biaya Produksi	0	0	0	0	0	
Total Biaya	0	0	0	0	0	

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

- Keputusan pabrik i , dinotasikan dengan X_i di mana $i = 1, 2, 3, 4$ dan 5 yaitu masing-masing mewakili Pabrik 1, Pabrik 2, Pabrik 3, Pabrik 4, dan Pabrik 5.
- Jumlah produk yang dikirimkan dari gudang i ke toko j dinotasikan dengan Y_{ij} di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, Gudang 2, Gudang 3, Gudang 4; dan $j = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, Toko 2, Toko 3, Toko 4 dan Toko 5.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah meminimalkan total biaya pengiriman, yaitu biaya distribusi (pengiriman jumlah produk x biaya transportasi) + biaya fixed (biaya produksi x keputusan pabrik) yang dirumuskan seperti di bawah ini:

$$Z = (4000Y_{11} + 2500Y_{21} + 1200Y_{31} + 2200Y_{41} + 2000Y_{12} + 2600Y_{22} + 1800Y_{32} + 2600Y_{42} + 3000Y_{13} + 3400Y_{23} + 2600Y_{33} + 3100Y_{43} + 2500Y_{14} + 3000Y_{24} + 4100Y_{34} + 3700Y_{44} + 4500Y_{15} + 4000Y_{25} + 3000Y_{35} + 3200Y_{45}) + (12000X_1 + 15000X_2 + 17000X_3 + 13000X_4 + 16000X_5)$$

Kendala

- Pengiriman jumlah produk ≥ 0 dirumuskan di bawah ini:

$$Y_{ij} \geq 0$$

- Kendala membuka/menutup pabrik dirumuskan di bawah ini:

$$X_i = 0 \text{ atau } 1$$

- Total produk yang dikirimkan ke toko i tidak boleh melebihi kapasitas toko i , dirumuskan di bawah ini:

$$\text{Toko 1: } Y_{11} + Y_{21} + Y_{31} + Y_{41} \leq 20 X_1$$

$$\text{Toko 2: } Y_{12} + Y_{22} + Y_{32} + Y_{42} \leq 22 X_2$$

$$\text{Toko 3: } Y_{13} + Y_{23} + Y_{33} + Y_{43} \leq 17 X_3$$

$$\text{Toko 4: } Y_{14} + Y_{24} + Y_{34} + Y_{44} \leq 19 X_4$$

$$\text{Toko 5: } Y_{15} + Y_{25} + Y_{35} + Y_{45} \leq 18 X_5$$

- Total jumlah pengiriman produk disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan gudang, yang dirumuskan di bawah ini:

$$\text{Gudang 1: } Y_{11} + Y_{12} + Y_{13} + Y_{14} + Y_{15} \geq 15$$

$$\text{Gudang 2: } Y_{21} + Y_{22} + Y_{23} + Y_{24} + Y_{25} \geq 18$$

$$\text{Gudang 3: } Y_{31} + Y_{32} + Y_{33} + Y_{34} + Y_{35} \geq 14$$

$$\text{Gudang 4: } Y_{41} + Y_{42} + Y_{43} + Y_{44} + Y_{45} \geq 20$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	biaya transportasi(per 1000 produk)							
7		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5		
8	Gudang1	4000	2000	3000	2500	4500		
9	Gudang2	2500	2600	3400	3000	4000		
10	Gudang3	1200	1800	2600	4100	3000		
11	Gudang4	2200	2600	3100	3700	3200		
13	Keputusan pabrik							
14		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5		
15	keputusan	0	0	0	0	0		
17	jumlah produk dikirimkan(per 1000 produk)							
18		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5	Total	Permintaan
19	Gudang1	0	0	0	0	0	0	15
20	Gudang2	0	0	0	0	0	0	18
21	Gudang3	0	0	0	0	0	0	14
22	Gudang4	0	0	0	0	0	0	20
23	Total	0	0	0	0	0	0	
24	Kapasitas	0	0	0	0	0		
25	Biaya distribusi	0	0	0	0	0		
26	Biaya tetap	0	0	0	0	0		
27	total biaya	0	0	0	0	0	0	

Gambar 5.17 Tampilan awal dengan Solver dalam Excel

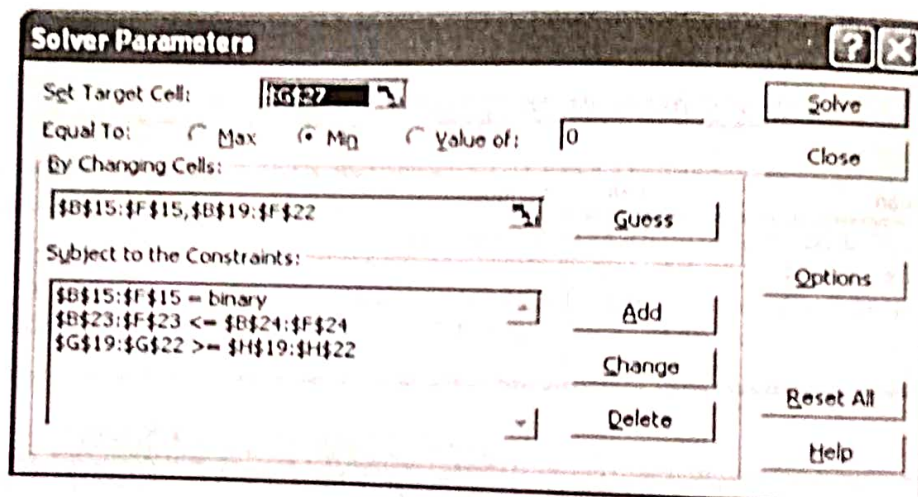
Variabel Keputusan		Cell
Keputusan pabrik		= (B15:F15)
Jumlah produk yang dikirimkan dari gudang i ke toko j		= (B19:F22)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Dikopi ke
Meminimalkan total biaya produk yang dikirimkan, di mana:	G27	=SUM(B27:F27)	-
Biaya distribusi ke Toko 1	B25	=SUMPRODUCT(B8:B11,B19:B22)	=SUMPRODUCT(B8:F11,F19:F22)
Biaya Tetap	B26	=12000*B15	=16000*F15

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopy	Formula	Batas Kopy
Total produk yang dikirimkan ke Toko 1 tidak boleh melebihi kapasitas Toko 1	B23	=SUM(B19:B22)	≤	B24	F23	=SUM(F19:F22)	F24
Total jumlah produk yang dikirimkan dari Gudang 1 disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan Gudang 1	G19	=SUM(B19:F19)	≥	H19	G22	=Sum(B22:F22)	H22

Setelah memasukkan rumus implementasi awal dengan solver di Excel, tampil Solver Parameters seperti Gambar 5.18 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman [biaya distribusi (pengiriman jumlah produk x biaya transportasi) + biaya fixed (biaya produksi x keputusan pabrik)] yaitu pada cell G27.
- By Changing Cells adalah variabel keputusan yaitu keputusan pabrik (cell B15:F15) dan jumlah produk yang dikirimkan dari gudang i ke toko j (cell B19:F22).
- Subject to the Constraints adalah kendala berupa total produk yang dikirimkan ke toko i (cell B23:F23) tidak boleh melebihi kapasitas toko i (cell B24:F24) dan total jumlah pengiriman produk (cell G19:G22) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan gudang (cell H19:H22).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam Solver serta memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala, maka akan muncul Solver Parameters di bawah ini:



Gambar 5.18 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 5.3.

Berdasarkan Gambar 5.19, keputusan pabrik adalah menutup Toko 3 karena tidak bernilai 0 atau 1, dan pabrik hanya membuka Toko 1, 2, 4 dan 5. Jumlah produk yang dikirimkan dari Gudang 1 ke Toko 2 adalah 14 unit dan ke Toko 4 = 1 unit, jumlah produk yang dikirimkan dari Gudang 2 ke Toko 4 adalah 18 unit, jumlah produk yang dikirimkan dari Gudang 3 ke Toko 1 adalah 14 unit dan jumlah produk yang dikirimkan dari Gudang 4 ke Toko 1 adalah 6 unit, Toko 2 adalah 8 unit dan Toko 5 adalah 6 unit dengan total biaya Rp 210.500,00.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Biaya transportasi (per 1000 produk)							
7		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5		
8	Gudang1	4000	2000	3000	2500	4500		
9	Gudang2	2500	2600	3400	3000	4000		
10	Gudang3	1200	1800	2600	4100	3000		
11	Gudang4	2200	2600	3100	3700	3200		
13	Keputusan variabel							
14		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5		
15	keputusan	1	1	5.55E-17	1	1		
17	jumlah produk dikirimkan (per 1000 produk)							
18		toko1	toko2	toko3	toko4	toko5	Total	Permintaan
19	Gudang1	0	14	0	1	0	15	15
20	Gudang2	0	0	0	18	0	18	18
21	Gudang3	14	0	0	0	0	14	14
22	Gudang4	6	8	0	0	6	20	20
23	Total	20	22	0	19	6		
24	Kapasitas	20	22	9.44E-16	19	18		
25	Biaya distribusi	30000	48800	0	56500	19200		
26	Biaya tetap	12000	15000	9.44E-13	13000	16000		
27	total biaya	42000	63800	9.44E-13	69500	35200	210500	

Gambar 5.19 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Masalah Produksi Transportasi

Sebuah perusahaan ingin memperkecil biaya pengiriman 3 produk yang berbeda dari pabrik ke gudang dan toko serta dari gudang ke toko. Produksi tiap produk pada tiap pabrik bergantung pada distribusi. Berapa banyak produk yang harus dihasilkan oleh setiap perusahaan? Bagaimana seharusnya distribusi produk disalurkan dalam pesanan untuk memperkecil biaya agar memenuhi permintaan? Di bawah ini adalah tabel produksi transportasi:

Biaya Pembuatan Produk (xRp 10.000,00)				
	Produk 1	Produk 2	Produk 3	
Pabrik 1	4	5	3	
Pabrik 2	2	8	6	
	Produk 1	Produk 2	Produk 3	Biaya
Pabrik 1	0	0	0	0
Pabrik 2	0	0	0	0
Total Biaya				0

		Biaya Pengiriman (x Rp 10.000,00 per produk)					
		Tujuan					
		Gudang 1	Gudang 2	Gudang 3	Gudang 4	Total	
Pabrik 1	Produk 1	0.50	0.50	1.00	0.20	0	
	Produk 2	1.00	0.75	1.25	0.80	0	
	Produk 3	0.75	1.25	1.00	0.20	0	
Pabrik 2	Produk 1	1.50	0.30	0.50	0.75	0	
	Produk 2	1.25	0.80	1.00	1.10	0	
	Produk 3	1.40	0.90	0.95	0	0	
Total	Produk 1	0	0	0	0	0	
	Produk 2	0	0	0	0	0	
	Produk 3	0	0	0	0	0	
Kapasitas							
	Produk 1	35000	20000	30000	15000		
	Produk 2	30000	25000	15000	24000		
	Produk 3	20000	20000	25000	20000		
		Toko 1	Toko 2	Toko 3	Toko 4	Toko 5	Total
Pabrik 1	Produk 1	2.75	3.50	2.50	3.00	2.50	0
	Produk 2	2.50	3.00	2.00	2.75	2.80	0
	Produk 3	2.90	3.00	2.25	2.80	2.35	0
Pabrik 2	Produk 1	3.00	3.50	2.25	2.50	2.00	0
	Produk 2	3.00	3.50	2.50	2.50	2.10	0
	Produk 3	2.25	2.95	2.20	2.85	2.45	0
		2.45	2.75	2.35	2.85	2.45	
							Kapasitas
Total produk dikirim keluar ke Pabrik 1		Produk 1	0	0	0	0	
		Produk 2	0	0	0	0	
		Produk 3	0	0	0	0	
Total produk dikirim keluar ke Pabrik 2		Produk 1	0	0	0	0	
		Produk 2	0	0	0	0	
		Produk 3	0	0	0	0	
		Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total
Gudang1	Produk1	1.50	0.80	0.50	1.50	3.00	0
	Produk2	1.00	0.90	1.20	1.30	2.10	0
	Produk3	1.25	0.70	1.10	0.80	1.60	0
Gudang2	Produk1	1.00	0.50	0.50	1.00	0.50	0
	Produk2	1.25	1.00	1.00	0.90	1.50	0
	Produk3	1.10	1.10	0.90	1.40	1.75	0
Gudang3	Produk1	1.00	1.50	2.00	2.00	0.50	0
	Produk2	0.90	1.35	1.45	1.80	1.00	0
	Produk3	1.25	1.20	1.75	1.70	0.85	0
Gudang4	Produk1	2.50	1.50	0.60	1.50	0.50	0
	Produk2	1.75	1.30	0.70	1.25	1.10	0
	Produk3	1.50	1.10	1.50	1.10	0.90	0
Total	Produk1	0	0	0	0	0	0
	Produk2	0	0	0	0	0	0
	Produk3	0	0	0	0	0	0
Permintaan							
	Produk1	30000	23000	15000	32000	16000	
	Produk2	20000	15000	22000	12000	18000	
	Produk3	25000	22000	16000	20000	25000	
Total biaya pengiriman		0					
Total biaya produksi		0					
Total Biaya		0					

Pemrograman Linier

Perumusan Masalah

Variabel Keputusan

- Jumlah produk yang dibuat di pabrik, dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili Pabrik 1 dan 2, $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, 2 dan 3 dan $k = 1, 2, 3$.
- Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke gudang, dinotasikan Y_{ijk} di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili Pabrik 1 dan 2, $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, 2, 3, dan $k = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, 2, 3, 4.
- Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke toko, dinotasikan Z_{ijl} di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili Pabrik 1 dan 2; $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, 2, 3; dan $l = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, 2, 3, 4, dan 5.
- Jumlah produk yang dikirimkan dari gudang ke toko, dinotasikan W_{kjl} di mana $k = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili Gudang 1, 2, 3 dan 4; $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Produk 1, 2, 3; dan $l = 1, 2, 3, 4, 5$ masing-masing mewakili Toko 1, 2, 3, 4 dan 5.

Kendala

- Jumlah produk yang dibuat di pabrik, jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko dan gudang ke toko ≥ 0 yang dirumuskan:

$$X_{ij} \geq 0, Y_{ijk} \geq 0, Z_{ijl} \geq 0 \text{ dan } W_{kjl} \geq 0$$

Total produk dikirim keluar dari Pabrik 1 dan 2 tidak boleh melebihi kapasitas pabrik, dirumuskan seperti di bawah ini:

Pabrik 1 Produk 1:

$$(Y_{111} + Y_{112} + Y_{113} + Y_{114}) + (Z_{111} + Z_{112} + Z_{113} + Z_{114} + Z_{115}) \leq X_{11}$$

Pabrik 1 Produk 2:

$$(Y_{121} + Y_{122} + Y_{123} + Y_{124}) + (Z_{121} + Z_{122} + Z_{123} + Z_{124} + Z_{125}) \leq X_{12}$$

Pabrik 1 Produk 3:

$$(Y_{131} + Y_{132} + Y_{133} + Y_{134}) + (Z_{131} + Z_{132} + Z_{133} + Z_{134} + Z_{135}) \leq X_{13}$$

Pabrik 2 Produk 1:

$$(Y_{211}+Y_{212}+Y_{213}+Y_{214})+(Z_{211}+Z_{212}+Z_{213}+Z_{214}+Z_{215})\leq X_{21}$$

Pabrik 2 Produk 2:

$$(Y_{221}+Y_{222}+Y_{223}+Y_{224})+(Z_{221}+Z_{222}+Z_{223}+Z_{224}+Z_{225})\leq X_{22}$$

Pabrik 2 Produk 3:

$$(Y_{231}+Y_{232}+Y_{233}+Y_{234})+(Z_{231}+Z_{232}+Z_{233}+Z_{234}+Z_{235})\leq X_{23}$$

- Kendala total pengiriman produk ke toko disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan, dan dirumuskan seperti di bawah ini:

$$\text{Toko 1 Produk 1: } Z_{111}+Z_{211}+W_{111}+W_{211}+W_{311}+W_{411}\geq 30000$$

$$\text{Toko 1 Produk 2: } Z_{121}+Z_{221}+W_{121}+W_{221}+W_{321}+W_{421}\geq 20000$$

$$\text{Toko 1 Produk 3: } Z_{131}+Z_{231}+W_{131}+W_{231}+W_{331}+W_{431}\geq 25000$$

$$\text{Toko 2 Produk 1: } Z_{112}+Z_{212}+W_{112}+W_{212}+W_{312}+W_{412}\geq 23000$$

$$\text{Toko 2 Produk 2: } Z_{122}+Z_{222}+W_{122}+W_{222}+W_{322}+W_{422}\geq 15000$$

$$\text{Toko 2 Produk 3: } Z_{132}+Z_{232}+W_{132}+W_{232}+W_{332}+W_{432}\geq 2200$$

$$\text{Toko 3 Produk 1: } Z_{113}+Z_{213}+W_{113}+W_{213}+W_{313}+W_{413}\geq 15000$$

$$\text{Toko 3 Produk 2: } Z_{123}+Z_{223}+W_{123}+W_{223}+W_{323}+W_{423}\geq 22000$$

$$\text{Toko 3 Produk 3: } Z_{133}+Z_{233}+W_{133}+W_{233}+W_{333}+W_{433}\geq 16000$$

$$\text{Toko 4 Produk 1: } Z_{114}+Z_{214}+W_{114}+W_{214}+W_{314}+W_{414}\geq 32000$$

$$\text{Toko 4 Produk 2: } Z_{124}+Z_{224}+W_{124}+W_{224}+W_{324}+W_{424}\geq 12000$$

$$\text{Toko 4 Produk 3: } Z_{134}+Z_{234}+W_{134}+W_{234}+W_{334}+W_{434}\geq 20000$$

$$\text{Toko 5 Produk 1: } Z_{115}+Z_{215}+W_{115}+W_{215}+W_{315}+W_{415}\geq 16000$$

$$\text{Toko 5 Produk 2: } Z_{125}+Z_{225}+W_{125}+W_{225}+W_{325}+W_{425}\geq 18000$$

$$\text{Toko 5 Produk 3: } Z_{135}+Z_{235}+W_{135}+W_{235}+W_{335}+W_{435}\geq 25000$$

- Total yang masuk ke gudang tidak boleh melebihi kapasitas gudang yang keluar:

$$\text{Kapasitas Gudang 1 Produk 1: } Y_{111}+Y_{211}\leq 35000$$

$$\text{Kapasitas Gudang 1 Produk 2: } Y_{121}+Y_{221}\leq 30000$$

Kapasitas Gudang 1 Produk 3: $Y_{131} + Y_{231} \leq 20000$

Kapasitas Gudang 2 Produk 1: $Y_{112} + Y_{212} \leq 20000$

Kapasitas Gudang 2 Produk 2: $Y_{122} + Y_{222} \leq 25000$

Kapasitas Gudang 2 Produk 3: $Y_{132} + Y_{232} \leq 20000$

Kapasitas Gudang 3 Produk 1: $Y_{113} + Y_{213} \leq 30000$

Kapasitas Gudang 3 Produk 2: $Y_{123} + Y_{223} \leq 15000$

Kapasitas Gudang 3 Produk 3: $Y_{133} + Y_{233} \leq 25000$

Kapasitas Gudang 4 Produk 1: $Y_{114} + Y_{214} \leq 15000$

Kapasitas Gudang 4 Produk 2: $Y_{124} + Y_{224} \leq 24000$

Kapasitas Gudang 4 Produk 3: $Y_{134} + Y_{234} \leq 20000$

- Total gudang k yang masuk = total gudang k yang keluar, dirumuskan:

Produk 1 Gudang 1:

$$Y_{111} + Y_{211} = W_{111} + W_{112} + W_{113} + W_{114} + W_{115}$$

Produk 2 Gudang 1:

$$Y_{121} + Y_{221} = W_{121} + W_{122} + W_{123} + W_{124} + W_{125}$$

Produk 3 Gudang 1:

$$Y_{131} + Y_{231} = W_{131} + W_{132} + W_{133} + W_{134} + W_{135}$$

Produk 1 Gudang 2:

$$Y_{112} + Y_{212} = W_{211} + W_{212} + W_{213} + W_{214} + W_{215}$$

Gudang 2 Produk 2:

$$Y_{122} + Y_{222} = W_{221} + W_{222} + W_{223} + W_{224} + W_{225}$$

Gudang 2 Produk 3:

$$Y_{132} + Y_{232} = W_{231} + W_{232} + W_{233} + W_{234} + W_{235}$$

Gudang 3 Produk 1:

$$Y_{113} + Y_{213} = W_{311} + W_{312} + W_{313} + W_{314} + W_{315}$$

Gudang 3 Produk 2:

$$Y_{123} + Y_{223} = W_{321} + W_{322} + W_{323} + W_{324} + W_{325}$$

Gudang 3 Produk 3:

$$Y_{133}+Y_{233}=W_{331}+W_{332}+W_{333}+W_{334}+W_{335}$$

Gudang 4 Produk 1:

$$Y_{114}+Y_{214}=W_{411}+W_{412}+W_{413}+W_{414}+W_{415}$$

Gudang 4 Produk 2:

$$Y_{124}+Y_{224}=W_{421}+W_{422}+W_{423}+W_{424}+W_{425}$$

Gudang 4 Produk 3:

$$Y_{134}+Y_{234}=W_{431}+W_{432}+W_{433}+W_{434}+W_{435}$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuannya adalah meminimalkan total biaya (pengiriman + produksi), di mana:

Total biaya produksi = total pembuatan produksi, yang dirumuskan:

$$4 X_{11}+5 X_{12}+3 X_{13}+2X_{21}+8X_{22}+6 X_{23}$$

di mana total biaya pengiriman adalah hasil dari biaya pengiriman dikalikan dengan jumlah pengiriman produk (dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko, gudang ke toko), yang dirumuskan:

$$(0,50Y_{111}+0,50Y_{112}+...+1,10Y_{234}) + (2,75Z_{111}+3,50Z_{112}+...+2,45Z_{235}) + (1,50W_{111}+0,80W_{112}+...+0,90W_{435})$$

menjadi:

$$(4X_{11}+5X_{12}+3X_{13}+2X_{21}+8X_{22}+6X_{23}) + (0.50Y_{111}+0.50Y_{112}+...+1.10Y_{234}) + (2.75Z_{111}+3.50Z_{112}+...+2.45Z_{235}) + (1.50V_{111}+0.80V_{112}+...+0.90V_{435})$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
7	Biaya untuk membuat produk(Rp. 10000)						
8		Produk1	Produk2	Produk3			
9	Pabrik1	4	5	3			
10	Pabrik2	2	8	6			
11							
12		Produk1	Produk2	Produk3	Biaya		
13	Pabrik1	0	0	0	0		
14	Pabrik2	0	0	0	0		
15					total biaya	0	
17	biaya pengiriman(Rp10000)per produk						
18							
19			<i>biaya</i>				
20	Pabrik1	Produk1	Gudang1	Gudang2	Gudang3	Gudang4	
21		Produk2	0.5	0.5	1	0.2	
22		Produk3	1	0.75	1.25	1.25	
23	Pabrik2	Produk1	0.75	1.25	1	0.8	
24		Produk2	1.5	0.3	0.5	0.2	
25		Produk3	1.25	0.8	1	0.75	
26			1.4	0.9	0.95	1.1	
27			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5
28	Pabrik1	Produk1	2.75	3.5	2.5	3	2.5
29		Produk2	2.5	3	2	2.75	2.6
30		Produk3	2.9	3	2.25	2.8	2.35
31	Pabrik2	Produk1	3	3.5	3.5	2.5	2
32		Produk2	2.25	2.95	2.2	2.5	2.1
33		Produk3	2.45	2.75	2.35	2.85	2.45
35			toko1	toko2	toko3	toko4	toko5
36	Gudang1	Produk1	1.5	0.8	0.5	1.5	3
37		Produk2	1	0.9	1.2	1.3	2.1
38		Produk3	1.25	0.7	1.1	0.8	1.6

Gambar 5.20a Tampilan awal dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
39	Gudang2	Produk1	1	0.5	0.5	1	0.5	
40		Produk2	1.25	1	1	0.9	1.5	
41		Produk3	1.1	1.1	0.9	2	0.5	
42	Gudang3	Produk1	1	1.5	2	1.8	1	
43		Produk2	0.9	1.35	1.45	1.7	0.05	
44		Produk3	1.25	1.2	1.75	1.5	0.5	
45	Gudang4	Produk1	2.5	1.5	0.6	1.25	1.1	
46		Produk2	1.75	1.3	0.7	1.1	0.9	
47		Produk3	1.5	1.1	1.5			
49	Jumlah produk yang dikirimkan							
50			Gudang1	Gudang2	Gudang3	Gudang4	Total	
51	Pabrik1	Produk1	0	0	0	0	0	
52		Produk2	0	0	0	0	0	
53		Produk3	0	0	0	0	0	
54	Pabrik2	Produk1	0	0	0	0	0	
55		Produk2	0	0	0	0	0	
56		Produk3	0	0	0	0	0	
57	Total	Produk1	0	0	0	0	0	
58		Produk2	0	0	0	0	0	
59		Produk3	0	0	0	0	0	
60	Kapasitas	Produk1	35,000	20,000	30,000	15,000		
61		Produk2	30,000	25,000	15,000	24,000		
62		Produk3	20,000	20,000	25,000	20,000		
64			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total
65	Pabrik1	Produk1	0	0	0	0	0	0
66		Produk2	0	0	0	0	0	0
67		Produk3	0	0	0	0	0	0
68	Pabrik2	Produk1	0	0	0	0	0	0
69		Produk2	0	0	0	0	0	0
70		Produk3	0	0	0	0	0	0
72								Kapasitas
73		total produk dikirim keluar dari pabrik1				Produk1	0	0
74						Produk2	0	0
75						Produk3	0	0
76		total produk dikirim keluar dari pabrik2				Produk1	0	0
77						Produk2	0	0
78						Produk3	0	0
80			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total
81	Gudang1	Produk1	0	0	0	0	0	0
82		Produk2	0	0	0	0	0	0
83		Produk3	0	0	0	0	0	0
84	Gudang2	Produk1	0	0	0	0	0	0
85		Produk2	0	0	0	0	0	0
86		Produk3	0	0	0	0	0	0
87	Gudang3	Produk1	0	0	0	0	0	0
88		Produk2	0	0	0	0	0	0
89		Produk3	0	0	0	0	0	0
90	Gudang4	Produk1	0	0	0	0	0	0
91		Produk2	0	0	0	0	0	0
92		Produk3	0	0	0	0	0	0
93	Total	Produk1	0	0	0	0	0	
94		Produk2	0	0	0	0	0	
95		Produk3	0	0	0	0	0	
96	Permintaan	Produk1	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000	
97		Produk2	20,000	15,000	22,000	12,000	18,000	
98		Produk3	25,000	22,000	16,000	20,000	25,000	
100	total biaya pengiriman		0					
101	total biaya produksi		0					
102	total biaya		0					

Gambar 5.20 b Tampilan awal dalam Excel

Berdasarkan Gambar 5.20, fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

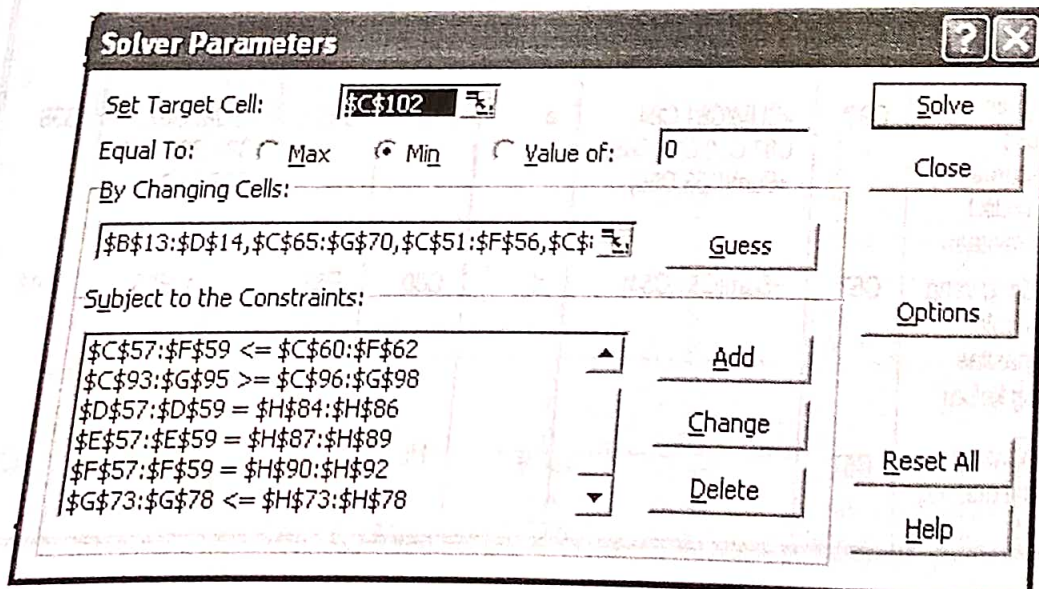
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah produk yang dibuat di pabrik	=B13:D14
Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke gudang	=C51:F56
Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke toko	=C65:G70
Jumlah produk yang dikirimkan dari gudang ke toko	=C81:G92

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Dikopi ke
Meminimalkan total biaya (pengiriman + produksi), di mana:	C102	=SUM(C100:C101)	-
Total biaya distribusi = total biaya untuk membuat produk Pabrik 1 dan 2 untuk Produk 1, 2, 3	C101	=SUMPRODUCT(B9:D10,B13:D14)	-
Total biaya pengiriman adalah biaya pengiriman (dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko, dan gudang ke toko) dikalikan dengan jumlah produk yang dikirimkan (dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko, dan gudang ke toko)	C100	=SUMPRODUCT(C20:F25,C51:F56)+SUMPRODUCT(C28:G33,C65:G70)+SUMPRODUCT(C36:G47,C81:G92)	-

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopi	Formula	Batas Kopi
Total produk yang dikirim keluar dari Pabrik 1 Produk 1 tidak boleh melebihi kapasitas Pabrik 1 Produk 1	G73	=SUM(C51:F51, C65:G65)	$\leq$	H73	G78	=SUM(C56: F56, C70: G70)	H78
Total pengiriman produk ke toko disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan	C93	=SUM(C81,C84, C87,C90,C65,C68) =Sum(C53,C56)	$\geq$	C96	G95	=SUM(G67, G70,G83,G86 G89,G92)	G98
Total ke gudang yang masuk tidak boleh melebihi kapasitas gudang yang keluar	C57	=Sum(C51,C54)	$\leq$	C60	F59	=Sum(F53, F56)	F62
Total gudang yang masuk = total gudang yang keluar	C57		=	H81	F59	=Sum(F53, F56)	H92

Setelah memasukkan rumus implementasi awal dengan Solver di Excel, tampil Solver Parameters seperti Gambar 5.21 di bawah ini dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya yaitu total biaya produksi (sama dengan total pembuatan produksi) ditambah dengan biaya pengiriman yang telah dikalikan dengan jumlah pengiriman produk dari pabrik ke gudang, pabrik ke toko, dan gudang ke toko (cell C102).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan yaitu jumlah produk yang dibuat di pabrik (cell B13:D14), Jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke gudang (cell C51:F56), jumlah produk yang dikirimkan dari pabrik ke toko (cell C65:G70) dan jumlah produk yang dikirimkan dari gudang ke toko (cell C81:G92).
- Subject to the Constraints adalah kendala yaitu total produk dikirim keluar dari Pabrik 1 dan 2 (cell G73:G78) tidak boleh melebihi kapasitas pabrik (cell H73:H78), total pengiriman produk ke toko (cell C93:G95) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan (cell C96:G98), total ke gudang yang masuk (cell C57:F59) tidak boleh melebihi kapasitas gudang yang keluar (cell C60:F62), total gudang k yang masuk (cell C57:F59) adalah sama dengan total gudang k yang keluar (cell H81:H92).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul gambar 5.21 di bawah ini:



Gambar 5.21 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan gambar 5.3.

Tampilan Akhir dengan Solver dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G
7	<i>biaya untuk membuat produk (xRp10000 per produk)</i>						
8		produk1	produk2	produk3			
9	Pabrik1	4	5	3			
10	Pabrik2	2	8	6			
11							
12		Produk1	Produk2	Produk3	Biaya		
13	Pabrik1	0	87000	108000	759000		
14	Pabrik2	116000	0	0	232000		
15				Total biaya	991000		
17	<i>Biaya pengiriman (xRp10000 per produk)</i>						
18			<i>Tujuan</i>				
19			Gudang1	Gudang2	Gudang3	Gudang4	
20	Pabrik1	Produk1	0.5	0.5	1	0.2	
21		Produk2	1	0.75	1.25	1.25	
22		Produk3	0.75	1.25	1	0.8	
23	Pabrik2	Produk1	1.5	0.3	0.5	0.2	
24		Produk2	1.25	0.8	1	0.75	
25		Produk3	1.4	0.9	0.95	1.1	
27			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5
28	Pabrik1	Produk1	2.75	3.5	2.5	3	2.5
29		Produk2	2.5	3	2	2.75	2.6
30		Produk3	2.9	3	2.25	2.8	2.35
31	Pabrik2	Produk1	3	3.5	3.5	2.5	2
32		Produk2	2.25	2.95	2.2	2.5	2.1
33		Produk3	2.45	2.75	2.35	2.85	2.45
35			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5
36	Gudang1	Produk1	1.5	0.8	0.5	1.5	3
37		Produk2	1	0.9	1.2	1.3	2.1
38		Produk3	1.25	0.7	1.1	0.8	1.6

Gambar 5.22a Tampilan akhir solusi dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
39	Gudang2	Produk1	1	0.5	0.5	1	0.5	
40		Produk2	1.25	1	1	0.9	1.5	
41		Produk3	1.1	1.1	0.9	1.4	1.75	
42	Gudang3	Produk1	1	1.5	2	2	0.5	
43		Produk2	0.9	1.35	1.45	1.8	1	
44		Produk3	1.25	1.2	1.75	1.7	0.85	
45	Gudang4	Produk1	2.5	1.5	0.6	1.5	0.5	
46		Produk2	1.75	1.3	0.7	1.25	1.1	
47		Produk3	1.5	1.1	1.5	1.1	0.9	
49	<i>Jumlah produk yang dikirimkan</i>							
50			Gudang1	Gudang2	Gudang3	Gudang4	Total	
51	Pabrik1	Produk1	0	0	0	0	0	
52		Produk2	30,000	25,000	15,000	17,000	87,000	
53		Produk3	20,000	20,000	25,000	20,000	85,000	
54	Pabrik2	Produk1	18,000	20,000	30,000	15,000	83,000	
55		Produk2	0	0	0	0	0	
56		Produk3	0	0	0	0	0	
57	Total	Produk1	18,000	20,000	30,000	15,000		
58		Produk2	30,000	25,000	15,000	17,000		
59		Produk3	20,000	20,000	25,000	20,000		
60	Kapasitas	Produk1	35,000	20,000	30,000	15,000		
61		Produk2	30,000	25,000	15,000	24,000		
62		Produk3	20,000	20,000	25,000	20,000		
64			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total
65	Pabrik1	Produk1	0	0	0	0	0	0
66		Produk2	0	0	0	0	0	0
67		Produk3	0	0	16,000	0	7,000	23,000
68	Pabrik2	Produk1	0	0	0	32,000	1,000	33,000
69		Produk2	0	0	0	0	0	0
70		Produk3	0	0	0	0	0	0

Gambar 5.22b Tampilan akhir solusi dalam Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
72								Kapasitas
73			Total produk dikirim keluar dari pabrik1				Produk1	0
74						Produk2	87,000	87,000
75						Produk3	108,000	108,000
76			total produk dikirim keluar dari pabrik2				Produk1	116,000
77						Produk2	0	0
78						Produk3	0	0
80			Toko1	Toko2	Toko3	Toko4	Toko5	Total
81	Gudang1	Produk1	0	3,000	15,000	0	0	18,000
82		Produk2	20,000	10,000	0	0	0	30,000
83		Produk3	0	20,000	0	0	0	20,000
84	Gudang2	Produk1	0	20,000	0	0	0	20,000
85		Produk2	0	5,000	8,000	12,000	0	25,000
86		Produk3	20,000	0	0	0	0	20,000
87	Gudang3	Produk1	30,000	0	0	0	0	30,000
88		Produk2	0	0	0	0	15,000	15,000
89		Produk3	5,000	2,000	0	0	18,000	25,000
90	Gudang4	Produk1	0	0	0	0	15,000	15,000
91		Produk2	0	0	14,000	0	3,000	17,000
92		Produk3	0	0	0	20,000	0	20,000
93	Total	Produk1	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000	
94		Produk2	20,000	15,000	22,000	12,000	18,000	
95		Produk3	25,000	22,000	16,000	20,000	25,000	
96	Permintaan	Produk1	30,000	23,000	15,000	32,000	16,000	
97		Produk2	20,000	15,000	22,000	12,000	18,000	
98		Produk3	25,000	22,000	16,000	20,000	25,000	
100	Total biaya pengiriman		575450					
101	total biaya produksi		991000					
102	total biaya		1566450					

Gambar 5.22c Tampilan akhir solusi dalam Excel

Dari Gambar 5.22, diketahui bahwa total biaya pengiriman Rp 575.450,00 dan total biaya produksi Rp 991.000,00 sehingga total biaya Rp 1.566.450,00. Biaya untuk membuat Produk 2 dan 3 di Pabrik 1 masing-masing sebesar (87000×5) dan (108000×3) , sedangkan di Pabrik 2 untuk Produk 1 sebesar (116000×2) .

Analisis Sensitivitas

Gambar di bawah ini adalah hasil output dari running solver:

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Variabel keputusan							
7				Final	Reduced	Objective	Allowable	Allowable
8	Cell	Name	Value	Cost	Coefficient	Increase	Decrease	
9	B13	Pabrik1 Produk1	0	1.000011071	4.000007175	1E+30	1.000011071	
10	C13	Pabrik1 Produk2	87000	0	5	2.50000864	5	
11	D13	Pabrik1 Produk3	108000	0	3	2.650006148	3	
12	B14	Pabrik2 Produk1	116000	0	2	1.000011096	2	
13	C14	Pabrik2 Produk2	0	2.500008577	8.00001435	1E+30	2.500008577	
14	D14	Pabrik2 Produk3	0	2.650006081	5.99999121	1E+30	2.650006081	
15	C65	Produk1 Toko1	0	1	2.750009298	1E+30	0.949997884	
16	D65	Produk1 Toko2	0	2	3.500003368	1E+30	2.199999581	
17	E65	Produk1 Toko3	0	1	2.499995753	1E+30	1.499991959	
18	F65	Produk1 Toko4	0	1	2.99999956	1E+30	1.499995778	
19	G65	Produk1 Toko5	0	1	2.499995753	1E+30	1.499991959	
20	C66	Produk2 Toko1	0	0	2.499995753	1E+30	0.449997624	
21	D66	Produk2 Toko2	0	1	2.99999956	1E+30	1.050001429	
22	E66	Produk2 Toko3	0	0	2.000015229	1E+30	0.050017097	
23	F66	Produk2 Toko4	0	1	2.750009298	1E+30	0.900011164	
24	G66	Produk2 Toko5	0	0	2.599996515	1E+30	0.249998393	
25	C67	Produk3 Toko1	0	0	2.899998799	1E+30	0.14999996	
26	D67	Produk3 Toko2	0	0	2.99999956	1E+30	0.30000072	
27	E67	Produk3 Toko3	16,000	0	2.25	0.300006876	5.25	
28	F67	Produk3 Toko4	0	0	2.799998038	6.91215E-06	0.099984318	
29	G67	Produk3 Toko5	7,000	0	2.35	0.0500002	6.91215E-06	
30	C68	Produk1 Toko1	0	0	2.99999956	1E+30	0.199992719	
31	D68	Produk1 Toko2	0	1	3.500003368	1E+30	1.200004153	
32	E68	Produk1 Toko3	0	2	3.500003368	1E+30	1.500004146	
33	F68	Produk1 Toko4	32,000	0	2.5	0.30000764	4.5	
34	G68	Produk1 Toko5	1,000	0	2	0.30000382	0.100004584	
35	C69	Produk2 Toko1	0	1	2.250005491	1E+30	0.700011442	
36	D69	Produk2 Toko2	0	2	2.950010821	1E+30	1.50001677	

Gambar 5.23a Hasil analisis sensitivitas

	A	B	C	D	E	F	G	H
37	E69	Produk2 Toko3	0	1	2.199993469	1E+30	0.749999417	
38	F69	Produk2 Toko4	0	1	2.499995753	1E+30	1.150001699	
39	G69	Produk2 Toko5	0	0	2.099992707	1E+30	0.249998666	
40	C70	Produk3 Toko1	0	0	2.450007014	1E+30	0.050000199	
41	D70	Produk3 Toko2	0	0	2.750009298	1E+30	0.400002482	
42	E70	Produk3 Toko3	0	0	2.350006253	1E+30	0.449999425	
43	F70	Produk3 Toko4	0	0	2.849986777	1E+30	0.399980763	
44	G70	Produk3 Toko5	0	0	2.450007014	1E+30	0.450000189	
45	C51	Produk1 Gudang1	0	0	0.500003807	0.949997884	1.000011071	
46	D51	Produk1 Gudang2	0	1	0.500003807	1E+30	1.19999997	
47	E51	Produk1 Gudang3	0	2	1.000007614	1E+30	1.500003782	
48	F51	Produk1 Gudang4	0	1	0.200001523	1E+30	0.999997683	
49	C52	Produk2 Gudang1	30,000	0	1	0.05	1E+30	
50	D52	Produk2 Gudang2	25,000	0	0.75	0.2	1E+30	
51	E52	Produk2 Gudang3	15,000	0	1.25	0.1	1E+30	
52	F52	Produk2 Gudang4	17,000	0	1.25	0.050017099	0.05	
53	C53	Produk3 Gudang1	20,000	0	0.75	1.00000382	1E+30	
54	D53	Produk3 Gudang2	20,000	0	1.25	0.4	0.0500002	
55	E53	Produk3 Gudang3	25,000	0	1	0.29998874	1E+30	
56	F53	Produk3 Gudang4	20,000	0	0.8	0.649978245	1E+30	
57	C54	Produk1 Gudang1	18,000	0	1.5	0.100004584	0.30000382	
58	D54	Produk1 Gudang2	20,000	0	0.3	1.2	1E+30	
59	E54	Produk1 Gudang3	30,000	0	0.5	1.30000764	1E+30	
60	F54	Produk1 Gudang4	15,000	0	0.2	0.999997708	1E+30	
61	C55	Produk2 Gudang1	0	1	1.249997877	1E+30	0.750003801	
62	D55	Produk2 Gudang2	0	1	0.800006092	1E+30	0.55001201	
63	E55	Produk2 Gudang3	0	0	1.000007614	1E+30	0.250013545	
64	F55	Produk2 Gudang4	0	0	0.749994069	0.249998666	2.500008577	
65	C56	Produk3 Gudang1	0	1	1.40001066	1E+30	1.000003795	
66	D56	Produk3 Gudang2	0	0	0.900006853	0.050000199	2.650006081	
67	E56	Produk3 Gudang3	0	0	0.949995592	1E+30	0.299988733	

Gambar 5.23b Hasil analisis sensitivitas

	A	B	C	D	E	F	G	H
68	F56	Produk3 Gudang4	0	1	1.099985093	1E+30	0.649978228	
69	C81	Produk1 Toko1	0	0	1.499988139	1E+30	0.199980532	
70	D81	Produk1 Toko2	3,000	0	0.8	0.199980537	0.30000382	
71	E81	Produk1 Toko3	15,000	0	0.5	0.100004584	4	
72	F81	Produk1 Toko4	0	0	1.499988139	1E+30	0.499988164	
73	G81	Produk1 Toko5	0	2	2.99999956	1E+30	2.499999573	
74	C82	Produk2 Toko1	20,000	0	1	0.149997908	7.05	
75	D82	Produk2 Toko2	10,000	0	0.9	0.05	0.149997908	
76	E82	Produk2 Toko3	0	0	1.200009137	1E+30	0.30000916	
77	F82	Produk2 Toko4	0	0	1.299986616	1E+30	0.499986636	
78	G82	Produk2 Toko5	0	1	2.099992707	1E+30	0.79999274	
79	C83	Produk3 Toko1	0	0	1.249997877	1E+30	0.499997896	
80	D83	Produk3 Toko2	20,000	0	0.7	6.91215E-06	1E+30	
81	E83	Produk3 Toko3	0	1	1.099985093	1E+30	0.849985099	
82	F83	Produk3 Toko4	0	0	0.800006092	1E+30	6.91215E-06	
83	G83	Produk3 Toko5	0	1	1.600012183	1E+30	1.250012192	
84	C84	Produk1 Toko1	0	0	1.000007614	0.199980532	0.300011452	
85	D84	Produk1 Toko2	20,000	0	0.5	0.30000382	0.199980537	
86	E84	Produk1 Toko3	0	0	0.500003807	1E+30	0.300003812	
87	F84	Produk1 Toko4	0	0	1.000007614	1E+30	0.300007632	
88	G84	Produk1 Toko5	0	0	0.500003807	1E+30	0.300003813	
89	C85	Produk2 Toko1	0	0	1.249997877	1E+30	0.149997904	
90	D85	Produk2 Toko2	5,000	0	1	0.149997908	0.05	
91	E85	Produk2 Toko3	8,000	0	1	0.05	0.200006876	
92	F85	Produk2 Toko4	12,000	0	0.9	0.499986649	6.85	
93	G85	Produk2 Toko5	0	0	1.499988139	1E+30	0.099988174	
94	C86	Produk3 Toko1	20,000	0	1.1	0.049985121	1E+30	
95	D86	Produk3 Toko2	0	0	1.099985093	1E+30	0.049985119	
96	E86	Produk3 Toko3	0	0	0.900006853	1E+30	0.300006868	
97	F86	Produk3 Toko4	0	0	1.40001066	1E+30	0.25001149	
98	G86	Produk3 Toko5	0	1	1.750001684	1E+30	1.050001702	

Gambar 5.23c Hasil analisis sensitivitas

	A	B	C	D	E	F	G	H
99	C87	Produk1 Toko1	30,000		0	1	0.30001146	1E+30
100	D87	Produk1 Toko2	0		1	1.499988139	1E+30	0.999995791
101	E87	Produk1 Toko3	0		2	2.000015229	1E+30	1.800022874
102	F87	Produk1 Toko4	0		1	2.000015229	1E+30	1.300022886
103	G87	Produk1 Toko5	0		0	0.500003807	1E+30	0.300011452
104	C88	Produk2 Toko1	0		0	0.900006853	1E+30	0.200006871
105	D88	Produk2 Toko2	0		1	1.349998638	1E+30	0.749998654
106	E88	Produk2 Toko3	0		1	1.449999399	1E+30	0.849999415
107	F88	Produk2 Toko4	0		1	1.800013706	1E+30	1.300013719
108	G88	Produk2 Toko5	15,000		0	1	0.1	1E+30
109	C89	Produk3 Toko1	5,000		0	1.25	0.0500002	0.049985121
110	D89	Produk3 Toko2	2,000		0	1.2	0.049985121	6.91215E-06
111	E89	Produk3 Toko3	0		1	1.750001684	1E+30	1.000001703
112	F89	Produk3 Toko4	0		0	1.699989662	1E+30	0.399990495
113	G89	Produk3 Toko5	18,000		0	0.85	6.91215E-06	0.0500002
114	C90	Produk1 Toko1	0		1	2.499995753	1E+30	1.199988146
115	D90	Produk1 Toko2	0		1	1.499988139	1E+30	0.699988159
116	E90	Produk1 Toko3	0		0	0.600004569	1E+30	0.100004581
117	F90	Produk1 Toko4	0		0	1.499988139	1E+30	0.499988164
118	G90	Produk1 Toko5	15,000		0	0.5	0.100004584	1E+30
119	C91	Produk2 Toko1	0		1	1.750001684	1E+30	0.950001704
120	D91	Produk2 Toko2	0		1	1.299986616	1E+30	0.599986634
121	E91	Produk2 Toko3	14,000		0	0.7	0.050017099	0.05
122	F91	Produk2 Toko4	0		1	1.249997877	1E+30	0.649997892
123	G91	Produk2 Toko5	3,000		0	1.1	0.099988176	0.1
124	C92	Produk3 Toko1	0		0	1.499988139	1E+30	0.449987365
125	D92	Produk3 Toko2	0		0	1.099985093	1E+30	0.099984318
126	E92	Produk3 Toko3	0		1	1.499988139	1E+30	0.949987352
127	F92	Produk3 Toko4	20,000		0	1.1	0.09998432	1E+30
128	G92	Produk3 Toko5	0		0	0.900006853	1E+30	0.250006069

Gambar 5.23d Hasil analisis sensitivitas

	A	B	C	D	E	F	G	H
130	kendala							
131				Final	Shadow	Constraint	Allowable	Allowable
132		Cell	Name	Value	Price	R.H. Side	Increase	Decrease
133	G73	Produk1 Toko5	0	-3	0	18000.00045	0	0
134	G74	Produk2 Toko5	87,000	-5	0	87000	1E+30	1E+30
135	G75	Produk3 Toko5	108,000	-3	0	108000	1E+30	1E+30
136	G76	Produk1 Toko5	116,000	-2	0	116000	1E+30	1E+30
137	G77	Produk2 Toko5	0	-6	0	17000.00043	0	0
138	G78	Produk3 Toko5	0	-3	0	20000.00051	0	0
139	C93	Produk1 Toko1	30,000	5	30000	17000	0	0
140	D93	Produk1 Toko2	23,000	4	23000	17000	3000	3000
141	E93	Produk1 Toko3	15,000	4	15000	17000	15000	15000
142	F93	Produk1 Toko4	32,000	4	32000	1E+30	32000	32000
143	G93	Produk1 Toko5	16,000	4	16000	1E+30	1000	1000
144	C94	Produk2 Toko1	20,000	7	20000	7000	5000	5000
145	D94	Produk2 Toko2	15,000	7	15000	7000	5000	5000
146	E94	Produk2 Toko3	22,000	7	22000	7000	14000	14000
147	F94	Produk2 Toko4	12,000	7	12000	7000	12000	12000
148	G94	Produk2 Toko5	18,000	7	18000	7000	3000	3000
149	C95	Produk3 Toko1	25,000	6	25000	18000	5000	5000
150	D95	Produk3 Toko2	22,000	6	22000	18000	2000	2000
151	E95	Produk3 Toko3	16,000	5	16000	1E+30	16000	16000
152	F95	Produk3 Toko4	20,000	6	20000	1E+30	0	0
153	G95	Produk3 Toko5	25,000	5	25000	1E+30	7000	7000
154	C57	Produk1 Gudang1	18,000	0	35000	1E+30	17000	17000
155	D57	Produk1 Gudang2	20,000	-1	20000	3000	17000	17000
156	E57	Produk1 Gudang3	30,000	-1	30000	0	17000	17000
157	F57	Produk1 Gudang4	15,000	-1	15000	1000	15000	15000
158	C58	Produk2 Gudang1	30,000	0	30000	5000	7000	7000
159	D58	Produk2 Gudang2	25,000	0	25000	14000	7000	7000
160	E58	Produk2 Gudang3	15,000	0	15000	3000	7000	7000
161	F58	Produk2 Gudang4	17,000	0	24000	1E+30	7000	7000
162	C59	Produk3 Gudang1	20,000	-1	20000	2000	18000	18000
163	D59	Produk3 Gudang2	20,000	0	20000	5000	18000	18000
164	E59	Produk3 Gudang3	25,000	0	25000	7000	18000	18000
165	F59	Produk3 Gudang4	20,000	-1	20000	0	20000	20000
166	C57	Produk1 Gudang1	18,000	3	0	17000	18000	18000
167	C58	Produk2 Gudang1	30,000	6	0	7000	5000	5000
168	C59	Produk3 Gudang1	20,000	5	0	18000	2000	2000
169	D57	Produk1 Gudang2	20,000	4	0	17000	3000	3000
170	D58	Produk2 Gudang2	25,000	6	0	7000	14000	14000
171	D59	Produk3 Gudang2	20,000	5	0	18000	5000	5000
172	E57	Produk1 Gudang3	30,000	4	0	17000	0	0
173	E58	Produk2 Gudang3	15,000	6	0	7000	3000	3000
174	E59	Produk3 Gudang3	25,000	4	0	18000	7000	7000
175	F57	Produk1 Gudang4	15,000	3	0	15000	1000	1000
176	F58	Produk2 Gudang4	17,000	6	0	7000	17000	17000
177	F59	Produk3 Gudang4	20,000	5	0	20000	0	0

Gambar 5.23e Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- Pada Gambar 5.23, kolom E9 sampai E128 menunjukkan terjadinya reduced cost (pembengkakan biaya) pada biaya untuk membuat Produk 1 di Pabrik 1. Misalnya Pabrik 1 menaikkan biaya untuk membuat produk sebesar Rp X (sebelumnya dalam solusi optimalnya untuk biaya pembuatan produk bernilai 0) sehingga total biaya untuk membuat produk menjadi $1x$, yaitu $\text{Rp } 991.000,00 + \text{Rp } 1x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D133 sampai D177 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E133 sampai E177 memuat shadow price. Pada kolom E133, terjadi penurunan total jumlah produk yang dikirim keluar dari Pabrik 1 Produk 1 sebesar -3 unit sehingga maka solusi optimalnya menjadi $\text{Rp } 1.566.450,00 - 1X$, di mana pengurangan total jumlah produk dikirim keluar dari Pabrik 1 Produk 1 dibatasi sampai 0 unit dari batas jumlah produk yang dikirimkan sebesar 0 unit. Adapun penambahan jumlah produk yang dikirimkan dibatasi sampai 18000 unit dari batas total jumlah Produk 1 yang dikirim keluar dari Pabrik 1 Produk 1 sebesar 0 unit, menjadi maksimal 18000 unit. Demikian juga untuk batas jumlah produk yang lain.

-oo0oo -

BAB 6

MASALAH KEUANGAN

Dalam bab ini, ada beberapa masalah dalam bidang keuangan yang akan dibahas, antara lain:

Masalah Sertifikat Deposito

Sebuah bank ingin menginvestasikan kelebihan sertifikat deposito (CDs) tunai dalam bulan 1, bulan 3 dan bulan 6. Bank mengharapkan penggunaan sertifikat deposito (CDs) tunai dalam waktu 6 bulan ke depan dan yang terpenting ingin meyakinkan uang deposito dan bunga dari sertifikat deposito (CDs) untuk kebutuhan pengambilan tunai bunga dari sertifikat deposito (CDs) ditambah dengan batas pengaman berupa uang deposito. Untuk penyederhanaan, diasumsikan 3 bulan sertifikat deposito (CDs) hanya bisa dibeli pada awal bulan 1 dan 4, sertifikat deposito (CDs) bulan 6 hanya bisa dibeli dalam bulan 1. Pertama, bank menyediakan modal awal Rp 400.000,00. Berapa tarikan awal, tarikan akhir, penghasilan NPV serta berapa bunga (bulan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6) dari sertifikat deposito (CDs) yang harus bank putuskan untuk memperbesar bunga yang diperoleh dan memenuhi batas pengaman berupa uang deposito Rp.100.000,00 setiap bulan? Di bawah ini adalah tabel pengelolaan modal dalam bentuk sertifikat deposito (xRp 10.000,00):

	Bunga	Jangka Waktu	Harga	Pesanan CDs (Bulan)			
1 bulan CDs	1%	1	Rp 2.000,00	1, 2, 3, 4, 5 dan 6			
3 bulan CDs	4%	3	Rp 3.000,00	1 dan 4			
6 bulan CDs	9%	6	Rp 5.000,00	1			
Bulan	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4	Bulan 5	Bulan 6	Terakhir
Modal awal	400000	0	0	0	0	0	0
Matur CDs		0	0	0	0	0	0
Bunga		0	0	0	0	0	0
CDs 1 Bulan	0	0	0	0	0	0	
CDs 3 Bulan	0			0			
CDs 6 Bulan	0						
Tarikan Awal	0	0	0	0	0	0	0
Tarikan Akhir	0	0	0	0	0	0	0

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusannya adalah jumlah dari pembelian sertifikat deposito i dalam setiap bulan j yang dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili sertifikat deposito 1 bulan, 3 bulan dan 6 bulan, serta $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ masing-masing mewakili bulan 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dapat dirumuskan sebagai pemaksimuman total bunga deposito, yaitu:

$$Z = (X_{11}(2000)(1\%)) + (X_{12}(2000)(1\%)) + (X_{13}(2000)(1\%)) + (X_{21}(4\%)(3000)) + (X_{14}(1\%)(2000)) + (X_{15}(1\%)(2000)) + (X_{16}(1\%)(2000)) + (X_{24}(3000)(4\%)) + (X_{31}(5000)(9\%))$$

Kendala

Kendala dirumuskan sebagai berikut:

- Pembayaran tunai secara bulanan

$$\text{Bulan 1: } 400000 - (2000X_{11} + 3000X_{21} + 5000X_{31}) - 75000$$

$$\text{Bulan 2: } (100000 + 2000X_{11} + (2000 \times 1\% \times X_{11})) - ((2000X_{12}) - (-10000))$$

$$\text{Bulan 3: } (100000 + 2000X_{12} + (2000 \times 1\% \times X_{12})) - (2000X_{13}) - (-20000)$$

$$\text{Bulan 4: } (100000 + (2000X_{13} + 3000X_{21}) + (2000 \times 1\% \times X_{13} + 3000 \times 1\% \times X_{21})) - (2000X_{14} + 3000X_{24}) - 80000$$

$$\text{Bulan 5: } (100000 + (2000X_{14} + 2000 \times 1\% \times X_{24})) - (2000X_{15}) - 50000$$

$$\text{Bulan 6: } (100000 + (2000X_{15}) + (2000 \times X_{15} \times 1\%)) - (2000X_{16}) - (-15000)$$

Bulan terakhir:

$$(100000 + (2000X_{16} + 3000X_{24} + 5000X_{31}) + (2000 \times 1\% \times X_{16} + 3000 \times 4\% \times X_{24} + 5000 \times 9\% \times X_{31})) - 0 - 60000$$

Sertifikat deposito 1 bulan, 3 bulan dan 6 bulan = integer

$$X_{ij} = \text{integer}$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	Formula Bar	E	F	G	H	I
19									
20									
21									
22									
23	1-mo CDs:	bunga	syarat	biaya	pesanan CDs per bulan				
24	3-mo CDs:	1.0%	1	2,000	1, 2, 3, 4, 5 and 6				
25	6-mo CDs:	4.0%	3	3,000	1 and 4				
26		9.0%	6	5,000	1				
27									
28	bulan								
29	modal awal	bulan 1	bulan 2	bulan 3	bulan 4	bulan 5	bulan 6	terakhir	
30	Matur CDs:	400,000	0	0	0	0	0	0	0
31	bunga:	0	0	0	0	0	0	0	0
32	1-month CDs:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
33	3-month CDs:	0.00							
34	6-month CDs:	0.00							
35	pengambilan tunai	75,000	(10,000)	(20,000)	80,000	50,000	(15,000)	60,000	
36	Pengambilan akhir	0	0	0	0	0	0	0	

Gambar 6.1 Tampilan dalam Excel

Dari Gambar 6.1 diketahui bahwa fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

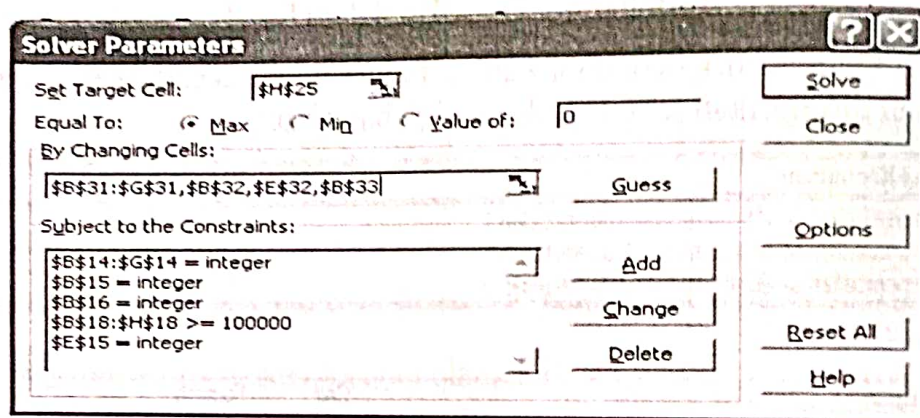
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pembelian sertifikat deposito 1 dalam bulan 1	=(B31:G31)
Jumlah pembelian sertifikat deposito 2 dalam bulan 2	=(B32,E32)
Jumlah pembelian sertifikat deposito 3 dalam bulan 3	=(B33)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Memaksimalkan total bunga deposito yang diperoleh di mana:	H25	=SUM(C30:H30)
Bunga sertifikat deposito bulan 2	C30	=B31*D25*B25
Bunga sertifikat deposito bulan 3	D30	=C31*D25*B25
Bunga sertifikat deposito bulan 4	E30	=D31*D25*B25+B32*B24*D24
Bunga sertifikat deposito bulan 5	F30	=E31*D23*B23
Bunga sertifikat deposito bulan 6	G30	=F31*D23*B23
Bunga sertifikat deposito bulan terakhir	H30	=G31*D23*B23+E32*B24*D24+B33*D25*B25

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopi	Dikopi ke	Batas
Pengambilan dalam bulan 1	B35	=Sum(B28:B30)-SUMPRODUCT(B31:B33,D23:D25)-B34	≥	10000	H35	=Sum(H28:H30)-SUMPRODUCT(H31:H33,D28:D30)-H34	10000

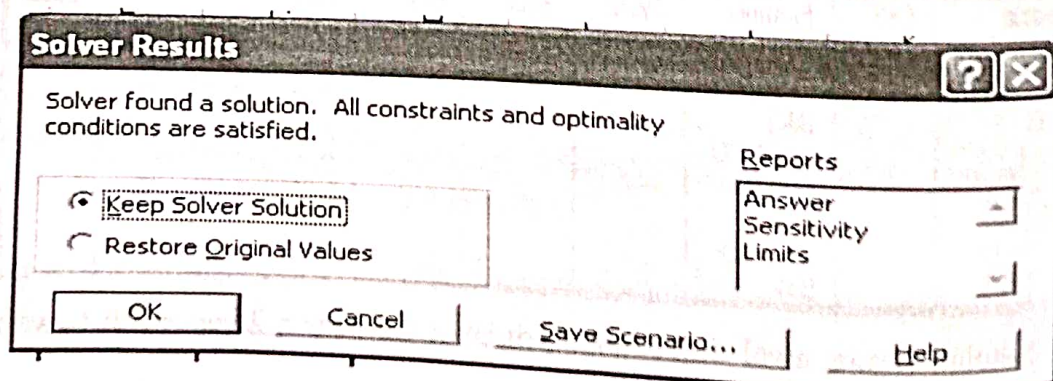
Setelah rumus awal dimasukkan, didapat Gambar 5.2 seperti di bawah ini dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk memaksimalkan total bunga deposito (cell H25).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan dinotasikan dengan x_i yang menyatakan sertifikat deposito 1 bulan (cell B31:G31), 3 bulan (cell B32,E32), 6 bulan (cell B33).
- Subject to the Constraints adalah kendala dalam pengambilan sertifikat deposito bulan i (cell B35:H35).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul Solver Parameters seperti Gambar 6.2 di bawah ini:



Gambar 6.2 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah semua fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dimasukkan ke dalam Solver Parameters pada Gambar 6.2, tekan Solve sehingga muncul Solver Results. Klik **keep solver solution**. Pilih **answer**, kemudian tekan OK untuk menemukan jawaban yang meliputi fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan. Selanjutnya, muncul Gambar 6.3.



Gambar 6.3 Solver Results dalam Excel

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
19									
20									
21									
22		<i>bunga</i>	<i>syarat</i>	<i>biaya</i>	<i>pesanan CDs per bulan</i>				
23	1-mo CDs:	1.0%	1	2,000	1, 2, 3, 4, 5 and 6				
24	3-mo CDs:	4.0%	3	3,000	1 and 4				
25	6-mo CDs:	9.0%	6	5,000	1				
26								<i>bunga yang diperoleh</i>	
27								Total	16,420.00
28	<i>bulan</i>	<i>bulan 1</i>	<i>bulan 2</i>	<i>bulan 3</i>	<i>bulan 4</i>	<i>bulan 5</i>	<i>bulan 6</i>	<i>akhir</i>	
29	modal awal	400,000	100,000	100,000	100,100	100,600	101,100	100,100	
30	Matur CDs:		0	10,000	135,000	50,000	0	145,000	
31	bunga:		0	100	4,500	500	0	11,320	
32	1-month CDs:	0.00	5.00	15.00	25.00	0.00	8.00		
33	3-month CDs:	35.00							
34	6-month CDs:	24.00			3.00				
35	<i>pengambilan tunai</i>	75,000	(10,000)	(20,000)	80,000	50,000	(15,000)	60,000	
36	<i>Pengambilan akhir</i>	100,000	100,000	100,100	100,600	101,100	100,100	196,420	

Gambar 6.4 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Dari Gambar 6.4 di atas, bank seharusnya memperoleh matur sertifikat deposito pada bulan 3, 4, 5, 6 dan akhir dengan masing-masing sebesar 10000, 135000, 50000, 0 dan 145000. Bunga pada bulan 3, 4, 5, 6 dan akhir masing-masing sebesar 100, 4500, 500, 0 dan 11320; bunga (1 bulan sertifikat deposito) pada bulan 1, 2, 3, 4, 5, 6 masing-masing sebesar 0%, 5%, 15%, 25%, 0%, 8%; bunga (3 bulan sertifikat deposito) pada bulan 1 dan 4 masing-masing sebesar 35% dan 3%; bunga (6 bulan sertifikat deposito) pada bulan 1 sebesar 24%. Pengambilan akhir pada bulan 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan akhir masing-masing sebesar Rp 100.000,00, Rp 100.000,00, Rp 100.100,00, Rp 100.600,00, Rp 101.100,00, Rp 100,100,00 dan Rp 196.420,00.

Masalah Modal Anggaran Belanja 1

Dalam dua masalah modal anggaran belanja berikut, Anda akan melihat bagaimana cara perusahaan memaksimalkan NPV (Net Present Value) dengan mengombinasikan dari kesempatan investasi yang ada dalam modal anggaran belanja 1. Adapun pada modal anggaran belanja 2 perusahaan ingin memaksimalkan NPV (Net Present Value) lewat keputusan untuk investasi dengan jalan mengombinasikan dari kesempatan investasi yang ada.

Sebuah perusahaan memiliki 6 kesempatan yang berbeda dalam menginvestasikan uangnya. Setiap kesempatan membutuhkan beberapa investasi untuk sebuah periode 6 tahun atau kurang, dan perusahaan ingin memperbesar gabungan NPV (Net Present Value) dari 6 kesempatan maksimum yang membutuhkan investasi sampai 6 tahun yang mengharuskan pemenuhan penanaman kebutuhan anggaran belanja setiap tahun. Setiap tahun, perusahaan hanya menyediakan jumlah uang yang terbatas (dalam juta). Suku bunga adalah 5% dan diasumsikan sebagian investasi dalam sebuah

kesempatan. Untuk contoh, jika perusahaan membagi investasi 50% dari jumlah kebutuhan dan diharapkan akan kembali menjadi 50% dalam sebuah kesempatan, bagaimana seharusnya perusahaan berinvestasi dan berapa total aliran dana dari Tahun 1 sampai Tahun 6, penghasilan dan total NPV dari kesempatan 1 sampai kesempatan 6, serta berapa persen investasi yang didapat dalam kesempatan 1 sampai 6? Di bawah ini adalah tabel dari model anggaran belanja 1:

Perkiraan aliran dana dan nilai investasi (xRp 10.000,00)								
Kesempatan	1	2	3	4	5	6	Anggaran	Kelebihan
Tahun 1	(5)	(9)	(12)	(7)	(20)	(18)	45	45
Tahun 2	(6)	(6)	(10)	(5)	6	(15)	30	30
Tahun 3	(16)	6,10	(5)	(20)	6	(10)	20	20
Tahun 4	12	4	(5)	(10)	6	(10)	0	0
Tahun 5	14	5	25	(15)	6	35	0	0
Tahun 6	15	5	15	75	6	35	0	0
NPV	8.01	2.20	1.85	7.51	5.69	5.93		
Keputusan untuk Investasi								
Kesempatan	1	2	3	4	5	6		
	0	0	0	0	0	0		
Aliran dana							Total Anggaran	Kelebihan
Tahun 1	0	0	0	0	0	0	45	45
Tahun 2	0	0	0	0	0	0	30	30
Tahun 3	0	0	0	0	0	0	20	20
Tahun 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Tahun 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Tahun 6	0	0	0	0	0	0	0	0
Hasil							Total	
NPV	0	0	0	0	0	0	0	0

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusannya adalah persentase keuntungan investasi dalam kesempatan i yang dinotasikan dengan X_i di mana $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ masing-masing mewakili kesempatan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6.

Kendala

- Persentase keuntungan investasi dalam kesempatan i yang dirumuskan $X_i \leq 1$ di mana $i = 1, 2, 3, 4, 5$ dan 6 masing-masing mewakili kesempatan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6.
- Kenyataan bahwa perusahaan memiliki kelebihan anggaran belanja tiap bulan ≥ 0 yang dirumuskan:

$$\text{Tahun 1: } (-5X_1) + (-9X_2) + (-12X_3) + (-7X_4) + (-20X_5) + (-18X_6) + 45$$

$$\text{Tahun 2: } (-6X_1) + (-6X_2) + (-10X_3) + (-5X_4) + (6X_5) + (-15X_6) + 30$$

$$\text{Tahun 3: } (-16X_1) + (6.1X_2) + (-5X_3) + (-20X_4) + (6X_5) + (-10X_6) + 20$$

$$\text{Tahun 4: } (12X_1) + (4X_2) + (-5X_3) + (-10X_4) + (6X_5) + (-10X_6) + 0$$

$$\text{Tahun 5: } (14X_1) + (5X_2) + (25X_3) + (-15X_4) + (6X_5) + (35X_6) + 0$$

$$\text{Tahun 6: } (15X_1) + (5X_2) + (15X_3) + (75X_4) + (6X_5) + (35X_6) + 0$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah memaksimalkan total NPV yang dirumuskan:

$$8.01X_1 + 2.20X_2 + 1.85X_3 + 7.51X_4 + 5.69X_5 + 5.93X_6$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
4													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													

Gambar 6.5 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 6.5 diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

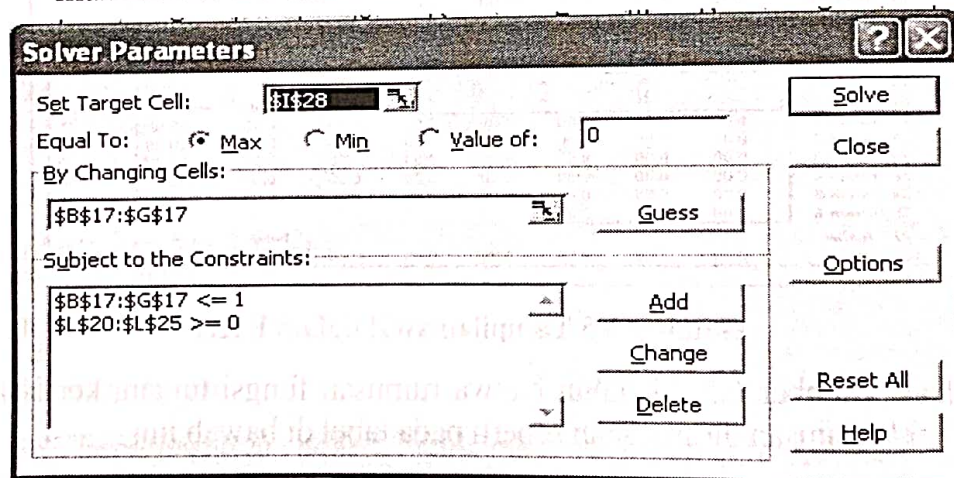
Variabel Keputusan	Cell
Persentase keuntungan investasi dalam kesempatan 1 sampai 6	=(B17:G17)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Memaksimalkan total NPV, di mana:	I28	=SUM(B28:G28)
Total NPV Tahun 1	B28	=B17*B14
Total NPV Tahun 2	C28	=C17*C14
Total NPV Tahun 3	D28	=D17*D14
Total NPV Tahun 4	E28	=E17*E14
Total NPV Tahun 5	F28	=F17*F14
Total NPV Tahun 6	G28	=G17*G14

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopy	Dikopi ke	Batas
Kelebihan anggaran belanja Tahun 1	L20	=SUMPRODUCT(B8:G8,B17:G17)+K20	$\geq$	0	L25	=SUMPRODUCT(B13:G13, B25:G25)+K25	0

Setelah memasukkan rumus implementasi awal seperti tabel di atas, akan tampil Parameter Solvers seperti Gambar 6.6 di bawah ini dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk memaksimalkan total NPV (cell I28).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan persentase untuk investasi dalam Tahun 1 sampai Tahun 6 (cell B17:G17).
- Subject to the Constraints adalah kendala kelebihan anggaran belanja Tahun 1 sampai Tahun 6 (cell L20:L25).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan, kendala dan linier dalam solver maka akan muncul Solver Parameters:



Gambar 6.6 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 6.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
6	Perkiraan aliran dana dan nilai investasi											
7		Opp. 1	Opp. 2	Opp. 3	Opp. 4	Opp. 5	Opp. 6					
8	tahun1	(5.00)	(9.00)	(12.00)	(7.00)	(20.00)	(10.00)					
9	tahun2	(6.00)	(6.00)	(10.00)	(5.00)	6.00	(15.00)					
10	tahun3	(16.00)	6.10	(5.00)	(20.00)	6.00	(10.00)					
11	tahun4	12.00	4.00	(5.00)	(10.00)	6.00	(10.00)					
12	tahun5	14.00	5.00	25.00	(15.00)	6.00	35.00					
13	tahun6	15.00	5.00	15.00	75.00	6.00	35.00					
14	NPV	8.01	2.20	1.85	7.51	5.69	5.93					
16	Persentase untuk invest											
17		100%	100%	0%	62%	100%	37%					
18												
19	Aliran dana											
20	Tahun1	-5.00	-9.00	0.00	-4.34	-20.00	-6.66	Total	Anggaran	kelebihan anggaran		
21	Tahun2	-6.00	-6.00	0.00	-3.10	6.00	-5.55	-45.00	45.00	anggaran		
22	Tahun3	-16.00	6.10	0.00	-12.40	6.00	-3.70	-14.65	30.00	belanja		
23	Tahun4	12.00	4.00	0.00	-6.20	6.00	-3.70	-20.00	20.00	0.00		
24	Tahun5	14.00	5.00	0.00	-9.30	6.00	12.95	12.10	0.00	12.10		
25	Tahun6	15.00	5.00	0.00	46.50	6.00	12.95	28.65	0.00	28.65		
26								85.45	0.00	85.45		
27	Hasil											
28	NPV	8.01	2.20	0.00	4.65	5.69	2.19	Total	22.74			

Gambar 6.7 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Dari Gambar 6.7, diperoleh jawaban bahwa pabrik seharusnya menginvestasi pada kesempatan 1, 2 dan 5 dengan nilai sebesar 100%, dan total NPV = 22.74, di mana NPV tahun 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing mewakili 8.01, 2.20, 0.00, 4.65, 5.69, dan 2.19. Kelebihan anggaran belanja Tahun 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar Rp 0,-, Rp 15,35,-, Rp 0,-, Rp 12,10,-, Rp 28,65,-, Rp 85,45,-. Aliran dana Tahun 1 dalam kesempatan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar -5, -9, 0, -4.34, -20, -6.66 dengan total -45. Aliran dana Tahun 2 dalam kesempatan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar -6, -6, 0, -3.10, 6, -5.55 dengan total -14.65. Aliran dana Tahun 3 dalam kesempatan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar -16, 6.10, 0, -12.40, 6, -3.70, dengan total -20; aliran dana Tahun 4 masing-masing sebesar 12, 4, 0, -6.20, 6, -3.70, dengan total 12.10; aliran dana Tahun 5 masing-masing sebesar 14, 5, 0, -9.30, 6, 12.95 dengan total 28.65; dan aliran dana Tahun 6 masing-masing sebesar 15, 5, 0, 46.50, 6, 12.95 dengan total 85.45, serta persentase untuk investasi dalam kesempatan 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar 100%, 100%, 0%, 62%, 100%, 37%.

Analisis Sensitivitas

Di bawah ini adalah tabel dari hasil output running solver:

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Variabel keputusan							
7								
8	Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
9	B17	Opp. 1	100%	209%	8.009543768	1E+30	2.093341166	
10	C17	Opp. 2	100%	282%	2.195321624	1E+30	2.816125584	
11	D17	Opp. 3	0%	-156%	1.849818532	1.563481676	1E+30	
12	E17	Opp. 4	62%	0%	7.507671473	2.550709824	4.087469566	
13	F17	Opp. 5	100%	463%	5.692247642	1E+30	4.631958869	
14	G17	Opp. 6	37%	0%	5.927254656	3.039068036	2.173418919	
15								
16	Kendala							
17								
18	Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease	
19	L20	Tahun1 Kelebihan	0.00	(0.15)	0	5.365	9.135	
20	L21	Tahun2 Kelebihan	15.35	0.00	0	15.35	1E+30	
21	L22	Tahun3 Kelebihan	0.00	(0.32)	0	9.988888889	6.122222222	
22	L23	Tahun4 Kelebihan	12.10	0.00	0	12.1	1E+30	
23	L24	Tahun5 Kelebihan	28.65	0.00	0	28.65	1E+30	
24	L25	Tahun6 Kelebihan	85.45	0.00	0	85.45	1E+30	

Gambar 6.8 Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- Pada kolom cell E3 sampai E14 terjadi reduced cost (pembengkakan total investasi) bernilai 209%. Misalnya dalam kesempatan 1 perusahaan menaikkan investasi sebesar X% maka pembengkakan total investasi menjadi 209X% dan nilai solusi optimalnya menjadi $22.74 + 209X\%$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas biaya investasi 1E+30 (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D19 sampai D24 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E19 sampai E24, memuat shadow price. Terjadi penurunan biaya investasi karena bernilai -0.15, di mana pengurangan biaya investasi dibatasi sampai Rp 9.135,00 dari batas total biaya investasi -0.15. Adapun penambahan total biaya pengiriman dibatasi sampai Rp 15,35,00 dari batas total biaya pengiriman sebesar Rp 15,35,00 yaitu maksimal Rp 30,7,00. Demikian juga untuk batas keputusan yang lain.

Masalah Modal Anggaran Belanja 2

Masalah modal anggaran belanja 2 merupakan pengembangan dari modal anggaran belanja 1 dengan tambahan kendala. Sekali lagi pabrik membuat keputusan bagaimana dan berapa besar investasi dalam 6 kesempatan yang berbeda. Bagaimanapun, saat ini pabrik hanya bisa berinvestasi 100% atau

malah mengabaikan keputusan sehingga investasi menjadi 0%. Di bawah ini adalah tabel dari modal anggaran belanja 2:

Perkiraan aliran dana dan nilai investasi (xRp 10.000,00)						
Kesempatan	1	2	3	4	5	6
Tahun 1	(5)	(9)	(12)	(7)	(20)	(18)
Tahun 2	(6)	(6)	(10)	(5)	6	(15)
Tahun 3	(16)	6.10	(5)	(20)	6	(10)
Tahun 4	12	4	(5)	(10)	6	(10)
Tahun 5	14	5	25	(15)	6	35
Tahun 6	15	5	15	75	6	35
NPV	8.01	2.20	1.85	7.51	5.69	5.93

Keputusan untuk Investasi						
Kesempatan	1	2	3	4	5	6
	0	0	0	0	0	0
Aliran Dana						
Tahun 1	0	0	0	0	0	0
Tahun 2	0	0	0	0	0	0
Tahun 3	0	0	0	0	0	0
Tahun 4	0	0	0	0	0	0
Tahun 5	0	0	0	0	0	0
Tahun 6	0	0	0	0	0	0
Hasil						
NPV	0	0	0	0	0	0

	Total	Anggaran	Kelebihan
Tahun 1	0	0	45
Tahun 2	0	0	30
Tahun 3	0	0	20
Tahun 4	0	0	0
Tahun 5	0	0	0
Tahun 6	0	0	0
Hasil			
NPV	0	0	0

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala sama dengan masalah modal anggaran belanja 1 karena dalam modal anggaran belanja 1 kebutuhan investasi antara 0 dan 100%. Adapun sekarang, dalam modal anggaran belanja 2, dibutuhkan keputusan pabrik untuk investasi yang bernilai 0 atau 1. Dengan demikian, terdapat tambahan kendala yang dirumuskan sebagai berikut:

Keputusan menginvestasikan = biner (bilangan bulat)

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = \text{biner}$$

di mana $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 \geq 0$ dan bukan negative

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
6	Perkiraan aliran dana dan nilai investasi											
7		Opp. 1	Opp. 2	Opp. 3	Opp. 4	Opp. 5	Opp. 6					
8	Tahun1	(5.00)	(9.00)	(12.00)	(7.00)	(20.00)	(18.00)					
9	Tahun2	(6.00)	(6.00)	(10.00)	(5.00)	6.00	(15.00)					
10	Tahun3	(16.00)	6.10	(5.00)	(20.00)	6.00	(10.00)					
11	Tahun4	12.00	4.00	(5.00)	(10.00)	6.00	35.00					
12	Tahun5	14.00	5.00	25.00	(15.00)	6.00	35.00					
13	Tahun6	15.00	5.00	15.00	75.00	6.00	35.00					
14	NPV	8.01	2.20	1.85	7.51	5.69	5.93					
16	Keputusan invest											
17		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
18												
19	Aliran dana											
20	Tahun1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Total	45.00	45.00		
21	Tahun2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	belanja	30.00	30.00		
22	Tahun3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	belanja	20.00	20.00		
23	Tahun4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		
24	Tahun5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		
25	Tahun6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00		
27	Hasil							Total				
28	NPV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					

Gambar 6.9 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 6.9 diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

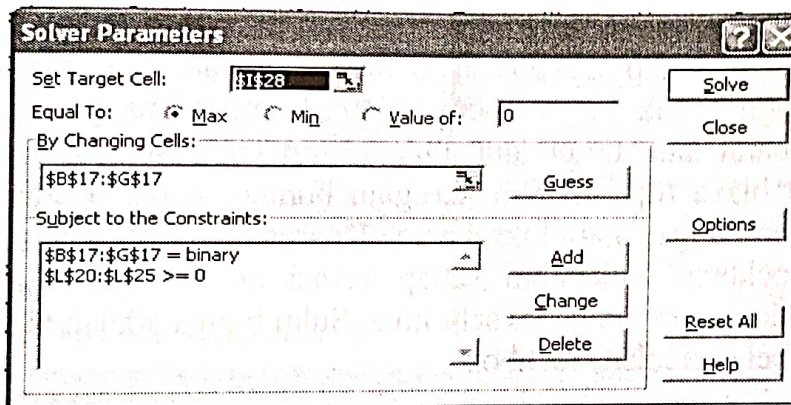
Variabel Keputusan	Cell
Persentase keuntungan investasi dalam kesempatan 1 sampai 6	=(B17:G17)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Memaksimalkan total NPV, di mana:	I28	=SUM(B28:G28)
Total NPV Tahun 1	B28	=B17*B14
Total NPV Tahun 2	C28	=C17*C14
Total NPV Tahun 3	D28	=D17*D14
Total NPV Tahun 4	E28	=E17*E14
Total NPV Tahun 5	F28	=F17*F14
Total NPV Tahun 6	G28	=G17*G14

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kori	Dikopi ke	Batas
Kelebihan anggaran belanja Tahun 1	L20	=SUMPRODUCT(B8:G8,B17:G17)+K20	$\geq$	0	L25	=SUMPRODUCT(B13:G13, B25:G25)+K25	0
Keputusan investasi dalam kesempatan 1	B17	B17	=	0 atau 1	G17	G17	=0 atau 1

Setelah memasukkan rumus implementasi awal dengan Solver di Excel, tampil Solver Parameters seperti gambar 6.10 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk memaksimalkan total NPV (cell I28).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan untuk investasi dalam Tahun 1 sampai Tahun 6 (cell B17:G17).
- Subject to the Constraints adalah kendala kelebihan anggaran belanja Tahun 1 sampai Tahun 6 yang disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi 0 (cell L20:L25) dan keputusan investasi dari kesempatan 1 sampai 6 disyaratkan sama dengan bilangan bulat (cell B17:G17).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam Solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala, maka akan muncul berikut ini:



Gambar 6.10 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 6.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
6	Perkiraan aliran dana dan nilai investasi											
7		Opp. 1	Opp. 2	Opp. 3	Opp. 4	Opp. 5	Opp. 6					
8	Tahun1	(5.00)	(9.00)	(12.00)	(7.00)	(20.00)	(18.00)					
9	Tahun2	(5.00)	(6.00)	(10.00)	(5.00)	6.00	(15.00)					
10	Tahun3	(15.00)	6.10	(5.00)	(20.00)	6.00	(10.00)					
11	Tahun4	12.00	4.00	(5.00)	(10.00)	6.00	(10.00)					
12	Tahun5	14.00	5.00	25.00	(15.00)	6.00	35.00					
13	Tahun6	15.00	5.00	15.00	75.00	6.00	35.00					
14	NPV	8.01	2.20	1.85	7.51	5.69	5.93					
16	Keputusan invest											
17		1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00					
18												
19	Aliran dana							Total	Anggaran		kelebihan	
20									belanja	anggaran	belanja	
21	Tahun1	-5.00	0.00	0.00	0.00	-20.00	-18.00	-43.00	45.00		2.00	
22	Tahun2	-6.00	0.00	0.00	0.00	6.00	-15.00	-15.00	30.00		15.00	
23	Tahun3	-16.00	0.00	0.00	0.00	6.00	-10.00	-20.00	20.00		0.00	
24	Tahun4	12.00	0.00	0.00	0.00	6.00	-10.00	8.00	0.00		8.00	
25	Tahun5	14.00	0.00	0.00	0.00	6.00	35.00	55.00	0.00		55.00	
26	Tahun6	15.00	0.00	0.00	0.00	6.00	35.00	56.00	0.00		56.00	
27	Hasil							Total				
28	NPV	8.01	0.00	0.00	0.00	5.69	5.93	19.63				

Gambar 6.11 Tampilan akhir solusi dalam Excel

Berdasarkan Gambar 6.11 di atas, keputusan investasi dilakukan pada kesempatan 1, 5, 6 karena bernilai 1. Kelebihan anggaran belanja pada Tahun 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar 2, 15, 0, 8, 55, 56. Total aliran dana Tahun 1, 2, 3, 4, 5 dan 6 masing-masing sebesar -43, -15, -20, 8, 55 dan 56. Hasil NPV pada kesempatan 1, 5 dan 6 masing-masing sebesar 8.01, 5.69 dan 5.93 dengan total NPV = 19.63.

Masalah Lokasi Lockbox

Sebuah pabrik ingin mengurangi kerugian bunga (*float*) untuk pembayaran yang ditarik ke penundaan pengiriman pos jika diterima setiap hari. Pembukaan lockbox dilakukan di 6 kota yang berbeda. Pabrik melakukan pembukaan lockbox untuk mereduksi kehilangan bunga dalam pembayaran pengiriman pos. Setiap lockbox akan membutuhkan sejumlah uang setiap beberapa tahun untuk biaya operasi. Pabrik menerima pembayaran dari lokasi area barat laut, timur laut, utara, barat daya, selatan dan tenggara. Berapa total biaya (operasi dan kerugian bunga), biaya operasi, dan total biaya kerugian bunga dalam lokasi area? Di area manakah seharusnya pabrik membuka lockbox? Diketahui setiap lokasi area hanya bisa mengirim pembayaran kerugian bunga ke satu kota. Suku bunga adalah 6%. Di bawah ini adalah tabel dari lokasi lockbox:

	Lokasi Area					
	Barat Laut	Utara	Timur Laut	Barat Daya	Selatan	Tenggara
Pembayaran Harian	325000	475000	300000	275000	385000	350000
Kota Tujuan	Seattle	Chicago	New York	LA	Dallas	Miami
Biaya Operasi	55000	50000	60000	30000	58000	55000
Jumlah rata-rata pengiriman pos per hari						
	Seattle	Chicago	New York	LA	Dallas	Miami
Barat laut	2	5	5	4	6	8
Utara	4	2	4	6	6	6
Timur laut	5	5	2	8	7	5
Barat daya	4	6	8	2	4	5
Selatan	6	6	6	4	2	5
Tenggara	8	8	5	5	5	2

Penugasan dari area ke kota tujuan							
	Seattle	Chicago	New York	LA	Dallas	Miami	Total
Barat laut	0	0	0	0	0	0	0
Utara	0	0	0	0	0	0	0
Timur laut	0	0	0	0	0	0	0
Barat daya	0	0	0	0	0	0	0
Selatan	0	0	0	0	0	0	0
Tenggara	0	0	0	0	0	0	0
Keputusan	0	0	0	0	0	0	0
Lockbox							
Kerugian Bunga							
	Seattle	Chicago	New York	LA	Dallas	Miami	
Barat laut	0	0	0	0	0	0	
Utara	0	0	0	0	0	0	
Timur laut	0	0	0	0	0	0	
Barat daya	0	0	0	0	0	0	
Selatan	0	0	0	0	0	0	
Tenggara	0	0	0	0	0	0	
Total Kerugian Bunga							0
Biaya Operasi							0
Total Biaya							0

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Dalam masalah ini, terdapat 2 variabel keputusan, yaitu:

- Penugasan dari area ke kota tujuan dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ masing-masing mewakili barat laut, utara, timur laut, barat daya, selatan, tenggara; dan $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ masing-masing mewakili Seattle, Chicago, New York, LA, Dallas, Miami.
- Keputusan lockbox dinotasikan dengan Y_k di mana $k = 1, 2, 3, 4, 5$ dan 6 yang masing-masing mewakili Seattle, Chicago, New York, LA, Dallas, dan Miami.

Kendala

- Penugasan dari area ke kota dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{ij} = \text{biner}$$

- Keputusan lockbox dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_k = \text{biner}$$

- Total penugasan dari area ke kota = 1 dirumuskan sebagai berikut:

Area barat laut tujuan dari Seattle sampai Miami: $X_{11} + X_{12} + \dots + X_{15} = 1$

Area utara tujuan dari Seattle sampai Miami: $X_{21} + \dots + X_{25} = 1$

Area timur laut tujuan dari Seattle sampai Miami: $X_{31} + \dots + X_{35} = 1$

Area barat daya tujuan dari Seattle sampai Miami: $X_{41} + \dots + X_{45} = 1$

Area selatan tujuan dari Seattle sampai Miami: $X_{51} + \dots + X_{55} = 1$

Area tenggara tujuan dari Seattle sampai Miami: $X_{61} + \dots + X_{65} = 1$

- Penugasan dari area ke kota untuk Chicago tidak boleh melebihi keputusan lockbox Chicago, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42} + X_{52} + X_{62} \leq Y_2$$

- Penugasan dari area ke kota untuk Dallas tidak boleh melebihi keputusan lockbox Dallas, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45} + X_{55} + X_{65} \leq Y_5$$

- Penugasan dari area ke kota untuk LA tidak boleh melebihi keputusan lockbox LA, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44} + X_{54} + X_{64} \leq Y_4$$

- Penugasan dari area ke kota untuk Seattle tidak boleh melebihi keputusan lockbox Seattle, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41} + X_{51} + X_{61} \leq Y_1$$

- Penugasan dari area ke kota untuk New York tidak boleh melebihi keputusan lockbox New York, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43} + X_{53} + X_{63} \leq Y_3$$

- Penugasan dari area ke kota untuk Miami tidak boleh melebihi keputusan lockbox Miami, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} + X_{46} + X_{56} + X_{66} \leq Y_6$$

di mana $X_{ij}, Y_i \geq 0$ dan bukan negatif

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan total kerugian bunga dan biaya operasional, dirumuskan sebagai berikut:

Total kerugian bunga:

$$Z = (32500 \times 2 \times X_{11} \times 6\%) + \dots + (325000 \times 8 \times X_{16} \times 6\%) + (475000 \times 4 \times X_{21} \times 6\%) + \dots + (475000 \times 6 \times X_{26} \times 6\%) + (300000 \times 5 \times X_{31} \times 6\%) + \dots + (300000 \times 5 \times X_{36} \times 6\%) + (275000 \times 4 \times X_{41} \times 6\%) + \dots + (275000 \times 5 \times X_{46} \times 6\%) + (385000 \times 6 \times X_{51} \times 6\%) + \dots + (385000 \times 5 \times X_{56} \times 6\%) + (350000 \times 8 \times X_{61} \times 6\%) + \dots + (350000 \times 2 \times X_{66} \times 6\%)$$

Biaya operasional:

$$Y = 55000Y_1 + 50000Y_2 + 60000Y_3 + 53000Y_4 + 58000Y_5 + 55000Y_6$$

Jadi, total biaya = Y+Z

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
6	Lokasi area									
7		baratlaut	utara	timurlaut	baratdaya	selatan	tenggara			
8	pembayaran harian	325000.00	475000.00	300000.00	275000.00	385000.00	350000.00			
10	Kota tujuan									
11		Seattle	Chicago	New York	L.A	Dallas	Miami			
12	biaya operasional	55000.00	50000.00	60000.00	53000.00	58000.00	55000.00			
14	jumlah rata-rata persentase perhari									
15		Seattle	Chicago	New York	L.A	Dallas	Miami			
16	baratlaut	2	5	5	4	6	8			
17	utara	4	2	4	6	6	6			
18	timurlaut	5	5	2	8	7	5			
19	baratdaya	4	6	8	2	4	5			
20	selatan	6	6	6	4	2	5			
21	tenggara	8	8	5	5	5	2			
23	pengeluaran dari area ke kota									
24		Seattle	Chicago	New York	L.A	Dallas	Miami	Total		
25	baratlaut	1	0	0	0	0	0	1		
26	utara	2.49E-22	1	0	0	0	0	1		
27	timurlaut	1.239E-22	1	0	0	0	0	1		
28	baratdaya	1	0	0	0	0	0	1		
29	selatan	0	0	0	0	1	0	1		
30	tenggara	0	0	0	0	0	1	1		
32	keputusan lockbox	1	1	0	0	1	1			
34	kerugian bunga									
35		Seattle	Chicago	New York	L.A	Dallas	Miami			
36	baratlaut	39.000	0	0	0	0	0			
37	utara	0	57.000	0	0	0	0			
38	timurlaut	0	90.000	0	0	0	0			
39	baratdaya	66.000	0	0	0	0	0			
40	selatan	0	0	0	0	0	0			
41	tenggara	0	0	0	0	0	42.000			
42								total kerugian bunga	294.000	
43								biaya operasi	218.000	
44								total biaya	512.000	
45										

Gambar 6.12 Tampilan awal dalam Excel

Dari Gambar 6.12 fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dapat dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Pengalasan dari area ke kota tujuan	=(B25:G30)
Keputusan lockbox	=(B32:G32)

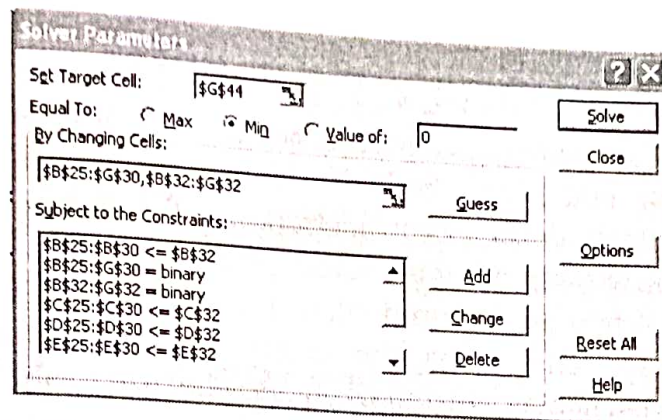
Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopi	Formula Kopi
Meminimalkan total biaya, di mana:	G44	=SUM(G42:G43)	-	-
Biaya operasi	G43	=SUMPRODUCT	-	-
Total biaya Kerugian bunga, di mana:	G42	(B12:G12,B32:G32)	-	-
Kerugian bunga untuk area barat laut tujuan Seattle	B35	=SUM (B35:G40) =B8*B16*B25*6%	G40	=G8*G21*G30*6%

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopy	Dikopi ke	Batas
Total penugasan dari area barat laut ke kota Seattle sampai Miami, di mana:	H25	=SUM(B25:G25)	=	1	H30	=SUM(B30:G30)	1
Penugasan dari area ke kota untuk Seattle tidak boleh melebihi keputusan lockbox Seattle	B25: B30	=SUM(B25:B30)	≤	1	G25: G30	=SUM(B31:G31)	1

Setelah memasukkan rumus implementasi awal dengan Solver di Excel, tampil Solver Parameters seperti Gambar 6.13 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya di mana total biaya kerugian bunga ditambahkan dengan biaya operasional (cell G44).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan penugasan dari area ke kota (cell B25:G30) dan keputusan lockbox (cell B32:G32).
- Subject to the Constraints adalah kendala total penugasan dari area ke kota (cell H25:H30) sama dengan biner, keputusan lockbox (cell B32:G32) sama dengan biner, penugasan dari area ke kota untuk Seattle (cell B25:B30) tidak boleh melebihi keputusan lockbox Seattle (cell B32), penugasan dari area ke kota untuk Chicago (cell C25:C30) tidak boleh melebihi keputusan lockbox Chicago (cell C32), penugasan dari area ke kota untuk New York (cell D25:D30) tidak boleh melebihi keputusan lockbox New York (cell D32), penugasan dari area ke kota untuk LA (cell E25:E30) tidak boleh melebihi keputusan lockbox LA (cell E32), penugasan dari area ke kota untuk Dallas (cell F25:F30) tidak boleh melebihi keputusan lockbox Dallas (cell F32), penugasan dari area ke kota untuk Miami (cell G25:G30) tidak boleh melebihi keputusan lockbox Miami (cell G32)

Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam solver dan memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 6.13 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 6.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
6	Lokasi area								
7		baratlaut	utara	timurlaut	baratdaya	selatan	tenggara		
8	pembayaran harian	325000 00	475000 00	300000 00	275000 00	385000 00	350000 00		
10	Kota tujuan								
11		Seattle	Chicago	New York	L.A.	Dallas	Miami		
12	biaya operasional	55000 00	50000 00	60000 00	53000 00	58000 00	55000 00		
14	Jumlah rata rata pengiriman per pesawat								
15		Seattle	Chicago	New York	L.A.	Dallas	Miami		
16	baratlaut	2	5	5	4	6	8		
17	utara	4	2	4	6	6	6		
18	timurlaut	5	5	2	8	7	5		
19	baratdaya	4	6	8	2	4	5		
20	selatan	6	6	6	4	2	5		
21	tenggara	8	8	5	5	5	2		
23	pengiriman dari area ke kota								
24		Seattle	Chicago	New York	L.A.	Dallas	Miami	Total	
25	baratlaut	1	0	0	0	0	0	1	
26	utara	2.49E-22	1	0	0	0	0	1	
27	timurlaut	1.238E-22	1	0	0	0	0	1	
28	baratdaya	1	0	0	0	0	0	1	
29	selatan	0	0	0	0	1	0	1	
30	tenggara	0	0	0	0	0	1	1	
31	keputusan lockbox								
32		1	1	0	1	1			
34	Kerugian bunga								
35		Seattle	Chicago	New York	L.A.	Dallas	Miami		
36	baratlaut	39.000	0	0	0	0	0		
37	utara	0	57.000	0	0	0	0		
38	timurlaut	0	90.000	0	0	0	0		
39	baratdaya	66.000	0	0	0	0	0		
40	selatan	0	0	0	0	0	0		
41	tenggara	0	0	0	0	0	42.000		
42	total kerugian bunga						294.000		
43	biaya operasi						218.000		
44	total biaya						512.000		

Gambar 6.14 Tampilan akhir Solver dalam Excel

Berdasarkan Gambar 6.14, perusahaan membuka lockbox di 4 kota yaitu Seattle, Chicago, Dallas, Miami karena bernilai 1. Sementara itu, kerugian bunga di Seattle untuk area barat laut adalah Rp 39.000,00, barat daya = Rp 66.000,00; Chicago untuk area utara Rp 57.000,00 dan timur laut Rp 90.000,00; dan Miami untuk area tenggara Rp 42.000,00. Total kerugian bunga Rp 294.000,00, biaya operasi Rp 218.000,00 dan total biaya secara keseluruhan Rp 512.000,00.

Masalah Pembukaan Pabrik Baru

Sebuah pabrik ingin memperkecil biaya pengiriman barang dari 3 pabrik ke 5 gudang dalam kota yang berbeda dengan menempatkan permintaan produksi ke gudang dekat pusat metropolis. Permintaan tersebut tidak melebihi persediaan yang ada dari setiap perusahaan dan dapat memenuhi permintaan dari setiap area metropolitan. Pabrik berlokasi di daerah South Carolina, Tennessee dan Arizona, dan sedang dipikirkan rencana pembukaan di Arkansas. Manajemen memikirkan pembukaan pabrik baru untuk menurunkan biaya distribusi. Bagaimana seharusnya perusahaan menentukan lokasi pabrik baru? Berapa jumlah pengiriman produk dari pabrik ke gudang untuk meminimalkan biaya pengiriman? Di bawah ini adalah tabel dari program rencana pembukaan/penutupan pabrik:

Lokasi pabrik	jumlah pengiriman produk dari pabrik x ke gudang y (unit)					
	Total	San Fran	Denver	Chicago	Dallas	New York
S. Carolina	0	0	0	0	0	0
Tennessee	0	0	0	0	0	0
Arizona	0	0	0	0	0	0
Arkansas	0	0	0	0	0	0
Totals:		0	0	0	0	0
	Permintaan	180	80	200	160	220
Lokasi pabrik	Biaya pengiriman dari pabrik x ke gudang y (xRp. 10000)					
	Kapasitas	San Fran	Denver	Chicago	Dallas	New York
S. Carolina	310	10	8	6	5	4
Tennessee	260	6	5	4	3	6
Arizona	280	3	4	5	5	9
Arkansas	0	4	3	6	4	7
total biaya pengiriman	0	0	0	0	0	0
biaya pengiriman tambahan jika pabrik dibuka		100	Keputusan pabrik		0	

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Pada masalah ini, terdapat 2 variabel keputusan, yaitu:

- Jumlah pengiriman produk dari setiap lokasi pabrik ke setiap lokasi gudang, dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili South Carolina, Tennessee, Arizona dan Arkansas dan $j = 1, 2, 3, 4$ dan 5 masing-masing mewakili San Fransisco, Denver, Chicago, Dallas dan New York.

- Keputusan untuk membuka pabrik baru atau tidak, dinotasikan dengan Y_k di mana $k = 1$ mewakili keputusan untuk membuka pabrik baru dan $k = 0$ untuk mewakili keputusan sebaliknya.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan biaya pengiriman yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = 10X_{11} + 6X_{21} + 3X_{31} + 4X_{41} + 8X_{12} + 5X_{22} + 4X_{32} + 3X_{42} + 6X_{13} + 4X_{23} + 5X_{33} + 6X_{43} + 5X_{14} + 3X_{24} + 5X_{34} + 4X_{44} + 4X_{15} + 6X_{25} + 9X_{35} + 7X_{45} + 100Y_1$$

Kendala

Terdapat 3 kendala, yaitu:

Total pengiriman barang dari lokasi pabrik tidak boleh melebihi kapasitas pabrik, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{South Carolina: } (X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15}) \leq 310$$

$$\text{Tennessee : } (X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25}) \leq 260$$

$$\text{Arizona : } (X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35}) \leq 280$$

$$\text{Arkansas : } (X_{41} + X_{42} + X_{43} + X_{44} + X_{45}) \leq 0$$

Total pengiriman barang ke lokasi gudang disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan gudang, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{San Fransisco : } (X_{11} + X_{21} + X_{31} + X_{41}) \geq 180$$

$$\text{Denver : } (X_{12} + X_{22} + X_{32} + X_{42}) \geq 80$$

$$\text{Chicago : } (X_{13} + X_{23} + X_{33} + X_{43}) \geq 200$$

$$\text{Dallas : } (X_{14} + X_{24} + X_{34} + X_{44}) \geq 160$$

$$\text{New York : } (X_{15} + X_{25} + X_{35} + X_{45}) \geq 220$$

Keputusan pabrik = biner

$$Y_i = \text{biner}$$



Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
7								
8	Lokasi pabrik	Total	Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke gudang (unit)					
9	S. Carolina	0	0	0	0	0	0	
10	Tennessee	0	0	0	0	0	0	
11	Arizona	0	0	0	0	0	0	
12	Arkansas	0	0	0	0	0	0	
13	Totals:		0	0	0	0	0	
14								
15								
16		Pemintaan	180	80	200	160	220	
17	Lokasi pabrik	Kapasitas	Biaya pengiriman dari pabrik ke gudang (\$/unit 1000)					
18	S. Carolina	310	10	8	6	5	4	
19	Tennessee	260	6	5	4	3	6	
20	Arizona	280	3	4	5	5	9	
21	Arkansas	0	4	3	6	4	7	
22								
23	Total biaya pengiriman	0	0	0	0	0	0	
24	biaya pengiriman tambahan jika pabrik dibuka			100	Keputusan pabrik		0	

Gambar 6.15 Tampilan awal dengan Solver dalam Excel

Dari Gambar 6.15 diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pengiriman dari pabrik ke gudang	=(C9:G12)
Keputusan lockbox	=G24

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopy	Formula Kopy
Meminimalkan total biaya pengiriman, di mana:	B23	=SUM(C23:G23)+		
Biaya pengiriman dari South Carolina ke San Francisco	C23	D24*G24 =C9*C18+C10*C19+C11*C20+C12*C21	G23	=G9*G18+G10*G19+G11*G20+G12*G21

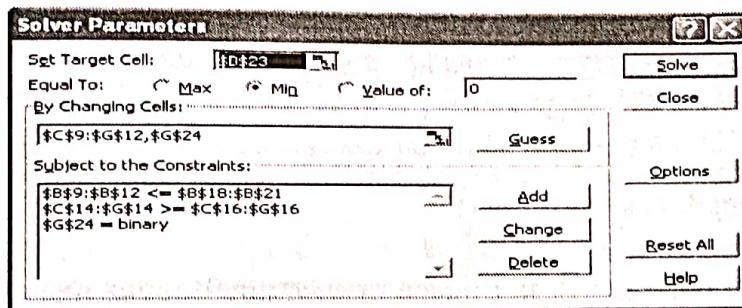
Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopy	Dikopi ke	Batas
Total pengiriman produk dari lokasi pabrik tidak boleh melebihi kapasitas pabrik	B9	=Sum(C9:G9)	≤	B18	G12	=Sum(C12:G12)	B21
Total pengiriman barang ke lokasi gudang disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan gudang	C14	=Sum(C9:C12)	≥	C16	G14	=Sum(G9:G12)	G16

Setelah memasukkan rumus implementasi awal, akan tampil Solver Parameters seperti gambar 6.16 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman (cell B23).

- By Changing Cells adalah variabel keputusan berupa jumlah pengiriman produk dari setiap lokasi pabrik ke setiap lokasi gudang (cell C9:G12) dan keputusan untuk membuka pabrik baru atau tidak (cell G24).
- Subject to the Constraints adalah kendala total pengiriman produk dari lokasi pabrik (cell B9:B12) tidak boleh melebihi kapasitas pabrik (cell B18:B21). Total pengiriman ke lokasi gudang (cell C14:G14) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi permintaan gudang (cell C16:G16) dan keputusan pabrik (cell G24).

Dengan mengambil asumsi bukan negatif dan linier dalam Solver serta memasukkan fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 6.16 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 6.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
7								
8	Lokasi pabrik	Total	Jumlah pengiriman produk dari pabrik ke gudang (unit)					
9	S. Carolina	220	0	0	0	0	220	
10	Tennessee	260	0	0	100	160	0	
11	Arizona	280	180	0	100	0	0	
12	Arkansas	80	0	80	0	0	0	
13	Totals:		180	80	200	160	220	
14			180	80	200	160	220	
15		Permintaan						
16	Lokasi pabrik	Kapasitas	Biaya pengiriman dari pabrik ke gudang, μ (per unit)					
17	S. Carolina	310	10	8	6	5	4	
18	Tennessee	260	6	5	4	3	6	
19	Arizona	280	3	4	5	5	9	
20	Arkansas	300	4	3	6	4	7	
21								
22	Total biaya pengiriman	3140	540	240	900	480	880	
23	Biaya pengiriman tambahan jika pabrik dibuka			100	Keputusan pabrik			
24							1	

Gambar 6.17 Tampilan akhir solusi dalam Excel

Berdasarkan Gambar 6.17, keputusan pabrik = 1 yang artinya perlu dilakukan pembukaan pabrik baru di Arkansas. Gambar 6.17 juga menunjukkan total jumlah pengiriman produk dari setiap pabrik ke setiap gudang untuk South Carolina sebesar 220, Tennessee 260, Arizona 280 dan

Arkansas 80, kemudian biaya pengiriman produk dari setiap pabrik ke setiap gudang untuk San Francisco 540, Denver 240, Chicago 900, Dallas 480 dan New York 220 dengan total biaya pengiriman Rp 3.140.000,00.

-00000-

BAB 7

MASALAH PENJADWALAN

Dalam bab ini, ada 7 pokok masalah menyangkut penjadwalan yang perlu dibahas, yaitu:

Masalah Penjadwalan Pegawai Penerbangan

Masalah ini menyangkut penjadwalan pegawai di perusahaan penerbangan untuk mengoperasikan berbagai jadwal penerbangan. Rotasi untuk pegawai penerbangan harus dimulai dan diakhiri di kota yang sama.

Sebuah perusahaan penerbangan membiayai 2 penerbangan tiap hari antara Salt Lake City, Chicago dan Dallas. Seorang pegawai harus pergi dan tiba di kota yang sama. Penerbangan selalu jam 8 pagi dan ada 6 pesawat terbang yang digunakan. Bagaimana seharusnya perusahaan meminimalkan biaya pegawai jika gaji seluruh pegawai adalah Rp 200.000,00 per jam? Dalam waktu yang lain, perusahaan mengeluarkan biaya Rp 7.500,00 per jam (antara menunggu penerbangan atau terbang ke luar negeri dengan pesawat terbang yang lain). Di bawah ini adalah tabel dari jadwal pegawai penerbangan:

jadwal penerbangan dari	ke	keberangkatan	kedatangan	keberangkatan	kedatangan
Salt Lake City	Dallas	9:00 AM	12:00 PM	2:00 PM	5:00 PM
Salt Lake City	Chicago	10:00 AM	2:00 PM	3:00 PM	7:00 PM
Dallas	Salt Lake City	8:00 AM	11:00 AM	2:00 PM	5:00 PM
Dallas	Chicago	9:00 AM	11:00 AM	3:00 PM	5:00 PM
Chicago	Salt Lake City	8:00 AM	12:00 PM	2:00 PM	6:00 PM
Chicago	Dallas	10:00 AM	12:00 PM	4:00 PM	6:00 PM

Kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan (Rp10000)				
(S=Salt Lake City, D=Dallas, C=Chicago, []=kembali kerja di penerbangan lain)				
	jam terbang	selain jam terbang	biaya (Rp10000)	keputusan
SD+DS	6	2	1350	0
SD+(DS)	3	11	1425	0
SD+DC+(CS)	5	10	1750	0
SC+(CS)	4	10	1550	0
SC+CD+(DS)	6	5	1575	0
DS+SD	6	3	1425	0
DS+(SD)	3	12	1500	0
DS+SC+(CD)	7	7	1925	0
DC+CS+(SD)	6	5	1575	0
DC+CD	4	5	1175	0
CS+SD+(DC)	7	7	1925	0
CS+SC	8	3	1825	0
CD+DC	4	3	1025	0
CD+DS+(SC)	7	9	2075	0
Total biaya pegawai			0	

12 Kendala Penerbangan

Penerbangan	Jumlah pegawai
SD1	0
SD2	0
SC1	0
SC2	0
DS1	0
DS2	0
DC1	0
DC2	0
CS1	0
CS2	0
CD1	0
CD2	0

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah keputusan kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan, dinotasikan dengan X_i di mana $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14$ masing-masing mewakili SD+DS, SD+(DS), SD+DC+(CS), SC+(CS), SC+CD+(DS), DS+SD, DS+(SD), DS+SC+(CD), DC+CS+(SD), DC+CD, CS+SD+(DC), CS+SC, CD+DC, CD+DS+(SC).

Kendala

Terdapat 2 kendala, yaitu:

- Jumlah pegawai penerbangan untuk setiap penerbangan = 1, dirumuskan sebagai berikut:

$$SD1 = (X_1 + X_2 + X_3) \quad DC1 = (X_9 + X_{10})$$

$$SD2 = (X_6 + X_{11}) \quad DC2 = (X_3 + X_{13})$$

$$SC1 = (X_4 + X_5) \quad CS1 = (X_{11} + X_{12})$$

$$SC2 = (X_7 + X_{12}) \quad CS2 = X_9$$

$$DS1 = (X_6 + X_7 + X_8) \quad CD1 = X_{13} + X_{14}$$

$$DS2 = (X_1 + X_{14}) \quad CD2 = X_5 + X_{10}$$

- Keputusan perputaran pegawai untuk setiap penerbangan = bilangan bulat, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{ij} = \text{bilangan bulat}$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan total biaya pegawai, yaitu biaya pegawai dikalikan dengan keputusan perputaran pegawai untuk setiap penerbangan, yang dirumuskan demikian:

$$1350X_1 + 1425X_2 + 1750X_3 + 1550X_4 + 1575X_5 + 1425X_6 + 1500X_7 + 1925X_8 + 1575X_9 + 1175X_{10} + 1925X_{11} + 1825X_{12} + 1025X_{13} + 2075X_{14}$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F
5	jadwal penerbangan					
6	dari	ke	keberangkatan	kedatangan	keberangkatan	kedatangan
7	Salt Lake City	Dallas	9:00 AM	12:00 PM	2:00 PM	5:00 PM
8	Salt Lake City	Chicago	10:00 AM	2:00 PM	3:00 PM	7:00 PM
9	Dallas	Salt Lake City	8:00 AM	11:00 AM	2:00 PM	5:00 PM
10	Dallas	Chicago	9:00 AM	11:00 AM	3:00 PM	5:00 PM
11	Chicago	Salt Lake City	8:00 AM	12:00 PM	2:00 PM	6:00 PM
12	Chicago	Dallas	10:00 AM	12:00 PM	4:00 PM	6:00 PM
19	Kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan (tiap 10000)					
20	(S=Salt Lake City, D=Dallas, C=Chicago, ()=kembali kerja di penerbangan lain)					
21		jam terbang	selanjutnya	biaya (\$10000)	keputusan	
22	SD+DS	6	2	1350	0	
23	SD+(DS)	3	11	1425	0	
24	SD+DC+(CS)	5	10	1750	0	
25	SC+(CS)	4	10	1550	0	
26	SC+CD+(DS)	6	5	1575	0	
27	DS+SD	6	3	1425	0	
28	DS+(SD)	3	12	1500	0	
29	DS+SC+(CD)	7	7	1925	0	
30	DC+CS+(SD)	6	5	1575	0	
31	DC+CD	4	5	1175	0	
32	CS+SD+(DC)	7	7	1925	0	
33	CS+SC	8	3	1825	0	
34	CD+DC	4	3	1025	0	
35	CD+DS+(SC)	7	9	2075	0	
36	Total biaya pegawai				0	
38	kendala penerbangan					
39	penerbangan	jumlah pegawai				
40	SD 1	1				
41	SD 2	1				
42	SC 1	1				
43	SC 2	1				
44	DS 1	1				
45	DS 2	1				
46	DC 1	1				
47	DC 2	1				
48	CS 1	1				
49	CS 2	1				
50	CD 1	1				
51	CD 2	1				

Gambar 7.1 Tampilan awal dengan Solver di Excel

Dari gambar 7.1, diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

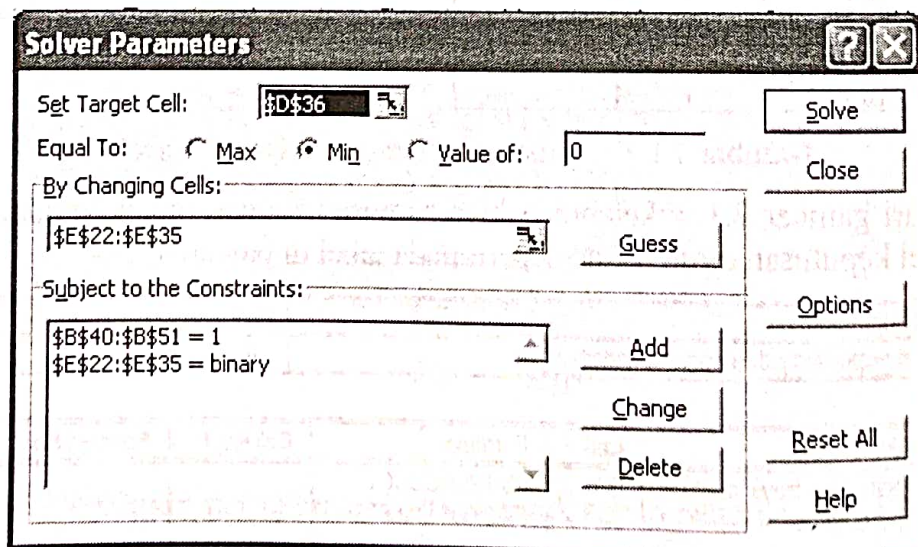
Variabel Keputusan	Cell
Kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan	=(E22:E35)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopi	Formula Kopi
Meminimalkan total biaya pegawai penerbangan di mana:	D36	=SUMPRODUCT (D22:D35,E22:E35)		
Biaya kombinasi SD+DS	D22	=B22*200+C22*75	D35	=B35*200+C35*75

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Jumlah pegawai penerbangan SD1	B40	=B22+B23+B24	=	1
Jumlah pegawai penerbangan SD2	B41	=E27+E32	=	1
Jumlah pegawai penerbangan SC1	B42	=E25+E26	=	1
Jumlah pegawai penerbangan SC2	B43	=E29+E33	=	1
Jumlah pegawai penerbangan DS1	B44	=E27+E28+E29	=	1
Jumlah pegawai penerbangan DS2	B45	=E22+E35	=	1
Jumlah pegawai penerbangan DC1	B46	=E30+E31	=	1
Jumlah pegawai penerbangan DC2	B47	=E24+E34	=	1
Jumlah pegawai penerbangan CS1	B48	=E32+E33	=	1
Jumlah pegawai penerbangan CS2	B49	=E30	=	1
Jumlah pegawai penerbangan CD1	B50	=E34+E35	=	1
Jumlah pegawai penerbangan CD2	B51	=E26+E31	=	1

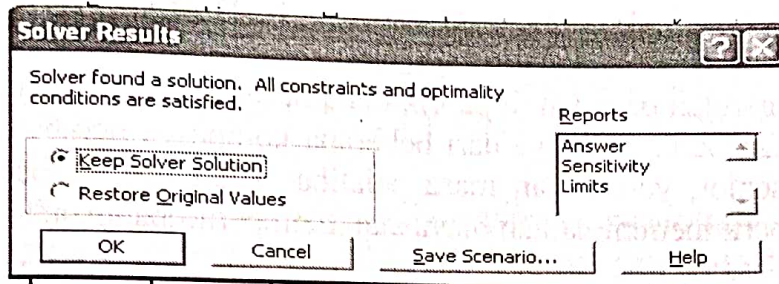
Setelah memasukkan rumus implimentasi awal, tampil Solver Parameters seperti Gambar 7.2 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya pegawai penerbangan (cell D36).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan (cell E22:E35).
- Subject to the Constraints adalah kendala berupa jumlah pegawai penerbangan untuk setiap penerbangan (cell B40:B51) = 1 dan keputusan perputaran pegawai untuk setiap penerbangan (cell E22:E35) = bilangan bulat.
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dan linier dalam solver maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 7.2 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Setelah semua fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dimasukkan ke dalam Solver parameters pada Gambar 7.2, tekan Solve sehingga muncul Solver Results. Klik **Keep Solver Solution**. Pilih **answer** kemudian tekan OK untuk menemukan jawaban fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan, yang akan diikuti kemunculan Gambar 7.4:



Gambar 7.3 Solver Results dalam Excel

Tampilan Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F
5	jadwal penerbangan					
6	dari	ke	keberangkatan	kedatangan	keberangkatan	kedatangan
7	Salt Lake City	Dallas	9:00 AM	12:00 PM	2:00 PM	5:00 PM
8	Salt Lake City	Chicago	10:00 AM	2:00 PM	3:00 PM	7:00 PM
9	Dallas	Salt Lake City	8:00 AM	11:00 AM	2:00 PM	5:00 PM
10	Dallas	Chicago	9:00 AM	11:00 AM	3:00 PM	5:00 PM
11	Chicago	Salt Lake City	8:00 AM	12:00 PM	2:00 PM	6:00 PM
12	Chicago	Dallas	10:00 AM	12:00 PM	4:00 PM	6:00 PM
19	Kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan(xRp10000)					
20	(S=Salt Lake City, D=Dallas, C=Chicago, ()=kembali kerja di penerbangan lain)					
21		jam terbang	selain jam terbang	biaya(xRp10000)	keputusan	
22	SD+DS	6	2	1350	1	
23	SD+(DS)	3	11	1425	0	
24	SD+DC+(CS)	5	10	1750	0	
25	SC+(CS)	4	10	1550	0	
26	SC+CD+(DS)	6	5	1575	1	
27	DS+SD	6	3	1425	1	
28	DS+(SD)	3	12	1500	0	
29	DS+SC+(CD)	7	7	1925	0	
30	DC+CS+(SD)	6	5	1575	1	
31	DC+CD	4	5	1175	0	
32	CS+SD+(DC)	7	7	1925	0	
33	CS+SC	8	3	1825	1	
34	CD+DC	4	3	1025	1	
35	CD+DS+(SC)	7	9	2075	0	
36		Total biaya pegawai		8775		
38	kendala penerbangan					
39	penerbangan	jumlah pegawai				
40	SD 1	1				
41	SD 2	1				
42	SC 1	1				
43	SC 2	1				
44	DS 1	1				
45	DS 2	1				
46	DC 1	1				
47	DC 2	1				
48	CS 1	1				
49	CS 2	1				
50	CD 1	1				
51	CD 2	1				

Gambar 7.4 Tampilan akhir dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.4, diperoleh total biaya pegawai Rp 87.750.000,00, keputusan kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan berada pada SD+DS, SC+CD+(DS), DS+SD, DC+CS+(SD), CS+SC, CD+DC karena bernilai 1, yang artinya dilakukan kombinasi perputaran jadwal pegawai penerbangan.

Masalah Perekrutan Pegawai di Pabrik

Masalah perekrutan pegawai di pabrik dialami oleh perusahaan dalam mempertimbangkan berbagai biaya dari beberapa komposisi perubahan pegawai mulai dari senior, junior dan masa pelatihan (training). Perbedaan tujuan mungkin seperti meminimalkan biaya atau mempertimbangkan tenaga kerja.

Sebuah pabrik ingin merekrut pegawai. Sekarang ini, pabrik memiliki 3 macam kategori pegawai yaitu masa pelatihan, junior dan senior. Untuk 3 tahun ke depan, pabrik menginginkan perubahan penting terhadap banyaknya pegawai yang terlatih. Bagaimana seharusnya pabrik merekrut pegawai untuk memperkecil biaya, jumlah pegawai dan saat member-hentikan pegawai? Di bawah ini adalah tabel dari perekrutan pegawai di pabrik:

	A	B	C	D	E	F	G	H
7	Informasi Pegawai (xRp. 10000)							
8	kategori	biaya PHK	upah yang disediakan per tahun	biaya kontrak pegawai				
9	senior	700	500	250	biaya			
10	junior	500	800	150	400			
11	masa training	350	1200	100	500			
13	Perkiraan kebutuhan jumlah pegawai							
14	kategori	sekarang	tahun1	tahun2	tahun3			
15	senior	800	1200	1500	2000			
16	junior	1500	1500	2000	2500			
17	masa training	2000	1600	1000	0			
19	jumlah pegawai dalam masa kategori							
21	jumlah pegawai dalam masa training							
22	masa training-->junior	tahun1	tahun2	tahun3	biaya			
23	junior-->senior	0	0	0	0			
24		0	0	0	0			
25	jumlah upah pegawai							
26	Senior	tahun1	tahun2	tahun3	biaya			
27	Yunior	0	0	0	0			
28	masa training	0	0	0	0			
29		0	0	0	0			
30	jumlah PHK pegawai							
31	Senior	tahun1	tahun2	tahun3	biaya			
32	Yunior	0	0	0	0			
33	Masa training	0	0	0	0			
34		0	0	0	0			
35	total jumlah PHK pegawai				0			
38	jumlah pegawai bekerja							
39		tahun1	tahun2	tahun3				
40	senior	800	800	800				
41	junior	1500	1500	1500				
42	masa training	2000	2000	2000				
43	Total biaya jumlah pegawai dalam kategori				0			

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Terdapat 3 variabel keputusan, yaitu:

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2$ masing-masing mewakili masa pelatihan → yunior dan senior dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Tahun 1, 2 dan 3
- Jumlah pegawai yang diupah dinotasikan dengan Y_{hj} di mana $h = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili senior, yunior dan masa pelatihan, dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Tahun 1, 2 dan 3.
- Jumlah PHK pegawai dinotasikan Z_{hj} di mana $h = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili senior, yunior dan masa pelatihan dan $j = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili Tahun 1, 2 dan 3.

Kendala

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan pada Tahun 1 untuk kategori masa training → yunior, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{11} \leq 2000$$

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan pada Tahun 1 untuk kategori yunior → senior, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{21} \leq 1500$$

- Jumlah pegawai yang diupahi pada Tahun 1 untuk kategori senior, yunior dan masa pelatihan, dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_{11} \leq 500, Y_{21} \leq 800, Y_{31} \leq 1200$$

- Jumlah PHK pegawai pada Tahun 1 untuk kategori senior, yunior dan masa pelatihan, dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_{11} \leq 800, Z_{21} \leq 1500, Z_{31} \leq 2000$$

- Jumlah pegawai yang bekerja untuk Tahun 1, 2 dan 3 = jumlah kebutuhan pegawai untuk Tahun 1, 2 dan 3.

Tahun 1

Senior : $800 + X_{21} + Y_{11} - Z_{11} = 1200$

Yunior : $1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21} = 1500$

Masa pelatihan: $2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11} = 1600$

Tahun 2

Senior : $(800 + X_{21} + Y_{11} - Z_{11}) + X_{22} + Y_{12} - Z_{12} = 1500$

Yunior : $(1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21}) + X_{12} - X_{22} + Y_{22} - Z_{22} = 2000$

Masa pelatihan: $(2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11}) + Y_{32} - Z_{32} - X_{12} = 1000$

Tahun 3

Senior : $((800 + X_{21} + Y_{11} - Z_{11}) + X_{22} + Y_{12} - Z_{12}) + X_{23} + Y_{13} - Z_{13} = 2000$

Yunior : $((1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21}) + X_{12} - X_{22} + Y_{22} - Z_{22}) + X_{13} - X_{23} + Y_{23} - Z_{23} = 2500$

Masa Pelatihan: $((2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11}) + Y_{32} - Z_{32} - X_{12}) + Y_{33} - Z_{33} - X_{13} = 0$

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan pada Tahun 2 untuk kategori masa training $\rightarrow$ yunior $\leq$ jumlah pegawai yang bekerja pada masa pelatihan Tahun 2, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{12} \leq 2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11}$$

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan pada Tahun 2 untuk kategori yunior $\rightarrow$ senior $\leq$ jumlah pegawai yang bekerja pada kategori yunior Tahun 2, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{22} \leq 1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21}$$

- Jumlah pegawai yang diupahi pada Tahun 2 untuk kategori masa pelatihan, yunior dan senior $\leq$ upah pegawai yang disediakan setiap tahun, dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_{12} \leq 500, Y_{22} \leq 800, Y_{32} \leq 1200$$

- Jumlah PHK pegawai pada Tahun 2 untuk kategori senior, yunior dan masa pelatihan $\leq$ jumlah pegawai yang bekerja untuk kategori senior, yunior dan masa pelatihan Tahun 2, dirumuskan sebagai berikut:

Senior : $Z_{12} \leq 800 + X_{21} + Y_{11} - Z_{11}$

Yunior : $Z_{22} \leq 1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21}$

Masa Pelatihan: $Z_{32} \leq 2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11}$

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan pada Tahun 3 untuk kategori masa training $\rightarrow$ yunior $\leq$ jumlah pegawai yang bekerja pada Tahun 2 untuk kategori Yunior, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{13} \leq ((1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21}) + X_{12} - X_{22} + Y_{22} - Z_{22})$$

- Jumlah pegawai dalam masa pelatihan pada Tahun 3 untuk kategori yunior $\rightarrow$ senior $\leq$ jumlah pegawai yang bekerja pada Tahun 2 untuk kategori masa pelatihan, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{23} \leq ((2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11}) + Y_{32} - Z_{32} - X_{12})$$

- Jumlah pegawai yang diupahi pada Tahun 3 untuk kategori senior, yunior dan masa pelatihan $\leq$ upah yang disediakan setiap tahun, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Senior} : Y_{13} \leq 500$$

$$\text{Yunior} : Y_{23} \leq 800$$

$$\text{Masa pelatihan: } Y_{33} \leq 1200$$

- Jumlah PHK pegawai pada Tahun 3 untuk kategori senior, yunior dan masa training $\leq$ jumlah pegawai yang bekerja pada Tahun 2 untuk kategori senior, yunior dan masa pelatihan, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Senior} : Z_{13} \leq (800 + X_{21} + Y_{11} - Z_{11}) + X_{22} + Y_{12} - Z_{12}$$

$$\text{Yunior} : Z_{23} \leq (1500 + X_{11} - X_{21} + Y_{21} - Z_{21}) + X_{12} - X_{22} + Y_{22} - Z_{22}$$

$$\text{Masa pelatihan: } Z_{33} \leq (2000 + Y_{31} - Z_{31} - X_{11}) + Y_{32} - Z_{32} - X_{12}$$

$$\text{di mana } X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij} \geq 0$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan total biaya perekrutan pegawai yaitu hasil penjumlahan antara pegawai masa pelatihan, jumlah pegawai yang diupahi dan jumlah PHK pegawai, dirumuskan sebagai berikut:

$$400(X_{11} + X_{12} + X_{13}) + 500(X_{21} + X_{22} + X_{23}) + 250(Y_{11} + Y_{12} + Y_{13}) + 150(Y_{21} + Y_{22} + Y_{23}) + 100(Y_{31} + Y_{32} + Y_{33}) + 700(Z_{11} + Z_{12} + Z_{13}) + 500(Z_{21} + Z_{22} + Z_{23}) + 350(Z_{31} + Z_{32} + Z_{33})$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H
7	Informasi Pegawai (Rp. 10000)							
8	kategori	biaya PHK	upah yang disediakan per tahun	biaya kontrak pegawai	pelebaran pegawai			biaya
9	senior	700	500	250	masa training->yunior			400
10	yunior	500	800	150	yunior->senior			500
11	masa training	350	1200	100				
13	Perkiraan kebutuhan jumlah pegawai							
14	kategori	sekarang	tahun1	tahun2	tahun3			
15	senior	800	1200	1500	2000			
16	yunior	1500	1500	2000	2500			
17	masa training	2000	1600	1000	0			
19	jumlah pegawai dalam masa kategori							
20		jumlah pegawai dalam masa training						
21		tahun1	tahun2	tahun3		biaya		
22	masa training->yunior	0	0	0		0		
23	yunior->senior	0	0	0		0		
24		jumlah upah pegawai						
25		tahun1	tahun2	tahun3		biaya		
26	Senior	0	0	0		0		
27	Yunior	0	0	0		0		
28	masa training	0	0	0		0		
29		jumlah PHK pegawai						
30		tahun1	tahun2	tahun3		biaya		
31	Senior	0	0	0		0		
32	Yunior	0	0	0		0		
33	Masa training	0	0	0		0		
35	total jumlah PHK pegawai				0			
38		jumlah pegawai sekarang						
39		tahun1	tahun2	tahun3				
40	senior	800	800	800				
41	yunior	1500	1500	1500				
42	masa training	2000	2000	2000				
43	Total biaya jumlah pegawai dalam kategori				0			

Gambar 7.5 Implementasi awal dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.5 diketahui bahwa fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan	=(C22:E23)
Jumlah pegawai dalam masa upah	=(C26:E28)
Jumlah PHK pegawai	=(C31:E33)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopi	Formula Kopi
Total biaya perekrutan pegawai, di mana:	F43	=SUM(F22:F23,F26:F28, F31:F33)		
Biaya untuk jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 1, 2, 3 dalam kategori pelatihan → yunior	F22	=H10*SUM(C22:E22)	F23	=H9*SUM(C23:E23)
Biaya untuk jumlah pegawai dalam masa upah Tahun 1, 2, 3 dalam kategori senior	F26	=D9*SUM(C26:E26)	F28	=D11*SUM(C28:E28)
Biaya untuk jumlah PHK pegawai	F31	=B9*SUM(C31:E33)	F33	=B11*SUM(C31:E33)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 1 untuk masa pelatihan → yunior	C22	=C22	≤	B17
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 1 untuk yunior senior	C23	=C23	≤	B16
Jumlah upah pegawai dalam Tahun 1 untuk kategori senior	C26	=C26	≤	C9
Jumlah upah pegawai dalam Tahun 1 untuk kategori yunior	C27	=C27	≤	C10
Jumlah upah pegawai dalam Tahun 1 untuk kategori masa pelatihan	C28	=C28	≤	C11
Jumlah PHK pegawai Tahun 1 untuk kategori senior	C31	=C31	≤	B15
Jumlah PHK pegawai Tahun 1 untuk kategori → yunior	C32	=C32	≤	B16
Jumlah PHK pegawai Tahun 1 untuk kategori masa pelatihan	C33	=C33	≤	B17
Jumlah pegawai senior bekerja di Tahun 1	C40	=B15+C23+C26-C31	=	C15
Jumlah pegawai senior bekerja di Tahun 2	D40	=C40+D23+D26-D31	=	D15
Jumlah pegawai senior bekerja di Tahun 3	E40	=D40+E23+E26-E31	=	E15
Jumlah pegawai yunior bekerja di Tahun 1	C41	=B16+C22-C23+C27-C32	=	C16
Jumlah pegawai yunior bekerja di Tahun 2	D41	=C41+D22-D23+D27-D32	=	D16
Jumlah pegawai yunior bekerja di Tahun 3	E41	=D41+E22-E23+E27-E32	=	E16
Jumlah pegawai masa pelatihan bekerja Tahun 1	C42	=B17+C28-C33-C22	=	C17
Jumlah pegawai masa pelatihan bekerja Tahun 2	D42	=C42+D28-D33-D22	=	D17
Jumlah pegawai masa pelatihan bekerja Tahun 3	E42	=D42+E28-E33-E22	=	E17
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 2 kategori pelatihan yunior	D22	=D22	≤	B16+C22-C23+C27-C32
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 2 kategori yunior senior	D23	=D23	≤	B17+C28-C33-C22
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori senior	D26	=D26	≤	C9
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori yunior	D27	=D27	≤	C10
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori masa pelatihan	D28	=D28	≤	C11
Jumlah PHK pegawai Tahun 2 kategori senior	D31	=D31	≤	B15+C23+C26-C31
Jumlah PHK pegawai Tahun 2 kategori yunior	D32	=D32	≤	B16+C22-C23+C27-C32
Jumlah PHK pegawai Tahun 2 kategori masa pelatihan	D33	=D33	≤	B17+C28-C33-C22
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 3 kategori masa pelatihan yunior	E22	=E22	≤	C41+D22-D23+D27-D32
Jumlah pegawai dalam masa pelatihan Tahun 3 kategori yunior senior	E23	=E23	≤	C42+D28-D33-D22
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori senior	E26	=E26	≤	C9
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori yunior	E27	=E27	≤	C10
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori masa pelatihan	E28	=E28	≤	C11
Jumlah upah pegawai Tahun 2 kategori masa pelatihan	E31	=E31	≤	C40+D23+D26-D31
Jumlah PHK pegawai Tahun 3 kategori senior	E32	=E32	≤	C41+D22-D23+D27-D32
Jumlah PHK pegawai Tahun 3 kategori yunior	E33	=E33	≤	C42+D28-D33-D22
Jumlah PHK pegawai Tahun 3 kategori masa pelatihan				

Setelah memasukkan rumus implementasi awal dengan Solver di Excel, muncul Solver Parameters seperti Gambar 7.6 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya perekrutan pegawai (cell F43).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang jumlah pegawai dalam masa pelatihan (cell C22:E23), jumlah pegawai yang diupahi (cell C26:E28) dan jumlah PHK pegawai (cell C31:E33).
- Subject to the Constraints adalah kendala dengan keterangan serupa tabel rumus implementasi dalam Excel.

orang, 300 orang dan 500 orang dengan biaya Rp 300.000,00; dan jumlah PHK pegawai dalam masa pelatihan masing-masing sebesar 400 orang, 100 orang dan 500 orang dengan biaya Rp 350.000,00. Total jumlah PHK pegawai sebesar 1000 orang, jumlah pegawai bekerja untuk kategori senior Tahun 1 = 1200 orang, Tahun 2 = 1500 orang dan Tahun 3 = 2000 orang; untuk kategori junior Tahun 1 = 1500 orang, Tahun 2 = 2000 orang dan Tahun 3 = 2500 orang; untuk kategori masa pelatihan Tahun 1 = 1600 orang dan Tahun 2 = 1000 orang, dengan total biaya perekrutan pegawai Rp 1.050.000,00.

Analisis Sensitivitas

Gambar di bawah ini adalah hasil output dari running solver:

6	A	B	C	D	E	F	G	H
7	Variabel keputusan							
8	Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
9	C22	mesa trenning→junior tahun1	0	0	400	100	300	
10	D22	mesa trenning→junior tahun2	500	0	400	100	300	
11	E22	mesa trenning→junior tahun3	500	0	400	100	300	
12	C23	junior→senior tahun1	0	300	500	1E+30	300	
13	D23	junior→senior tahun2	0	300	500	1E+30	300	
14	E23	junior→senior tahun3	0	0	500	1E+30	300	
15	C26	Senior tahun1	400	0	250	300	950	
16	D26	Senior tahun2	300	0	250	300	950	
17	E26	Senior tahun3	500	-300	250	300	1E+30	
18	C27	Junior tahun1	0	100	150	1E+30	100	
19	D27	Junior tahun2	0	100	150	1E+30	100	
20	E27	Junior tahun3	0	100	150	1E+30	100	
21	C28	mesa trenning tahun1	0	450	100	1E+30	450	
22	D28	mesa trenning tahun2	0	450	100	1E+30	450	
23	E28	mesa trenning tahun3	0	450	100	1E+30	450	
24	C31	Senior tahun1	0	950	700	1E+30	950	
25	D31	Senior tahun2	0	950	700	1E+30	950	
26	E31	Senior tahun3	0	1250	700	1E+30	1250	
27	C32	Junior tahun1	0	550	500	1E+30	550	
28	D32	Junior tahun2	0	550	500	1E+30	550	
29	E32	Junior tahun3	0	550	500	1E+30	550	
30	C33	Mesa trenning tahun1	400	0	350	300	100	
31	D33	Mesa trenning tahun2	100	0	350	300	100	
32	E33	Mesa trenning tahun3	500	0	350	300	100	
33								
34	Kendala							
35	Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease	
36	E31	Senior tahun3	0	0	0	1E+30	1500	
37	E32	Junior tahun3	0	0	0	1E+30	2000	
38	E33	Mesa trenning tahun3	500	0	0	1E+30	500	
39	C40	senior tahun1	1200	0	1200	100	200	
40	D40	senior tahun2	1500	-300	1500	0	300	
41	E40	senior tahun3	2000	550	2000	500	0	
42	C41	junior tahun1	1500	0	1500	400	0	
43	D41	junior tahun2	2000	0	2000	100	500	
44	E41	junior tahun3	2500	50	2500	500	500	
45	C42	mesa trenning tahun1	1600	0	1600	400	100	
46	D42	mesa trenning tahun2	1000	0	1000	100	500	
47	E42	mesa trenning tahun3	0	-350	0	500	500	
48	D22	mesa trenning→junior tahun2	500	0	0	1E+30	1100	
49	D23	junior→senior tahun2	0	0	0	1E+30	1500	
50	D31	Senior tahun2	0	0	0	1E+30	1200	
51	D32	Junior tahun2	0	0	0	1E+30	1500	
52	D33	Mesa trenning tahun2	100	0	0	1E+30	1500	
53	E22	mesa trenning→junior tahun3	500	0	0	1E+30	1000	
54	E23	junior→senior tahun3	0	0	0	1E+30	1000	

Gambar 7.8 Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- Kolom cell E9 sampai E32 memuat reduced cost (pembengkakan total keuntungan). Misalkan jumlah pegawai pada Tahun 1 untuk kategori junior→senior terpaksa ditambah sebanyak x orang

(sebelumnya solusi optimal untuk jumlah pegawai pada Tahun 1 kategori junior $\rightarrow$ senior bernilai 0) sehingga total jumlah pegawai akan membengkak sebanyak $300x$ menjadi Rp 1.050.000,00 + $300x$. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas pembelian $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.

- Kolom final value D37 sampai D55 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E37 sampai E55 memuat shadow price, misalnya shadow price jumlah pegawai kategori senior pada Tahun 2. Artinya, bila batas jumlah pegawai diturunkan sebesar x orang maka solusi optimalnya akan berkurang sebesar $-300x$, yaitu Rp 1.050.000,00 - $300x$, di mana pengurangan jumlah pegawai kategori senior Tahun 2 dibatasi sampai 300 orang dari batas jumlah pegawai yang ada sebanyak 1500 orang. Di sini tidak terjadi penambahan jumlah pegawai.

Masalah Penugasan Pegawai

Sebuah perusahaan ingin menugaskan 14 pegawai ke 10 kantor. Ada 4 kantor yang membutuhkan 2 orang pegawai. Setiap pegawai memberikan pilihan preferensi yang dimiliki. A1 berarti pilihan yang pertama dan A2 berarti pilihan yang kedua. Bagaimana seharusnya perusahaan membagi tugas pegawai dalam kantor untuk mengoptimalkan preferensi pegawai? Di bawah ini adalah tabel dari masalah pembagian tugas pegawai dalam kantor (K = kantor, T = total, dan P = pilihan):

Penugasan	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	T	P
Pegawai 1	3	2	1	4	6	5	8	9	10	7	0	0
Pegawai 2	5	3	2	6	1	7	9	8	4	10	0	0
Pegawai 3	10	8	1	9	7	4	3	6	2	5	0	0
Pegawai 4	7	3	2	9	5	4	8	6	1	10	0	0
Pegawai 5	1	3	6	8	5	2	9	10	7	4	0	0
Pegawai 6	4	9	1	5	6	8	2	7	10	3	0	0
Pegawai 7	2	1	10	9	5	3	6	8	4	7	0	0
Pegawai 8	6	5	1	3	2	4	7	8	9	10	0	0
Pegawai 9	8	9	10	5	4	3	2	1	6	7	0	0
Pegawai 10	9	10	3	2	5	4	1	7	8	6	0	0
Pegawai 11	7	3	5	2	9	8	1	10	4	6	0	0
Pegawai 12	6	5	1	9	10	2	3	4	7	8	0	0
Pegawai 13	6	8	10	9	1	2	3	4	5	7	0	0
Pegawai 14	6	3	5	9	1	2	10	4	8	7	0	0
Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Kebutuhan	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1		

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusannya adalah penugasan pegawai untuk kantor yang berbeda dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1$ sampai 14 masing-masing menyatakan Pegawai 1, Pegawai 2, ..., Pegawai 14, dan $j = 1$ sampai 10 masing-masing menyatakan Kantor 1, Kantor 2, ..., Kantor 10.

Kendala

- Penugasan pegawai yang berbeda untuk kantor yang berbeda, dirumuskan sebagai berikut:

X_{ij} = bilangan bulat (0 atau 1)

- Penugasan untuk setiap pegawai = 1

$$\text{Total penugasan Pegawai 1} = (X_{11} + X_{12} + \dots + X_{10}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 2} = (X_{21} + X_{22} + \dots + X_{210}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 3} = (X_{31} + X_{32} + \dots + X_{310}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 4} = (X_{41} + X_{42} + \dots + X_{410}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 5} = (X_{51} + X_{52} + \dots + X_{510}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 6} = (X_{61} + X_{62} + \dots + X_{610}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 7} = (X_{71} + X_{72} + \dots + X_{710}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 8} = (X_{81} + X_{82} + \dots + X_{810}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 9} = (X_{91} + X_{92} + \dots + X_{910}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 10} = (X_{101} + X_{102} + \dots + X_{1010}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 11} = (X_{111} + X_{112} + \dots + X_{1110}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 12} = (X_{121} + X_{122} + \dots + X_{1210}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 13} = (X_{131} + X_{132} + \dots + X_{1310}) = 1$$

$$\text{Total penugasan Pegawai 14} = (X_{141} + X_{142} + \dots + X_{1410}) = 1$$

- Total jumlah pegawai di masing-masing kantor sama dengan kebutuhan jumlah pegawai di masing-masing kantor, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Total pegawai di Kantor 1: } (X_{11} + X_{21} + \dots + X_{141}) = 1$$

$$\text{Total pegawai di Kantor 2: } (X_{12} + X_{22} + \dots + X_{142}) = 1$$

$$\text{Total pegawai di Kantor 3: } (X_{13} + X_{23} + \dots + X_{143}) = 1$$

Total pegawai di Kantor 4: $(X_{14}+X_{24}+\dots+X_{144})=1$

Total pegawai di Kantor 5: $(X_{15}+X_{25}+\dots+X_{145})=2$

Total pegawai di Kantor 6: $(X_{16}+X_{26}+\dots+X_{146})=1$

Total pegawai di Kantor 7: $(X_{17}+X_{27}+\dots+X_{147})=2$

Total pegawai di Kantor 8: $(X_{18}+X_{28}+\dots+X_{148})=2$

Total pegawai di Kantor 9: $(X_{19}+X_{29}+\dots+X_{149})=2$

Total pegawai di Kantor 10: $(X_{110}+X_{210}+\dots+X_{1410})=1$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah mengoptimalkan preferensi/pilihan pegawai, dirumuskan sebagai berikut:

$$(3X_{11}+2X_{12}+\dots+7X_{110})+(5X_{21}+3X_{22}+\dots+10X_{210})+\dots+(6X_{141}+3X_{142}+\dots+7X_{1410})$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
5	preferensi(1=pilihan pertama, 10=pilihan terakhir)													
		kantor1	kantor2	kantor3	kantor4	kantor5	kantor6	kantor7	kantor8	kantor9	kantor10			
6														
7	pegawai1	3	2	1	4	6	5	8	9	10	7			
8	pegawai2	5	3	2	6	1	7	9	8	4	10			
9	pegawai3	10	8	1	9	7	4	3	6	2	5			
10	pegawai4	7	3	2	9	5	4	8	6	1	10			
11	pegawai5	1	3	6	8	5	2	9	10	7	4			
12	pegawai6	4	9	1	5	6	8	2	7	10	3			
13	pegawai7	2	1	10	9	5	3	6	8	4	7			
14	pegawai8	6	5	1	3	2	4	7	8	9	10			
15	pegawai9	8	9	10	5	4	3	2	1	6	7			
16	pegawai10	9	10	3	2	5	4	1	7	8	6			
17	pegawai11	7	3	5	2	9	8	1	10	4	6			
18	pegawai12	6	5	1	9	10	2	3	4	7	8			
19	pegawai13	6	8	10	9	1	2	3	4	5	7			
20	pegawai14	6	3	5	9	1	2	10	4	8	7			
22	penugasan	kantor1	kantor2	kantor3	kantor4	kantor5	kantor6	kantor7	kantor8	kantor9	kantor10	Total	preferensi	
23	pegawai1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	pegawai2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	pegawai3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	pegawai4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	pegawai5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
28	pegawai6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
29	pegawai7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
30	pegawai8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
31	pegawai9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	pegawai10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
33	pegawai11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
34	pegawai12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
35	pegawai13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
36	pegawai14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
37	Total	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1			
39	kebutuhan	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1		0	

Gambar 7.9 Implementasi awal dengan Solver dalam Excel

Dari Gambar 7.9, diketahui bahwa fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dapat dirumuskan pada tabel di bawah ini:

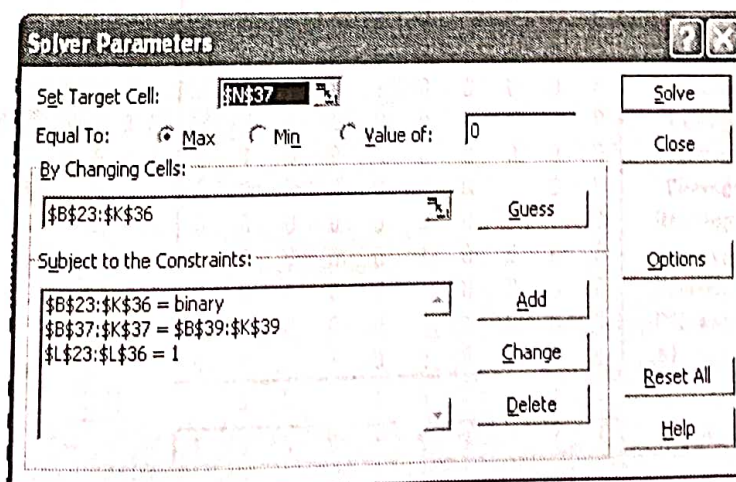
Variabel Keputusan	Cell
Penugasan pegawai untuk kantor yang berbeda	=(B23:K36)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopi	Formula Kopi
Mengoptimalkan preferensi (pilihan) pegawai Preferensi Pegawai 1	N37 N23	=SUM(N23:N36) =SUMPRODUCT (B7:K7,B23:K23)	- N36	- SUMPRODUCT (B20:K20,B36:K36)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopi	Formula Kopi
Penugasan untuk setiap pegawai	L23	SUM(B23:K23)	=	1	L36	=SUM (B36:K36)
Total pegawai di masing-masing kantor	B37	SUM(B23:B36)	=	B39	K37	=SUM (K23:K36)= K39

Setelah rumus implementasi awal dimasukkan, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 7.10 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk mengoptimalkan preferensi/pilihan pegawai (cell N37).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang penugasan pegawai untuk kantor yang berbeda (cell B23:K36).
- Subject to the Constraints adalah kendala penugasan untuk setiap pegawai (cell L23:L36) = 1 dan total jumlah pegawai di masing-masing kantor (B37:K37) = kebutuhan jumlah pegawai di masing-masing kantor serta penugasan pegawai di kantor yang berbeda (cell B39:K39).



Gambar 7.10 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dan linier dalam Solver maka akan muncul tampilan Gambar 7.10.
- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 7.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
5	<i>preferensi (1=pertama, 10=pilihan terakhir)</i>												
		kantor1	kantor2	kantor3	kantor4	kantor5	kantor6	kantor7	kantor8	kantor9	kantor10		
6													
7	pegawai 1	3	2	1	4	6	5	8	9	10	7		
8	pegawai2	5	3	2	6	1	7	9	8	4	10		
9	pegawai3	10	8	1	9	7	4	3	6	2	5		
10	pegawai4	7	3	2	9	5	4	8	6	1	10		
11	pegawai5	1	3	6	8	5	2	9	10	7	4		
12	pegawai6	4	9	1	5	6	8	2	7	10	3		
13	pegawai7	2	1	10	9	5	3	6	8	4	7		
14	pegawai8	6	5	1	3	2	4	7	8	9	10		
15	pegawai9	8	9	10	5	4	3	2	1	6	7		
16	pegawai 10	9	10	3	2	5	4	1	7	8	6		
17	pegawai 11	7	3	5	2	9	8	1	10	4	6		
18	pegawai 12	6	5	1	9	10	2	3	4	7	8		
19	pegawai 13	6	8	10	9	1	2	3	4	5	7		
20	pegawai 14	6	3	5	9	1	2	10	4	8	7		
		kantor1	kantor2	kantor3	kantor4	kantor5	kantor6	kantor7	kantor8	kantor9	kantor10	Total	preferensi
22	<i>penugasan</i>												
23	pegawai1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	10
24	pegawai2	0	0	0	0	0	-0	1	0	0	0	1	9
25	pegawai3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
26	pegawai4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	10
27	pegawai5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	10
28	pegawai6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	8
29	pegawai7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	8
30	pegawai8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	9
31	pegawai9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	10
32	pegawai10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
33	pegawai11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	9
34	pegawai12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	10
35	pegawai13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	9
36	pegawai14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	10
37	Total	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1		132
39	kebutuhan	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1		

Gambar 7.11b Implementasi akhir dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.11a, diketahui bahwa penugasan Pegawai 1 hanya pada Kantor 9, Pegawai 2 hanya pada Kantor 7, Pegawai 3 hanya pada Kantor 1 dan Pegawai 4 hanya pada Kantor 10, Pegawai 5 hanya pada Kantor 8, Pegawai 6 hanya pada Kantor 6, Pegawai 7 hanya pada Kantor 8, Pegawai 8 hanya pada Kantor 9, Pegawai 9 hanya pada Kantor 3, Pegawai 10 hanya pada Kantor 2 dan Pegawai 11 dan 12 hanya pada Kantor 5, Pegawai 13 hanya pada Kantor 4 dan Pegawai 14 hanya pada Kantor 7. Preferensi 10 hanya pada Pegawai 1, 3, 4, 5, 9, 10, 12, 14; Preferensi 9 hanya pada Pegawai 2, 8, 11, 13; Preferensi 8 hanya pada Pegawai 6 dan 7. Total penugasan pegawai yang berbeda pada masing-masing kantor = kebutuhan pegawai pada kantor yang berbeda.

Masalah Penjadwalan Pegawai 1

Sebuah taman hiburan memerlukan/membutuhkan beberapa pegawai setiap hari dalam 1 minggu. Setiap pegawai lelaki/perempuan dijadwalkan libur berturut-turut selama 2 hari. Jadi, pegawai bekerja selama 5 hari berturut-turut. Berapa jumlah pegawai seharusnya untuk memperkecil alokasi biaya gaji pegawai? Di bawah ini adalah tabel masalah rencana penjadwalan pegawai sebuah taman hiburan:

Jadwal libur	Hari libur	jumlah pegawai	Minggu	Senin	Selasa	Rabu	kamis	Jumat	sabtu
A	Minggu, senin	0	0	0	1	1	1	1	1
B	Senin, selasa	0	1	0	0	1	1	1	1
C	Selasa, rabu	0	1	1	0	0	1	1	1
D	Rabu, kamis	0	1	1	1	0	0	1	1
E	kamis, Jumat	0	1	1	1	1	0	0	1
F	Jumat, Sabtu	0	1	1	1	1	1	0	0
G	Sabtu, minggu	0	0	1	1	1	1	1	0
total jumlah pegawai		0	0	0	0	0	0	0	0
total permintaan			22	17	13	14	15	18	24
gaji pegawai/hari(xRp.10000):		40							
Gaji pegawai/minggu(xRp10000):		0							

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah jumlah pegawai yang bekerja pada taman hiburan dengan jadwal libur mulai A sampai G, dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ masing-masing mewakili jadwal libur Minggu dan Senin, Senin dan Selasa, Selasa dan Rabu, Rabu dan Kamis, Kamis dan Jumat, Jumat dan Sabtu, Sabtu dan Minggu; dan $j = 1$ mewakili jumlah pegawai.

Kendala

Kendala dalam masalah ini adalah:

- Jumlah pegawai per jadwal libur ≥ 0 dan bukan negatif
- Jumlah pegawai per jadwal libur = bilangan bulat
- Total jadwal libur pegawai disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total permintaan jumlah pegawai, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Hari Minggu: } 0X_{11} + 1X_{21} + 1X_{31} + 1X_{41} + 1X_{51} + 1X_{61} + 0X_{71} \geq 22$$

$$\text{Hari Senin: } 0X_{12} + 0X_{22} + 1X_{32} + 1X_{42} + 1X_{52} + 1X_{62} + 1X_{72} \geq 17$$

$$\text{Hari Selasa: } 1X_{13} + 0X_{23} + 0X_{33} + 1X_{43} + 1X_{53} + 1X_{63} + 0X_{73} \geq 13$$

$$\text{Hari Rabu: } 1X_{14} + 1X_{24} + 0X_{34} + 0X_{44} + 1X_{54} + 1X_{64} + 1X_{74} \geq 14$$

$$\text{Hari Kamis: } 1X_{15} + 1X_{25} + 1X_{35} + 0X_{45} + 0X_{55} + 1X_{65} + 1X_{75} \geq 15$$

$$\text{Hari Jumat: } 1X_{16} + 1X_{26} + 1X_{36} + 1X_{46} + 0X_{56} + 0X_{66} + 1X_{76} \geq 18$$

$$\text{Hari Sabtu: } 1X_{17} + 1X_{27} + 1X_{37} + 1X_{47} + 1X_{57} + 0X_{67} + 0X_{77} \geq 24$$

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah meminimalkan gaji pegawai per minggu yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z = \text{total pegawai} \times \text{gaji pegawai/hari} \times 5 \text{ hari kerja}$$

$$= \text{total pegawai} \times \text{Rp } 400.000,00 \times 5 \text{ hari kerja}$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
6	Jadwal libur Hari libur											
7	A	Minggu, senin		jumlah pegawai	Minggu	Senin	Selasa	Rabu	kamis	jumat	sabtu	
8	B	Senin, selasa		0	0	0	1	1	1	1	1	
9	C	Selasa, rabu		0	1	0	0	1	1	1	1	
10	D	Rabu, kamis		0	1	1	0	0	1	1	1	
11	E	kamis, jumat		0	1	1	1	0	0	1	1	
12	F	jumat, sabtu		0	1	1	1	1	0	0	1	
13	G	sabtu, minggu		0	1	1	1	1	1	0	0	
14				0	0	1	1	1	1	1	0	
15		total jumlah pegawai		0								
16					0	0	0	0	0	0	0	
17		total permintaan										
18					22	17	13	14	15	18	24	
19		gaji pegawai/hari(xRp.10000):		40								
20		Gaji pegawai/minggu(xRp10000)		0								

Gambar 7.12 Implementasi awal dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.12 diketahui bahwa fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dapat dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

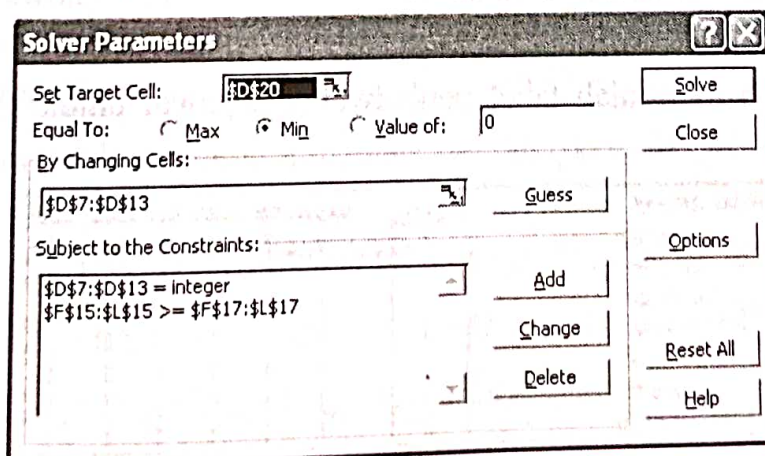
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah pegawai yang bekerja pada taman hiburan dengan jadwal libur mulai A sampai G	D7:D13

Fungsi Tujuan	Cell	Formula
Meminimalkan biaya gaji pegawai per minggu	D20	D15*D9*D5

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopi	Formula Kopi
Total jadwal libur di hari minggu	F15	=SUMPRODUCT (D7:D13,F7:F13)	≥	F17	L15	=SUMPRODUCT (D7:D13,L7:L13)

Setelah memasukkan rumus implementasi awal, tampil Solver Parameters seperti Gambar 7.13 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya gaji pegawai per minggu (cell D20).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang jumlah pegawai yang bekerja pada taman hiburan (cell D7:D13).
- Subject to the Constraints adalah kendala berupa total jadwal libur pegawai (cell F15:L15) disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi total permintaan jumlah pegawai (cell F17:L17).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala, serta linier dalam Solver maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 7.13 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

[illegible]

Gambar 7.14 Implementasi akhir dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.14, diketahui bahwa jumlah pegawai di hari Minggu dan Senin = 3 orang, Senin dan Selasa = 4 orang, Selasa dan Rabu = 7 orang, Rabu dan Kamis = 4 orang, Kamis dan Jumat = 6 orang, Jumat dan Sabtu = 1 orang dengan total jadwal libur = 25 orang, gaji pegawai per minggu = Rp 5.000,00 x 10.000 = Rp 50.000.000,00.

Masalah Penjadwalan Pegawai 2

Masalah taman hiburan 2 merupakan pengembangan dari masalah penjadwalan pegawai untuk sebuah taman hiburan 1 yang memiliki gaji jumlah pegawai. Sekarang taman hiburan membutuhkan kejelasan mengenai pegawai yang hendak meneruskan penjadwalan. Setiap pegawai memberikan sebuah daftar dengan pilihan lelaki/perempuan. A7 berarti jadwal yang paling diinginkan, sedangkan A1 berarti jadwal yang paling sedikit diinginkan. Bagaimana seharusnya taman hiburan membagi penjadwalan di antara pekerja/pegawai untuk memperkecil alokasi pengeluaran gaji/upah pegawai?

Di bawah ini adalah tabel penjadwalan pegawai untuk sebuah taman hiburan 2:

Jadwal libur hari libur	pegawai	minggu	senin	selasa	rabu	kamis	Jumat	Sabtu
A minggu, senin	3	0	0	1	1	1	1	1
B senin, selasa	5	1	0	0	1	1	1	1
C selasa, rabu	7	1	1	0	0	1	1	1
D rabu, khamis	3	1	1	1	0	0	1	1
E khamis, Jumat	7	1	1	1	1	0	0	1
F Jumat, Sabtu	0	1	1	1	1	1	0	0
G Sabtu, minggu	0	0	1	1	1	1	1	0

total pegawai	Schedule Totals:	25	22	17	13	15	15	18	25
---------------	-------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----

total kebutuhan		22	17	13	14	15	18	24
-----------------	--	----	----	----	----	----	----	----

gaji pegawai/hari (x Rp10000)	40
gaji pegawai/minggu (x Rp 10000)	5.000

Pilihan dan penugasan (A = penugasan, B = pilihan tersedia)								jadwal penugasan ke								
	A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	Total	Pilihan
Pegawai 1	4	6	5	3	2	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 2	3	4	5	2	1	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 3	6	5	2	7	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 4	4	5	3	6	2	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 5	5	4	2	6	7	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 6	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 7	7	5	3	1	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 8	4	3	2	5	6	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 9	5	4	3	2	7	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 10	1	3	2	5	6	7	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 11	6	7	2	1	3	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 12	5	4	6	7	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 13	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 14	4	6	7	3	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 15	4	5	7	6	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 16	4	3	2	5	6	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 17	6	5	7	3	2	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 18	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 19	6	5	3	4	2	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 20	4	5	3	6	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 21	7	6	5	3	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 22	7	6	2	5	3	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 23	6	5	7	3	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 24	5	6	4	3	1	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pegawai 25	6	4	7	5	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total jadwal penugasan								0	0	0	0	0	0	0	0	0
ketersediaan								3	5	7	3	7	0	0	0	0

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah jadwal penugasan pegawai yang dinotasikan dengan X_{ij} , di mana $i = 1, 2, \dots, 25$ masing-masing mewakili Pegawai 1, 2, ..., 25 dan $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ masing-masing mewakili penugasan pegawai pada A, B, C, D, E, F dan G.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah mengoptimalkan pilihan pegawai yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &4X_{11} + 6X_{12} + 5X_{13} + 3X_{14} + 2X_{15} + 7X_{16} + 1X_{17} + 3X_{21} + 4X_{22} + 5X_{23} + 2X_{24} + \\
 &1X_{25} + 7X_{26} + 6X_{27} + 6X_{31} + 5X_{32} + 2X_{33} + 7X_{34} + 4X_{35} + 3X_{36} + 1X_{37} + 4X_{41} + \\
 &5X_{42} + 3X_{43} + 6X_{44} + 2X_{45} + 7X_{46} + 1X_{47} + 5X_{51} + 4X_{52} + 2X_{53} + 6X_{54} + 7X_{55} + \\
 &3X_{56} + 1X_{57} + 1X_{61} + 2X_{62} + 3X_{63} + 4X_{64} + 5X_{65} + 5X_{66} + 6X_{67} + 7X_{71} + 5X_{72} + \\
 &3X_{73} + 1X_{74} + 6X_{75} + 4X_{76} + 2X_{77} + 4X_{81} + 3X_{82} + 2X_{83} + 5X_{84} + 6X_{85} + 1X_{86} + \\
 &7X_{87} + 5X_{91} + 4X_{92} + 3X_{93} + 2X_{94} + 7X_{95} + 6X_{96} + 1X_{97} + 1X_{101} + 3X_{102} + 2X_{103}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+5X_{104}+6X_{105}+7X_{106}+4X_{107}+6X_{111}+7X_{112}+2X_{113}+1X_{114}+3X_{115}+4X_{116} \\
&+5X_{117}+5X_{121}+4X_{122}+6X_{123}+7X_{124}+3X_{125}+2X_{126}+1X_{127}+1X_{131}+2X_{132} \\
&+3X_{133}+4X_{134}+5X_{135}+6X_{136}+7X_{137}+4X_{141}+6X_{142}+7X_{143}+3X_{144}+2X_{145} \\
&+5X_{146}+1X_{147}+4X_{151}+5X_{152}+7X_{153}+6X_{154}+3X_{155}+2X_{156}+1X_{157}+4X_{161} \\
&+3X_{162}+2X_{163}+5X_{164}+6X_{165}+7X_{166}+1X_{167}+6X_{171}+5X_{172}+7X_{173}+3X_{174} \\
&+2X_{175}+1X_{176}+4X_{177}+7X_{181}+6X_{182}+5X_{183}+4X_{184}+3X_{185}+2X_{186}+1X_{187} \\
&+6X_{191}+5X_{192}+3X_{193}+4X_{194}+2X_{195}+7X_{196}+1X_{197}+4X_{201}+5X_{202}+3X_{203} \\
&+6X_{204}+7X_{205}+2X_{206}+1X_{207}+7X_{211}+6X_{212}+5X_{213}+3X_{214}+4X_{215}+1X_{216} \\
&+2X_{217}+7X_{221}+6X_{222}+2X_{223}+5X_{224}+3X_{225}+4X_{226}+1X_{227}+6X_{231}+5X_{232} \\
&+7X_{233}+3X_{234}+4X_{235}+2X_{236}+1X_{237}+5X_{241}+6X_{242}+4X_{243}+3X_{244}+1X_{245} \\
&+2X_{246}+7X_{247}+6X_{251}+4X_{252}+7X_{253}+5X_{254}+3X_{255}+2X_{256}+1X_{257}
\end{aligned}$$

Kendala

- Total jadwal penugasan pegawai = kebutuhan penugasan pegawai
 Penugasan pegawai pada A = $X_{11}+X_{21}+\dots+X_{251}=3$
 Penugasan pegawai pada B = $X_{12}+X_{22}+\dots+X_{252}=5$
 Penugasan pegawai pada C = $X_{13}+X_{23}+\dots+X_{253}=7$
 Penugasan pegawai pada D = $X_{14}+X_{24}+\dots+X_{254}=3$
 Penugasan pegawai pada E = $X_{15}+X_{25}+\dots+X_{255}=7$
 Penugasan pegawai pada F = $X_{16}+X_{26}+\dots+X_{256}=0$
 Penugasan pegawai pada G = $X_{17}+X_{27}+\dots+X_{257}=0$
- Total jadwal penugasan per pegawai = 1
 $X_{ij} = 1$
- Jadwal penugasan pegawai, di mana $X_{ij} = \text{biner}$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
7	Jadwal kerja dan kebutuhan											
8	A	manajemen		3		0	0	1	1	1	1	1
9	B	manajemen		5		1	0	0	1	1	1	1
10	C	manajemen		7		1	1	0	0	1	1	1
11	D	manajemen		3		1	1	1	0	0	1	1
12	E	manajemen		7		1	1	1	1	0	0	1
13	F	manajemen		0		1	1	1	1	1	0	0
14	G	manajemen		0		0	1	1	1	1	1	0
15	total pegawai			25		22	17	13	15	15	18	25
16	total kebutuhan:					22	17	13	14	15	18	24
17	gaji pegawai/hari (xRp10000)			40								
18	gaji pegawai/minggu (x Rp 10000)			5,000								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
21	Jadwal dan penugasan (kebutuhan pegawai)												Jadwal penugasan ke									
22		A	B	C	D	E	F	G					A	B	C	D	E	F	G	Total	Pilihan	
23	Pegawai 1	4	6	5	3	2	7	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	Pegawai 2	3	4	5	2	1	7	6					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	Pegawai 3	6	5	2	7	4	3	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Pegawai 4	4	5	3	6	2	7	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Pegawai 5	5	4	2	6	7	3	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Pegawai 6	1	2	3	4	5	6	7					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Pegawai 7	7	5	3	1	6	4	2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Pegawai 8	4	3	2	5	6	1	7					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Pegawai 9	5	4	3	2	7	6	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Pegawai 10	1	3	2	5	6	7	4					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Pegawai 11	6	7	2	1	3	4	5					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Pegawai 12	5	4	6	7	3	2	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	Pegawai 13	1	2	3	4	5	6	7					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	Pegawai 14	4	6	7	3	2	5	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	Pegawai 15	4	5	7	6	3	2	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Pegawai 16	4	3	2	5	6	7	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	Pegawai 17	6	5	7	3	2	1	4					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	Pegawai 18	7	6	5	4	3	2	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Pegawai 19	6	5	3	4	2	7	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Pegawai 20	4	5	3	6	7	2	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	Pegawai 21	7	6	5	3	4	1	2					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Pegawai 22	7	6	2	5	3	4	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	Pegawai 23	6	5	7	3	4	2	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	Pegawai 24	5	6	4	3	1	2	7					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Pegawai 25	6	4	7	5	3	2	1					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	total jadwal penugasan												0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
49	kebutuhan												3	5	7	3	7	0	0			

Gambar 7.15 Implementasi awal dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.15, diketahui bahwa fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

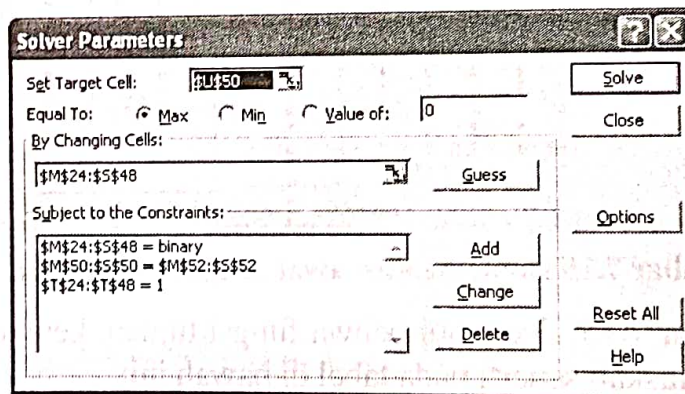
Variabel Keputusan	Cell
Jadwal penugasan pegawai	(M24:S48)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopi	Formula Kopi
Mengoptimalkan pilihan	U50	=SUM(U24:U48)	-	-
Pegawai, di mana: Pegawai 1	U24	=SUMPRODUCT(E24:K24,M24:S24)	U48	=SUMPRODUCT(U48:K48,M48:S48)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopi	Formula Kopi	Batas Kopi
Total jadwal penugasan Pegawai A = kebutuhan Pegawai A	M50	=SUM (M24:M48)	=	M52=D7	S50	=SUM (S24:S48)	S52=D13

Setelah rumus awal dimasukkan, tampil Solver Parameters seperti Gambar 7.16 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk mengoptimalkan pilihan pegawai (cell U50).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang jadwal penugasan pegawai (cell M24:S48).
- Subject to the Constraints adalah kendala total jadwal penugasan pegawai (cell M50:S50) = kebutuhan penugasan pegawai (cell M52:S52), total jadwal penugasan per pegawai (cell T24:T48) = 1, dan jadwal penugasan per pegawai (cell M24:S48) = biner.
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dan linier dalam solver maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 7.16 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 7.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
5											
6	hari kerja										
7	pegawai		minggu senin selasa rabu kamis jumat Sabtu								
8	pegawai 1	3	0	0	1	1	1	1	1	1	
9	pegawai 2	5	1	0	0	1	1	1	1	1	
10	pegawai 3	7	1	1	0	0	1	1	1	1	
11	pegawai 4	3	1	1	1	0	0	1	1	1	
12	pegawai 5	7	1	1	1	1	0	0	1	1	
13	pegawai 6	0	1	1	1	1	1	0	0	1	
14	pegawai 7	0	0	1	1	1	1	1	1	0	
15	total pegawai	Schedule Totals:		25	22	17	13	15	15	18	25
17	total kebutuhan:				22	17	13	14	15	18	24
19	gaji pegawai/hari (xRp10000)			40							
20	gaji pegawai/minggu (x Rp 10000)			5.000							

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
21																					
22	Pilihan dan pegawai (7-pilihan, 10-pilihan terakhir)											jadwal penugasan ke									
23		A	B	C	D	E	F	G	A	B	C	D	E	F	G	Total	Pilihan				
24	Pegawai 1	4	6	5	3	2	7	1	0	1	0	0	0	0	0	1	6				
25	Pegawai 2	3	4	5	2	1	7	6	0	0	1	0	0	0	0	1	5				
26	Pegawai 3	6	5	2	7	4	3	1	0	0	0	1	0	0	0	1	7				
27	Pegawai 4	4	5	3	6	2	7	1	0	0	0	1	0	0	0	1	6				
28	Pegawai 5	5	4	2	6	7	3	1	0	0	0	0	1	0	0	1	7				
29	Pegawai 6	1	2	3	4	5	6	7	0	0	1	0	0	0	0	1	3				
30	Pegawai 7	7	5	3	1	6	4	2	1	0	0	0	0	0	0	1	7				
31	Pegawai 8	4	3	2	5	6	1	7	0	0	0	0	1	0	0	1	6				
32	Pegawai 9	5	4	3	2	7	6	1	0	0	0	0	1	0	0	1	7				
33	Pegawai 10	1	3	2	5	6	7	4	0	0	0	0	1	0	0	1	6				
34	Pegawai 11	6	7	2	1	3	4	5	0	1	0	0	0	0	0	1	7				
35	Pegawai 12	5	4	6	7	3	2	1	0	0	0	1	0	0	0	1	7				
36	Pegawai 13	1	2	3	4	5	6	7	0	0	0	0	1	0	0	1	5				
37	Pegawai 14	4	6	7	3	2	5	1	0	0	1	0	0	0	0	1	7				
38	Pegawai 15	4	5	7	6	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	7				
39	Pegawai 16	4	3	2	5	6	7	1	0	0	0	0	1	0	0	1	6				
40	Pegawai 17	6	5	7	3	2	1	4	0	0	1	0	0	0	0	1	7				
41	Pegawai 18	7	6	5	4	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0	1	6				
42	Pegawai 19	6	5	3	4	2	7	1	0	1	0	0	0	0	0	1	5				
43	Pegawai 20	4	5	3	6	7	2	1	0	0	0	0	1	0	0	1	7				
44	Pegawai 21	7	6	5	3	4	1	2	1	0	0	0	0	0	0	1	7				
45	Pegawai 22	7	6	2	5	3	4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	7				
46	Pegawai 23	6	5	7	3	4	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	7				
47	Pegawai 24	5	6	4	3	1	2	7	0	1	0	0	0	0	0	1	6				
48	Pegawai 25	6	4	7	5	3	2	1	0	0	1	0	0	0	0	1	7				
50	total jadwal penugasan											3	5	7	3	7	0	0	158		
52	kebutuhan											3	5	7	3	7	0	0			

Gambar 7.17 Implementasi akhir dengan Solver di Excel

Dari gambar 7.17, diketahui bahwa jadwal penugasan Pegawai 7, 21, 22 hanya pada A; Pegawai 1, 11, 18, 19, 24 hanya pada B; Pegawai 2, 6, 14, 15, 17, 23, 25 hanya pada C; Pegawai 3, 4, 12, hanya pada D; dan Pegawai 5, 8, 9, 10, 13, 16, 20 hanya pada E. Kemudian, Pilihan 6 pada Pegawai 1, 4, 8, 10, 16, 18, 24; Pilihan 5 pada Pegawai 2, 13, 19; Pilihan 7 pada Pegawai 3, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 17, 20-23. Total jadwal penugasan = 158.

penjadwalan

amanya masa
n menentukan

n mengambil

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah jadwal penugasan pegawai yang dinotasikan dengan X_{ij} , di mana $i = 1, 2, \dots, 25$ masing-masing mewakili Pegawai 1, 2, ..., 25 dan $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ masing-masing mewakili penugasan pegawai pada A, B, C, D, E.

Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah mengoptimalkan pilihan pegawai yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 &(5X_{11}+3X_{12}+2X_{13}+4X_{14}+1X_{15})x5+(3X_{21}+4X_{22}+5X_{23}+2X_{24}+1X_{25})x6+(4X_{31}+3X_{32}+2X_{33}+1X_{34}+5X_{35})x4+(3X_{41}+4X_{42}+2X_{43}+1X_{44}+5X_{45})x7+(1X_{51}+3X_{52}+4X_{53}+2X_{54}+5X_{55})x3+(4X_{61}+5X_{62}+3X_{63}+1X_{64}+2X_{65})x2+(3X_{71}+4X_{72}+2X_{73}+5X_{74}+1X_{75})x7+(2X_{81}+4X_{82}+3X_{83}+1X_{84}+5X_{85})x5+(4X_{91}+3X_{92}+2X_{93}+5X_{94}+1X_{95})x3+(3X_{101}+4X_{102}+2X_{103}+5X_{104}+1X_{105})x2+(4X_{111}+2X_{112}+5X_{113}+1X_{114}+3X_{115})x5+(5X_{121}+3X_{122}+2X_{123}+4X_{124}+1X_{125})x7+(1X_{131}+2X_{132}+3X_{133}+4X_{134}+5X_{135})x5+(4X_{141}+2X_{142}+5X_{143}+3X_{144}+1X_{145})x4+(5X_{151}+4X_{152}+3X_{153}+1X_{154}+2X_{155})x9+(3X_{161}+5X_{162}+1X_{163}+4X_{164}+2X_{165})x5+(4X_{171}+3X_{172}+5X_{173}+2X_{174}+1X_{175})x6+(3X_{181}+4X_{182}+2X_{183}+5X_{184}+1X_{185})x7+(5X_{191}+4X_{192}+3X_{193}+2X_{194}+1X_{195})x6+(3X_{201}+5X_{202}+4X_{203}+2X_{204}+1X_{205})x4+(2X_{211}+5X_{212}+1X_{213}+3X_{214}+4X_{215})x3+(2X_{221}+5X_{222}+1X_{223}+3X_{224}+4X_{225})x4+(5X_{231}+2X_{232}+4X_{233}+3X_{234}+1X_{235})x6+(3X_{241}+1X_{242}+5X_{243}+2X_{244}+4X_{245})x6+(1X_{251}+4X_{252}+3X_{253}+5X_{254}+2X_{255})x7
 \end{aligned}$$

Kendala

Masalah ini memiliki beberapa kendala:

- Jadwal penugasan ke Pegawai 1 sampai 25 tidak boleh melebihi 1 dan merupakan bilangan bulat yang dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{ij} \leq 1 \text{ dan bilangan bulat}$$

- Jadwal penugasan ke Pegawai 1 sampai 25 disyaratkan sama atau paling sedikit melebihi 0, dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{ij} \geq 0$$

- Total jadwal penugasan ke Pegawai 1 sampai 25 = 1, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Pegawai 1} = (X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15}) = 1 \text{ sampai Pegawai 25}$$

- Total jadwal penugasan pegawai = kebutuhan penugasan pegawai

$$\text{Penugasan pegawai pada A} = X_{11} + X_{21} + \dots + X_{251} = 3$$

$$\text{Penugasan pegawai pada B} = X_{12} + X_{22} + \dots + X_{252} = 5$$

$$\text{Penugasan pegawai pada C} = X_{13} + X_{23} + \dots + X_{253} = 7$$

$$\text{Penugasan pegawai pada D} = X_{14} + X_{24} + \dots + X_{254} = 3$$

$$\text{Penugasan pegawai pada E} = X_{15} + X_{25} + \dots + X_{255} = 7$$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
4												
6	Jadwal libur hari libur			pegawai	minggu senin selasa rabu kamis jumat Sabtu							
7	A	minggu senin		3	0	0	1	1	1	1	1	1
8	B	senin selasa		5	1	0	0	1	1	1	1	1
9	C	selasa rabu		7	1	1	0	0	1	1	1	1
10	D	rabu kamis		3	1	1	1	0	0	1	1	1
11	E	kamis jumat		7	1	1	1	1	0	0	1	1
12	F	jumat sabtu		0	1	1	1	1	1	0	0	0
13	G	sabtu minggu		0	0	1	1	1	1	1	0	0
15	total pegawai Schedule Totalk:			25	22	17	13	15	15	18	25	
17	total kebutuhan:				22	17	13	14	15	18	24	
19	gaji pegawai/hari (xRp10000)			40								
20	gaji pegawai/minggu (x Rp 10000)			5.000								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
21																		
22	pilihan pegawai																	
23	lama masa kerja (tahun)					jadwal penugasan ke												
24	Pegawai1	5	3	2	4	1	A	B	C	D	E	Total	pilihan					
25	Pegawai2	6	3	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	Pegawai3	4	4	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	Pegawai4	7	3	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	Pegawai5	3	1	3	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	Pegawai6	2	4	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	Pegawai7	7	3	4	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	Pegawai8	5	2	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	Pegawai9	3	4	3	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	Pegawai10	2	3	4	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	Pegawai11	5	4	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	Pegawai12	7	5	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	Pegawai13	5	1	2	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	Pegawai14	4	4	2	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	Pegawai15	9	5	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	Pegawai16	5	3	5	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	Pegawai17	6	4	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	Pegawai18	7	3	4	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	Pegawai19	6	5	4	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	Pegawai20	4	3	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	Pegawai21	3	2	5	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	Pegawai22	4	2	5	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	Pegawai23	6	5	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	Pegawai24	6	3	1	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
48	Pegawai25	7	1	4	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	total jadwal											0	0	0	0	0	0	0
52	kebutuhan											3	5	7	3	7		

Gambar 7.18 Implementasi awal dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.18 diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

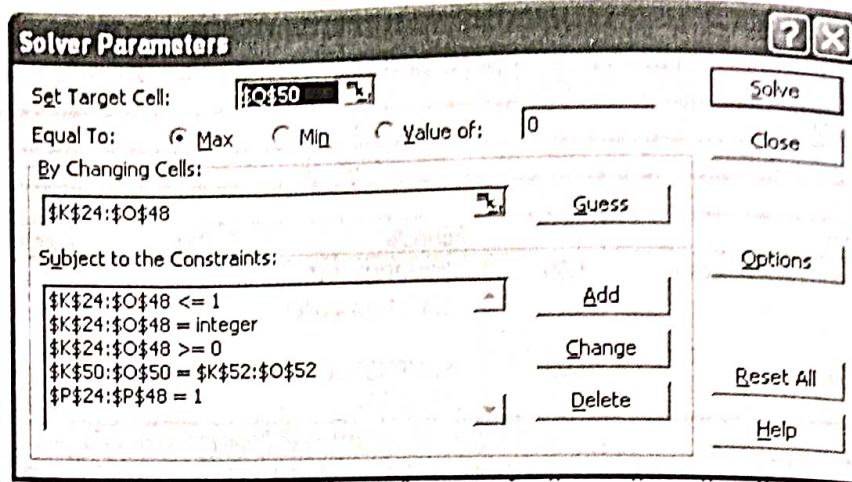
Variabel Keputusan	Cell
Jadwal penugasan pegawai	(K24:O 48)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopi	Formula Kopi
Mengoptimalkan pilihan pegawai, di mana:	Q50	=SUMPRODUCT (Q24:Q48,C24:C48)	-	-
Pilihan Pegawai 1	Q24	=SUMPRODUCT(E24:I 24,K24:O24)	Q48	=SUMPRODUCT (E48:I48,K48:O48)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopi	Formula Kopi	Batas Kopi
Total jadwal penugasan Pegawai A = kebutuhan Pegawai A	K50	=SUM (K24:K48)	=	K52=D7	O50	=SUM (O24:O48)	O52=D13

Setelah rumus implementasi awal dimasukkan, tampil Solver Parameters seperti Gambar 7.19 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk mengoptimalkan pilihan pegawai (cell Q50).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan tentang jadwal penugasan pegawai (cell K24:O48).
- Subject to the Constraints adalah kendala total jadwal penugasan pegawai (cell K50:O50) = kebutuhan penugasan pegawai (cell K52:O52), jadwal penugasan ke Pegawai 1 sampai 25 (cell K24:O48) ≥ 0 , ≤ 1 dan merupakan bilangan bulat, total jadwal penugasan Pegawai 1 sampai 25 (cell P24:P48)=1.
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dan linier dalam solver maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 7.19 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan Gambar 7.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
6	jadwal libur. hari libur		pegawai	Minggu Senin Selasa Rabu Kamis Jumat Sabtu								
7	A	minggu, senin	3	0	0	1	1	1	1	1	1	1
8	B	senin, selasa	5	1	0	0	1	1	1	1	1	1
9	C	selasa, rabu	7	1	1	0	0	1	1	1	1	1
10	D	rabu, kamis	3	1	1	1	0	0	1	1	1	1
11	E	kamis, jumat	7	1	1	1	1	0	0	1	1	1
12	F	Jumat, Sabtu	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
13	G	Sabtu, minggu	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
15	total pegawai			25								
17	total kebutuhan				22	17	13	15	15	18	25	
19	gaji pegawai/hari (xRp 10000)			40								
20	gaji pegawai/minggu (xRp 10000)			5.000								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
24	pilihan pegawai																	
25	lama masa kerja (tahun)		A	B	C	D	E	jadwal penugasan ke										
26	Pegawai1	5	5	3	2	4	1	A	B	C	D	E	Total	pilihan				
27	Pegawai2	6	3	4	5	2	1	1	0	0	0	0	1	1	5			
28	Pegawai3	4	4	3	2	1	5	0	0	0	0	0	1	1	5			
29	Pegawai4	7	3	4	2	1	5	0	0	0	0	0	1	1	5			
30	Pegawai5	3	1	3	4	2	5	0	0	0	0	0	1	1	5			
31	Pegawai6	2	4	5	3	1	2	0	1	0	0	0	0	1	1	5		
32	Pegawai7	7	3	4	2	5	1	0	0	0	0	0	1	1	5			
33	Pegawai8	5	2	4	3	1	5	0	0	0	0	1	0	1	1	5		
34	Pegawai9	3	4	3	2	5	1	0	0	0	0	0	1	1	5			
35	Pegawai10	2	3	4	2	5	1	0	0	1	0	0	0	1	1	2		
36	Pegawai11	5	4	2	5	1	3	0	1	0	0	0	0	1	1	4		
37	Pegawai12	7	5	3	2	4	1	0	0	1	0	0	0	1	1	5		
38	Pegawai13	5	1	2	3	4	5	0	0	0	0	0	1	1	5			
39	Pegawai14	4	4	2	5	3	1	0	0	0	0	0	1	1	5			
40	Pegawai15	9	5	4	3	1	2	1	0	0	0	0	0	1	1	5		
41	Pegawai16	5	3	5	1	4	2	0	1	0	0	0	0	1	1	5		
42	Pegawai17	6	4	3	5	2	1	0	0	1	0	0	0	1	1	5		
43	Pegawai18	7	3	4	2	5	1	0	0	1	0	0	0	1	1	5		
44	Pegawai19	6	5	4	3	2	1	0	0	0	1	0	0	1	1	5		
45	Pegawai20	4	3	5	4	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1	4		
46	Pegawai21	3	2	5	1	3	4	0	1	0	0	0	1	1	5			
47	Pegawai22	4	2	5	1	3	4	0	0	0	0	0	1	1	4			
48	Pegawai23	6	5	2	4	3	1	0	0	1	0	0	1	1	4			
49	Pegawai24	6	3	1	5	2	4	0	0	1	0	0	1	1	5			
50	Pegawai25	7	1	4	3	5	2	0	0	0	1	0	1	1	5			
52	total jadwal			3	5	7	3	7					810					
53	kebutuhan			3	5	7	3	7										

Gambar 7.20 Implementasi akhir dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.20, diketahui bahwa jadwal penugasan Pegawai 1, 12, 15 hanya pada A; Pegawai 6, 10, 15, 18 hanya pada B; Pegawai 2, 9, 11, 14, 17, 23, 24 hanya pada C; Pegawai 7, 18, 25 hanya pada D; dan Pegawai 3, 4, 5, 8, 13, 22, 23 hanya pada E. Selanjutnya, Pilihan 5 pada Pegawai 1-8, 11-18, 20, 24-25; Pilihan 4 pada pegawai 10, 19, 21-23; dan Pilihan 2 hanya pada Pegawai 9. Total jadwal penugasan = 610.

Masalah Perpindahan Pasukan

Komandan regu ingin memindahkan pasukan dari 3 perkampungan latihan ke 4 pangkalan yang berbeda. Semua biaya perpindahan tentara dari beberapa perkampungan ke beberapa pangkalan telah diketahui. Bagaimana seharusnya memindahkan pasukan untuk memperkecil biaya? Di bawah ini adalah tabel dari masalah perpindahan pasukan:

Biaya perpindahan Per pasukan (Rp.1000)

	Pangkalan1	Pangkalan2	Pangkalan3	Pangkalan4
Perkampungan1	34	26	29	31
Perkampungan2	42	33	28	35
Perkampungan3	36	29	32	38

Jumlah perpindahan pasukan

	Pangkalan1	Pangkalan2	Pangkalan3	Pangkalan4	Total	tersedia
Perkampungan1	0	0	0	0	0	500
Perkampungan2	0	0	0	0	0	400
Perkampungan3	0	0	0	0	0	400
Total	0	0	0	0		
kebutuhan	200	250	350	300		
biaya perpindahan pasukan(xRp.10000)	0	0	0	0	0	

Pemrograman Linier

Pembuatan Model Matematis

Variabel Keputusan+

Variabel keputusan adalah jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan i ke pangkalan j , yang dinotasikan dengan X_{ij} di mana $i = 1, 2, 3$ masing-masing mewakili perkampungan 1, 2, 3, dan $j = 1, 2, 3, 4$ masing-masing mewakili pangkalan 1, 2, 3 dan 4.

Kendala

Masalah ini meliputi beberapa kendala:

- Total jumlah perpindahan pasukan ke Pangkalan 1, 2, 3, 4 = kebutuhan jumlah perpindahan pasukan ke Pangkalan 1, 2, 3, 4, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Pangkalan 1} = (X_{11} + X_{21} + X_{31}) = 200$$

$$\text{Pangkalan 2} = (X_{12} + X_{22} + X_{32}) = 250$$

$$\text{Pangkalan 3} = (X_{13} + X_{23} + X_{33}) = 350$$

$$\text{Pangkalan 4} = (X_{14} + X_{24} + X_{34}) = 300$$

Total jumlah pemindahan pasukan dari Perkampungan 1, 2, 3 tidak boleh melebihi tersedianya jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan 1, 2, 3 yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Perkampungan 1} = (X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14}) \leq 500$$

$$\text{Perkampungan 2} = (X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24}) \leq 400$$

$$\text{Perkampungan 3} = (X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34}) \leq 400$$

di mana $X_{ij} \geq 0$

Implementasi Awal dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
5	biaya perpindahan Per pasukan(xRp.10000)						
6		Pangkalan1	Pangkalan2	Pangkalan3	Pangkalan4		
7	Perkampungan1	34	26	29	31		
8	Perkampungan2	42	33	28	35		
9	Perkampungan3	36	29	32	38		
11	jumlah perpindahan pasukan						
12		Pangkalan1	Pangkalan2	Pangkalan3	Pangkalan4	Total	tersedia
13	Perkampungan1	0	0	0	0	0	500
14	Perkampungan2	0	0	0	0	0	400
15	Perkampungan3	0	0	0	0	0	400
16	Total	0	0	0	0		
17	kebutuhan	200	250	350	300		
18	biaya perpindahan pasukan(xRp.10000)	0	0	0	0	0	

Gambar 7.21 Tampilan awal dengan Solver di Excel

Dari Gambar 7.21 diketahui bahwa rumusan fungsi tujuan, kendala dan variabel keputusan dirumuskan seperti pada tabel di bawah ini:

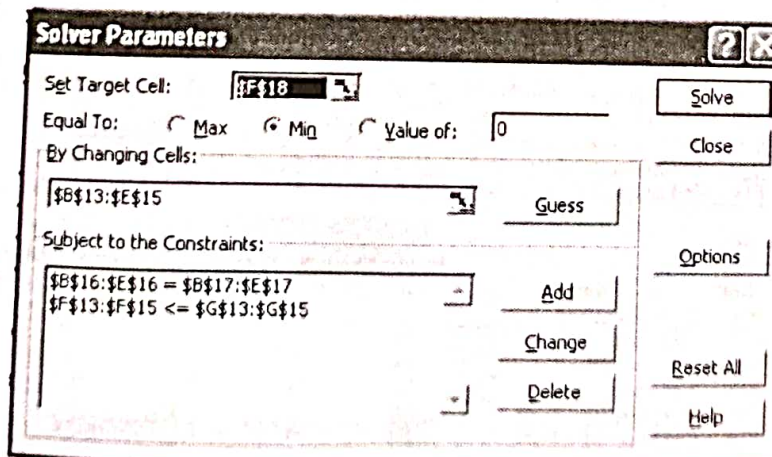
Variabel Keputusan	Cell
Jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan i ke pangkalan j	(B13:E15)

Fungsi Tujuan	Cell	Formula	Cell Kopy	Formula Kopy
Meminimalkan total biaya perpindahan pasukan, di mana: Biaya perpindahan pasukan ke pangkalan 1	F18 B18	=SUM(B18:E18) =SUMPRODUCT(B7:B9,B13:B15)	E18	=SUMPRODUCT(E7:E9,E13:E15)

Kendala	Cell	Formula	Syarat	Batas	Cell Kopl	Formula Kopl	Batas Kopl
Total jumlah perpindahan pasukan ke pangkalan i = kebutuhan jumlah perpindahan pasukan ke pangkalan j	B16	=SUM(B13:B15)	=	B17	E16	=SUM(13:E15)	E17
Total jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan i tidak boleh melebihi tersedianya jumlah perpindahan pasukan	F13	=SUM(B13:E13)	≤	G13	F15	=SUM(B15:F15)	G15

Setelah rumus awal dimasukkan, akan tampil Solver Parameters seperti Gambar 7.22 dengan keterangan sebagai berikut:

- Set Target Cell adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan total biaya perpindahan pasukan (cell F18).
- By Changing Cells adalah variabel keputusan jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan i ke pangkalan j (cell B13:E15).
- Subject to the Constraints adalah kendala total jumlah perpindahan pasukan ke pangkalan j (cell B16:E16) = kebutuhan jumlah perpindahan pasukan ke pangkalan j (cell B17:E17) dan total jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan i (cell F13:F15) tidak boleh melebihi tersedianya jumlah perpindahan pasukan dari perkampungan i (cell G13:G15).
- Dengan mengambil asumsi bukan negatif untuk fungsi tujuan, variabel keputusan dan kendala dan linier dalam solver maka akan muncul tampilan berikut:



Gambar 7.22 Tampilan Solver Parameters dalam Excel

- Langkah selanjutnya sama dengan gambar 7.3.

Implementasi Akhir dengan Solver di Excel

	A	B	C	D	E	F	G
5	biaya perpindahan Per pasukan(xRp10000)						
6		Pangkalan1	Pangkalan2	Pangkalan3	Pangkalan4		
7	Perkampungan1	34	26	29	31		
8	Perkampungan2	42	33	28	35		
9	Perkampungan3	36	29	32	38		
11	jumlah perpindahan pasukan						
12		Pangkalan1	Pangkalan2	Pangkalan3	Pangkalan4	Total	tersedia
13	Perkampungan1	0	200	0	300	500	500
14	Perkampungan2	0	0	350	0	350	400
15	Perkampungan3	200	50	0	0	250	400
16	Total	200	250	350	300		
17	kebutuhan	200	250	350	300		
18	biaya perpindahan pasukan(xRp.10000)	7.200	6.650	9.800	9.300	32.950	

Gambar 7.23 Implementasi akhir dengan Solver di Excel

Dari gambar 7.23, diketahui bahwa jumlah perpindahan dari Perkampungan 1 ke Pangkalan 2 dan 4 masing-masing sebanyak 200 orang dan 300 orang; Perkampungan 2 ke Pangkalan 3 sebesar 350 orang; dan, Perkampungan 3 ke Pangkalan 1 dan 2 masing-masing sebesar 200 orang dan 50 orang. Biaya perpindahan pasukan ke Pangkalan 1, 2, 3, 4 masing-masing sebesar Rp 7.200,00, Rp 6.650,00, Rp 9.800,00, dan Rp 9.300,00 dengan total biaya perpindahan pasukan Rp 32.950,00.

Analisis Sensitivitas

	A	B	C	D	E	F	G	H
6	Variabel keputusan							
7								
8	Cell	Name	Final Value	Reduced Cost	Objective Coefficient	Allowable Increase	Allowable Decrease	
9	B13	Perkampungan1 Pangkalan1	0	1	34	1E+30	1	
10	C13	Perkampungan1 Pangkalan2	200	0	26	1	1,000000004	
11	D13	Perkampungan1 Pangkalan3	0	4	29	1E+30	4,000000003	
12	E13	Perkampungan1 Pangkalan4	300	0	31	1,000000004	1E+30	
13	B14	Perkampungan2 Pangkalan1	0	6	42	1E+30	6,000000001	
14	C14	Perkampungan2 Pangkalan2	0	4	33	1E+30	3,999999995	
15	D14	Perkampungan2 Pangkalan3	350	0	28	4	1E+30	
16	E14	Perkampungan2 Pangkalan4	0	1	35	1E+30	1,000000004	
17	B15	Perkampungan3 Pangkalan1	200	0	36	1	1E+30	
18	C15	Perkampungan3 Pangkalan2	50	0	29	1,000000004	1	
19	D15	Perkampungan3 Pangkalan3	0	4	32	1E+30	4	
20	E15	Perkampungan3 Pangkalan4	0	4	38	1E+30	4,000000001	
21								
22	Kendala							
23								
24	Cell	Name	Final Value	Shadow Price	Constraint R.H. Side	Allowable Increase	Allowable Decrease	
25	B16	Total Pangkalan1	200	36	200	150	200	
26	C16	Total Pangkalan2	250	29	250	150	50	
27	D16	Total Pangkalan3	350	28	350	50	350	
28	E16	Total Pangkalan4	300	34	300	150	50	
29	F13	Perkampungan1 Total	500	-3	500	50	150	
30	F14	Perkampungan2 Total	350	0	400	1E+30	50	
31	F15	Perkampungan3 Total	250	0	400	1E+30	150	

Gambar 7.24 Hasil analisis sensitivitas dalam Excel

- Pada kolom cell E9 sampai E20 terjadi reduced cost (pembengkakan total biaya jumlah perpindahan pasukan). Misalnya komandan regu menaikkan biaya jumlah perpindahan pasukan sebesar Rp X sehingga solusi optimalnya menjadi Rp 32.950,00+1X. Nilai pembengkakan ini masih berlaku sampai batas biaya jumlah perpindahan pasukan $1E+30$ (tak hingga). Demikian juga untuk keputusan yang lain.
- Kolom final value D25 sampai D31 menampilkan nilai fungsi-fungsi pada saat variabel keputusan nilai-nilainya optimal (nilai-nilai fungsi kendala pada ruas kiri).
- Kolom E15 sampai E21 memuat shadow price. Terjadi kenaikan biaya jumlah perpindahan pasukan sebesar Rp 36,00 di mana pengurangan total jumlah perpindahan pasukan dibatasi sampai 200 dari batas total jumlah perpindahan pasukan sebesar 200. Adapun penambahan jumlah perpindahan pasukan dari batas total jumlah perpindahan pasukan adalah sebesar 150, yaitu maksimal 350 orang. Demikian juga untuk batas keputusan yang lain.

-oo0oo-

DAFTAR PUSTAKA

Buku

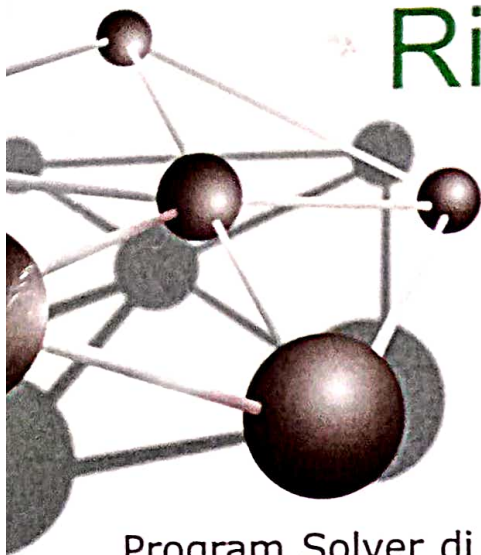
_____, 1980, *Introduction to Operations Research Third Edition*, Holden Day, Inc.

Taha. Hamdy A., 1996, *Riset Operasi Suatu Pengantar Jilid I Edisi Kelima*, t.p

Ragsdale. Cliff T., 1987. *A Practical Introduction to Management Science Second Edition*, n.p

Website

www.solver.com



Riset Oper d Ex

Perpustakaan
Universitas Kristen Petra
Swalankerto 121-131
Surabaya 60236
library@petra.ac.id

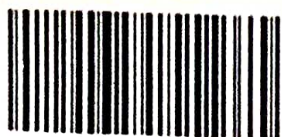


02195/07

Program Solver di Excel akan membantu Anda dalam menyelesaikan masalah-masalah seperti yang dibahas dalam buku ini, tanpa perlu membeli software. Program Solver dapat diinstal dari CD Microsoft Office XP dan memuat berbagai macam penyelesaian masalah dari pembelian, produksi, distribusi, keuangan, hingga penjadwalan dengan bermacam rumus implementasi. Anda akan memelajarinya dalam buku *Riset Operasi dengan Excel*.

Adapun model-model masalah yang tersaji meliputi berbagai proses usaha mulai dari pembelian, produksi, distribusi, keuangan, hingga penjadwalan pegawai. Setiap masalah yang tersaji dalam buku ini akan diselesaikan dengan menggunakan beberapa tahapan berikut:

- Pembuatan model matematis
- Implementasi awal dengan menggunakan program Solver di Excel
- Implementasi akhir dengan menggunakan program Solver di Excel
- Analisis sensitivitas, diperlukan jika ada masalah dengan tambahan kendala biner



02195/07

Penerbit **ANDI**

Jl. Beo 38-40 Telp.(0274)561881 Fax.(0274)588282

E-mail : penerbitan@andipublisher.com

Website : <http://www.andipublisher.com>

KOMPUTER - OFFICE

ISBN : 979-763-002-1



9 789797 630027
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10