

Tugas Mata Kuliah Pemodelan Sistem,
Program Magister Teknik dan Manajemen Industri, Tahun ajaran 2012/2013,

RINGKASAN ANALISIS SISTEM PADA PERMASALAHAN *LUBRICATING OIL DIVISION (LOD)*

Oleh :

Benita Ariane (23412056)

Reka Nova (23412052)

Jonathan Marcel (23412074)



Program Studi Magister Teknik Dan Manajemen Industri

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Bandung

2012

Divisi Minyak Pelumas (*Lubricating Oil Division (LOD)*)

Berikut ditunjukkan metodologi penelitian pada kasus di mana salah satu penulis adalah analis utama. Langkah-langkah yang dilakukan dimulai dari pengamatan, identifikasi masalah, formulasi dan analisis, hingga pembuatan model matematik.

Bagaimana proyek dimulai?

Proyek ini berkaitan dengan operasi dari Divisi Minyak Pelumas (LOD) dari sebuah perusahaan minyak besar di Amerika Serikat. Divisi LOD memproduksi dan menyimpan sekitar 400 jenis minyak pelumas untuk otomotif dan industri, kemudian dijual kepada lebih dari 1000 pelanggan. Penyebab diadakannya proyek penelitian ini adalah sebuah laporan oleh auditor internal perusahaan kepada Wakil Presiden Bidang Keuangan di mana menurut penilaian mereka rata-rata *stock turnover* (perputaran persediaan) yang saat ini dicapai oleh LOD adalah 12 kali per tahun, jauh di bawah target perusahaan yaitu sebesar 24 kali per tahun. Akibatnya, biaya dalam persediaan dianggap berlebihan. Kekhawatiran ini disampaikan kepada Wakil Presiden Bidang Manufaktur yang menginformasikan kepada manajer LOD dan memintanya untuk melapor pada waktu yang telah ditentukan. Sebagai tanggapan, manajer dari LOD mendekati kelompok OR di kantor pusat perusahaan untuk meminta bantuan. Saat itulah di mana analis terlibat.

Permintaan awal agak tidak jelas - manajer menginginkan saran. Oleh karena itu tahap pertama dari proyek ini jelaslah untuk memandang sifat dari permasalahan. Tidak ada jaminan bahwa proyek akan mendapatkan persetujuan.

Belajar istilah teknis dari *stakeholder*

Tindakan pertama analis adalah untuk mengatur tur di kantor dan fasilitas LOD. Mengingat nama orang adalah salah satu kelemahannya. Jadi, setiap kali dia bertemu orang-orang baru, ia segera mencatat nama dan tugas mereka. Dia membuat usaha yang sangat teliti untuk memahami, belajar, dan menggunakan istilah teknis yang sebagian besar masih asing baginya. Jika ia tidak memahami sesuatu, ia tidak malu untuk bertanya. Adalah penting untuk tidak berasumsi bahwa istilah teknis yang dipergunakan orang lain sama seperti istilah yang kita gunakan. Jadi dia benar-benar memeriksa untuk menghindari kebingungan dan kesalahpahaman.

Rincian operasi

Jika saja ia sudah terbiasa dengan *rich picture* pada waktu itu, ia akan menggambarkannya seperti pada gambar di bawah ini. *Rich picture* dimulai dari sudut kiri atas, yang menunjukkan apa yang memicu penelitian ini, yaitu kepedulian terhadap efisiensi ekonomi dari investasi. Inti dari *rich picture* adalah menggambarkan berbagai macam operasi dalam produksi LOD dan hubungan antar bagian pada operasi kilang dan pelanggan.

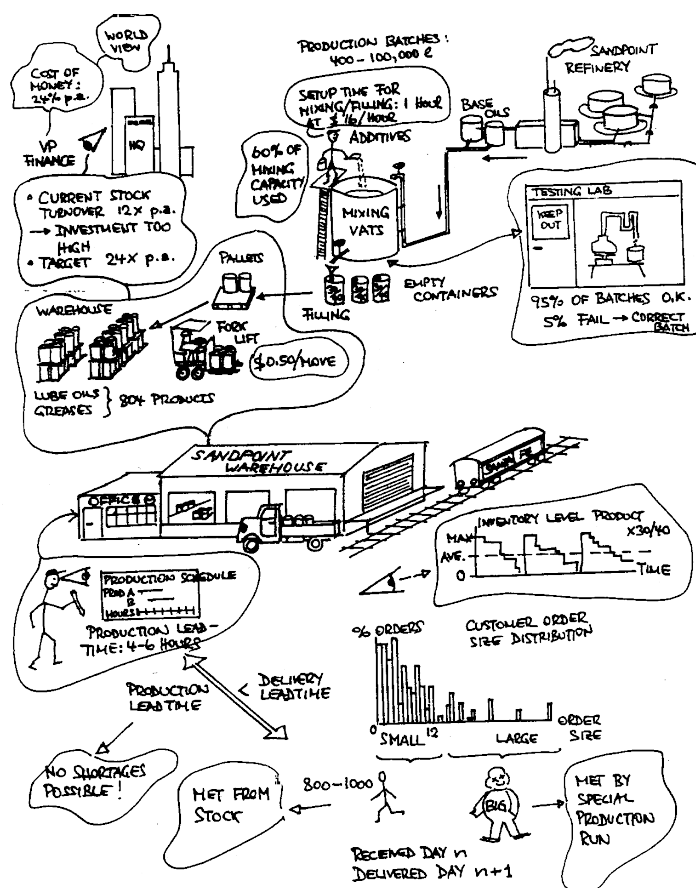
Produksi minyak pelumas dan gemuk dilakukan dalam *batch* dengan ukuran dari 400 liter hingga 100.000 liter. Banyak produk yang dijual dalam ukuran kontainer yang berbeda-beda - dari drum besar hingga kaleng kecil. LOD menghasilkan 804 produk yang berbeda-beda ukurannya. Seperti terlihat pada *rich picture*, beberapa pelanggan melakukan pemesanan besar untuk satu produk yang dipenuhi oleh suatu produksi khusus dan langsung dikirim kepada mereka. Hanya pesanan dari pelanggan yang kecil yang dipenuhi dari stok gudang. Seiring dengan penjualan persediaan, gudang diisi kembali oleh hasil produksi selanjutnya. LOD mengikuti kebijakan pengiriman barang kepada pelanggan dalam waktu dua hari setelah penerimaan pesanan, yaitu *lead time* pengiriman dua hari.

Berbagai minyak dasar dan aditif yang dicampur sesuai yang ditentukan dalam tangki pencampuran. Ukuran tangki yang dipilih tergantung pada ukuran batch pencampuran. *Base oil* diambil dari tangki penyimpanan, yang dihasilkan dari kilang. Setelah pencampuran, produk diuji untuk memastikan

bahwa produk memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Setelah *batch* lulus tes, minyak pelumas selesai diisi ke dalam wadah, biasanya dalam waktu 4-6 jam. Pola untuk produksi gemuk kira-kira sama.

Kapasitas pencampuran dan pengisian LOD cukup besar, dengan beberapa pengecualian, semua produksi selesai dalam 24 jam. Oleh sebab itu *lead time* produksi adalah satu hari. Ini adalah aspek yang memungkinkan untuk menjadwalkan produksi khusus untuk pelanggan besar setelah penerimaan pesanan, kemudian pengiriman produk direncanakan dalam siklus dua hari pengiriman. Ini juga berarti bahwa penambahan stok harus dijadwalkan hanya pada saat penjualan telah menyebabkan stok habis hingga ke tingkat yang terlalu kecil untuk memenuhi pesanan pelanggan terakhir. Akibatnya, semua pesanan pelanggan selalu dipenuhi dalam waktu pengiriman yang direncanakan. Tidak ada kekurangan dalam memenuhi permintaan pelanggan.

Barang yang telah dikemas dipindahkan menggunakan *forklift*. Barang yang dipasok dari stok dipindahkan dua kali, yaitu dari produksi ke lokasi stok di gudang dan dari gudang ke dermaga pengiriman. Barang untuk pesanan pelanggan besar hanya pindah sekali, yaitu dari produksi ke dermaga pengiriman. Oleh karena itu beban kerja total dan upah untuk operator *forklift* dapat dikurangi dengan memiliki lebih banyak barang melewati persediaan. Semakin besar pesanan dari pelanggan yang diklasifikasikan ke dalam order yang besar, makin kecil upah operator *forklift*.



Gambar Rich picture dari permasalahan LOD

Pemeriksaan aliran dokumen dan sumber data

Tentu, rasa ingin tahu dari analisis dalam melihat semua *file* data diartikan sebagai antusiasme kepada proyek tersebut. Dia meminta fotokopi semua dokumen yang digunakan dan memeriksa seberapa jauh *file* data disimpan kembali dan apakah selama periode perubahan dalam operasi dan dalam pengolahan informasi atau dalam format *file* data yang terjadi, untuk memastikan bahwa data dalam bentuk yang tepat tersedia bila diperlukan.

Setelah kembali ke kantor, ia segera mengatur semua informasi yang dikumpulkan dalam bentuk yang sistematis, mengisi setiap celah dari semua yang diingat, dan menyoroti aspek yang perlu penjelasan lebih lanjut atau verifikasi pada kunjungan berikutnya.

Mengidentifikasi masalah

Mengidentifikasi masalah yang akan dianalisis

Rich picture menunjukkan beberapa kemungkinan masalah, seperti proses penjadwalan produksi untuk mencapai koordinasi yang tepat dari operasi pencampuran dan pengisian, dan mengurangi biaya perubahan dari satu produk ke produk lain, terutama pada mesin pengisian, atau memutuskan pesanan pelanggan yang mana yang diklasifikasikan sebagai pesanan besar/kecil, atau menganalisis apakah menguntungkan untuk memperpanjang *lead time* produksi dari waktu saat ini, yaitu 1 (satu) hari. Hal ini akan memungkinkan koordinasi antara proses pencampuran dan pengisian menjadi lebih baik, serta mungkin dapat mengurangi jumlah operator yang dibutuhkan untuk melakukan tugas yang sama. Kendala dalam mempertahankan tingkat layanan pelanggan saat ini tampaknya akan menghambat usaha tersebut.

Stimulus untuk proyek tersebut pada awalnya adalah keprihatinan yang disuarakan oleh Wakil Presiden Bidang Keuangan. Pernyataannya tentang rata-rata *turnover* LOD yang tidak memadai membawa implikasi bahwa ia menganggap bahwa terlalu banyaknya penumpukan biaya dalam persediaan. Rata-rata *stock turnover* untuk LOD secara keseluruhan adalah rata-rata tertimbang atas semua produk. Seperti terlihat pada *rich picture*, perilaku persediaan yang normal dari waktu ke waktu untuk setiap produk memiliki pola “gigi gergaji” yang khas. Setiap gigi sesuai dengan satu penambahan stok (*stock replenishment*) dan merupakan salah satu *stock turnover* yang lengkap untuk produk tersebut. Semakin kecil *stock turnover* per tahun, akan lebih besar *stock replenishment*-nya. Misalnya, jika permintaan untuk produk tertentu adalah 120.000 liter per tahun dan ukuran masing-masing penambahan stok adalah 5.000 liter, *stock turnover* adalah sebesar 24 kali per tahun. Jika *stock turnover* berkurang menjadi 12 kali per tahun, maka setiap penambahan stok harus sama dengan 10.000 liter. Jadi kita melihat bahwa *stock turnover* untuk setiap produk secara langsung terkait dengan ukuran *stock replenishment* yang sesuai, yang dikontrol oleh LOD. Masalah ini diambil sebagai fokus dari proyek.

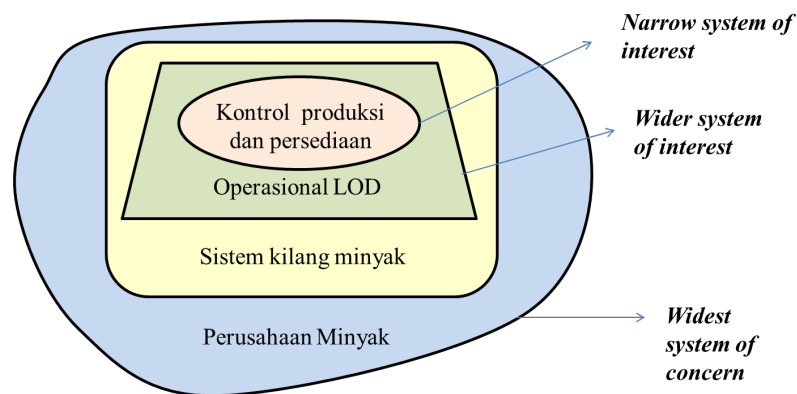
Diskusi dengan manajer LOD menunjukkan bahwa cara pandangnya sama dengan yang diungkapkan oleh Wakil Presiden Bidang Keuangan, yaitu untuk menjamin efisiensi maksimal dari penggunaan sumber daya LOD itu. Wakil Presiden Bidang Keuangan melihat penumpukan biaya dalam stok yang menganggur, sedangkan *stock turnover* yang tinggi ditafsirkan sebagai tanda efisiensi. Dari perspektif yang sempit ini, mengurangi ukuran *stock replenishment* akan meningkatkan *stock turnover*. Hal ini akan memungkinkan tercapainya target dari Wakil Presiden sebesar 24 kali per tahun, sehingga mengurangi total investasi dalam stok. Namun, dari *rich picture* kita melihat bahwa setiap proses pencampuran dan pengisian juga melibatkan proses *setup* – waktu yang dihabiskan operator untuk mempersiapkan jalannya pencampuran dan pengisian – dan teknisi laboratorium perlu untuk menguji produk. Meningkatkan tingkat *turnover* untuk produk tertentu berarti penambahan stok lebih banyak dan juga *setup* produksi. Sebagai konsekuensinya, waktu yang dihabiskan oleh operator pada *setup* juga akan meningkat. Pada biaya \$ 16 per jam, hal ini juga dapat berarti bahwa setiap penghematan yang dibuat dengan mengurangi investasi di stok bisa mengakibatkan makin tingginya biaya tenaga kerja tahunan.

Besarnya stok yang diperlukan juga tergantung pada bagaimana pesanan kecil didefinisikan. Penurunan titik *cutoff* mengurangi permintaan yang dipenuhi dari stok. Akibatnya, stok yang lebih kecil diperlukan, yang nantinya diterjemahkan menjadi pengurangan investasi stok. Tapi penurunan titik *cutoff* berarti bahwa lebih banyak pesanan pelanggan yang dapat dipenuhi oleh produksi khusus yang dijalankan, menyebabkan peningkatan biaya setup produksi tahunan.

Setiap tindakan yang mungkin ini menyebabkan menurunnya beberapa biaya dan meningkatnya biaya-biaya lainnya. Pendekatan efisiensi yang sempit terfokus hanya pada investasi sehingga mungkin bukan berdasar pada kepentingan terbaik perusahaan (kecuali untuk alasan lain perusahaan ingin mengurangi investasinya terlepas dari efeknya terhadap biaya operasi). Kita perlu mempertimbangkan semua biaya yang dipengaruhi oleh perubahan kebijakan. Dengan kata lain, kita sedang mencari kebijakan pengendalian produksi/persediaan yang paling efektif - kebijakan yang membuat total biaya operasi serendah mungkin, sementara pada saat yang sama mempertahankan atau bahkan meningkatkan tingkat pelayanan pelanggan saat ini. Bahkan jika sistem yang relevan hanya terbatas pada kegiatan pengendalian produksi /persediaan, perspektif yang diambil haruslah salah satu perspektif yang memandang efek pada perusahaan secara keseluruhan, bukan hanya pada (sub)sistem sempit yang terlibat. Jika ini juga memenuhi target *stock turnover* yang diinginkan Wakil Presiden, maka hal itu baik, tapi ekspektasinya itu tidak harus menjadi pemicu. Pemilik Masalah – dalam hal ini manajer LOD – bagaimanapun juga harus sepenuhnya memahami alasan untuk ini dan setuju dengan mereka. Oleh karena itu beberapa pengelolaan dengan ekspektasi sebelumnya mungkin diperlukan tepat di awal proyek.

Hirarki sistem yang terlibat

Masalahnya tertanam dalam hirarki sistem. Sistem terluas yang menjadi perhatian adalah perusahaan secara keseluruhan, dengan kilang sebagai salah satu subsistemnya. LOD merupakan subsistem dari sistem kilang. Dalam sistem LOD, produksi/pengendalian persediaan merupakan salah satu subsistem utama. Yang merupakan *narrow system of interest* disini adalah produksi/pengendalian persediaan. Karena operasi LOD secara keseluruhan memiliki kontrol atas sumber daya yang dibutuhkan oleh *narrow system*, serta menghasilkan keputusan akhir dalam proyek ini, maka operasi LOD menjadi sistem yang lebih luas (*wider system of interest*).



Gambar. Hirarki sistem dari permasalahan LOD

Stakeholder

Dengan terpilihnya *narrow sytem of interest*, analis memiliki cukup pengetahuan tentang situasi ini untuk mengidentifikasi berbagai pemangku kepentingan. Ini didefinisikan sehubungan dengan *narrow system of interest*.

Tampaknya ada beberapa tingkatan dari pemilik masalah (*problem owner*) atau pengambil keputusan (*decision maker*). Hal ini wajar pada situasi masalah yang berhubungan dengan hirarki sistem, seperti pada kasus ini. Di bagian atas adalah Wakil Presiden Bidang Keuangan, yang mengkoordinasikan penggunaan dana dalam perusahaan. Dia menyatakan kriteria yang mendasari evaluasi dari biaya yang dikeluarkan. Wakil Presiden Bidang Manufaktur (sistem kilang) beroperasi dalam kriteria ini. Dia telah mendelegasikan kewenangan untuk membuat keputusan operasional harian pada produksi dan pengendalian stok untuk produk kemasan kepada manajer LOD. Untuk proyek-proyek yang tidak melibatkan biaya besar, Manajer LOD adalah pembuat keputusan. Namun, jika berkaitan dengan biaya yang besar, ia tetap harus merujuk kepada Wakil Presiden Bidang Manufaktur.

Setelah proyek selesai, analis dapat merekomendasikan perubahan tingkat biaya dalam persediaan. Setiap rekomendasi tersebut kemudian akan dievaluasi berkaitan dengan kriteria biaya yang ditetapkan oleh Wakil Presiden Bidang Keuangan. Pada titik ini, biaya proyek adalah hanya penggunaan dana satu-satunya yang harus dievaluasi. Ternyata, bahkan itupun melebihi kewenangan manajer dan oleh karena itu harus dirujuk ke tingkat yang lebih tinggi. Namun begitu disetujui, perubahan apapun pada operasi LOD sehari-hari berada di bawah kendalinya. Dalam cara pandangannya, *problem solver* harus digunakan sebagai dasar untuk menentukan tujuan dari proyek tersebut.

Hal ini penting untuk memastikan bahwa cara pandang dari semua tingkat *problem owner* haruslah cocok. Jika tidak, para pemangku kepentingan di berbagai tingkatan harus dibuat sadar akan konflik dan kebutuhan untuk menyelesaikannya sebelum melangkah lebih jauh. Resolusi konflik tersebut biasanya dipandang di luar lingkup proyek *hard OR*, karena berhubungan dengan masalah organisasi dasar dan membutuhkan pendekatan *soft system*. Jika cara pandang antara berbagai pengambil keputusan tersebut saling bertentangan, cenderung menghasilkan suboptimisasi yang serius, yaitu manfaat yang diperoleh dapat seluruhnya atau sebagian menimbulkan biaya tambahan di bagian lain dalam organisasi, misalnya di subsistem yang sama atau subsistem lain pada tingkat yang berbeda. Untuk LOD, analis harus sudah memastikan bahwa ada kesepakatan mendasar antara cara pandang dari Wakil Presiden Bidang Keuangan dan manajer LOD dalam hal memaksimalkan keuntungan. Namun, salah satu sumber konflik dapat timbul jika solusi optimal tidak memenuhi target *stock turnover* yang ditetapkan oleh Wakil Presiden Bidang Keuangan. Aspek ini perlu dibahas dalam proposal proyek.

Untuk menentukan problem user, kita perlu mengidentifikasi siapa yang bertanggung jawab untuk memulai produksi untuk penambahan stok atau pesanan pelanggan besar. Keputusan ini, dalam kebijakan yang ditentukan oleh *problem owner* - manajer LOD - yang dibuat oleh petugas stok/persediaan. Setiap perubahan aturan kebijakan pengendalian persediaan/produksi haruslah sedemikian rupa sehingga mampu diterapkan tanpa perlu pelatihan lebih lanjut.

Para pelanggan untuk produk LOD itu adalah *problem customer*. Salah satu poin yang pertama kali dimunculkan oleh manajer LOD adalah bahwa setiap kebijakan baru harus mempertahankan atau meningkatkan tingkat layanan kepada semua pelanggan saat ini, khususnya yang berkaitan dengan *lead time* dua hari pengiriman.

Selain persyaratan ini, ada kendala lain yang harus dipenuhi dalam setiap kebijakan produksi/pengendalian persediaan. Ketersediaan ruang gudang dan persyaratan kapasitas produksi dari setiap kebijakan baru haruslah tetap, setidaknya dalam jangka pendek dan menengah, dalam kapasitas yang tersedia saat ini.

Problem elements

Singkatnya, enam elemen dari masalah adalah:

- Pengambil keputusan segera: manajer LOD.

- Tujuan: mencapai biaya operasional yang rendah untuk operasi LOD tersebut, mempertahankan tingkat layanan pelanggan.
- Ukuran performansi: Total biaya operasi LOD.
- Kriteria Keputusan: meminimalkan total biaya.
- Alternatif tindakan: ukuran *batch* untuk *stock replenishment* dan titik *cutoff* untuk mengklasifikasikan pesanan pelanggan sebagai pesanan besar atau kecil.
- *Wider system of interest*: operasi LOD dan kilang.

Sistem relevan dan boundary system

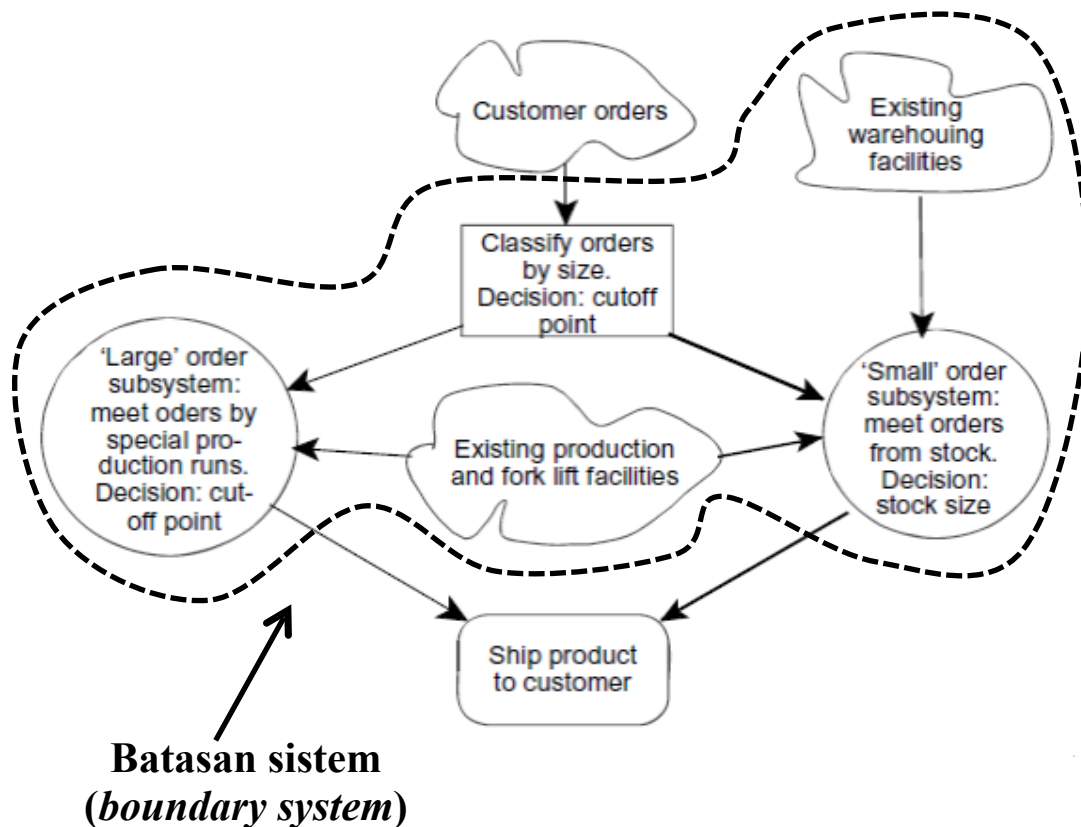
Pendekatan yang dilakukan oleh konsultan untuk menggambarkan sistem relevan pada kasus LOD ini adalah dengan cara pendekatan proses, berdasarkan semua aspek kontrol inventori maupun produksi yang bersangkutan dengan permasalahan yang ingin dianalisis. Mengapa menggunakan pendekatan proses? Hal ini dikarenakan, pada kasus LOD ini, terdapat lebih dari satu atau ada beberapa kemungkinan struktur (aspek) yang sesuai, yang dapat digunakan sebagai aspek kontrol inventori atau produksi untuk kasus LOD tersebut.

Tujuan dari penggambaran sistem relevan ini adalah untuk menentukan batasan sistem (*boundary system*) dari kasus LOD yang selanjutnya digunakan sebagai pemecahan masalah, sehingga cara pandang yang digunakan oleh konsultan dalam hal ini adalah: akan lebih baik jika menggambarkan ruang lingkup masalah terlebih dahulu dibandingkan dengan mencari formulasi masalah secara keseluruhan. Oleh karena itu, pendekatan proses (*process approach*) untuk menggambarkan sistem relevan pada kasus LOD ini dianggap lebih sesuai dibandingkan dengan menggunakan pendekatan struktural (*structural approach*).

Langkah awal untuk menggambarkan sistem relevan dengan pendekatan proses adalah terlebih dahulu menentukan sudut pandang dari siapa yang berkepentingan dan selanjutnya menentukan proses transformasi dari kontrol aspek yang ingin dianalisis. Selanjutnya, hal ini akan menggambarkan batasan sistem (*boundary system*) dari sistem pada situasi permasalahan yang terjadi, input baik yang terkontrol maupun yang tak terkontrol, output (objektif) yang ingin dicapai, dan komponen sistem apa saja (variabel sistem/berbagai subsistem) yang terlibat dalam proses transformasi tersebut.

Oleh karena itu, dalam kasus ini, konsultan terlebih dahulu membuat sebuah diagram struktur sistem "*High-Level*" dari kasus LOD, yang menghubungkan variabel keputusan subsistem dan menggambarkan proses transformasi dari *narrow system of interest* secara singkat untuk mengindikasikan batasan sistem dari kasus LOD tersebut, yang selanjutnya digunakan untuk menggambarkan proses transformasi secara lengkap mengenai sistem relevan pada *narrow system of interest* dengan pendekatan proses melalui *influence diagram*.

Berikut adalah diagram struktur sistem *High-Level* dari kasus LOD:



Gambar: Diagram struktur sistem High-Level Kasus LOD

Dari diagram struktur sistem *High-Level* untuk kasus LOD tersebut, dapat dilihat bahwa, konsultan membagi subsistem menjadi dua variabel yaitu pemesanan besar dan pemesanan kecil, yang masing-masing melalui proses yang berbeda-beda (proses transformasi); mengklasifikasikan pesanan konsumen, fasilitas produksi dan fork lift yang telah ada, dan fasilitas gudang yang telah ada sebagai input tak terkontrol: serta pengepakan produk ke konsumen sebagai output. Sedangkan batasan sistem (*boundary system*) dari kasus LOD tersebut ditentukan dengan mengelompokkan komponen-komponen tersebut ke dalam ruang lingkup *narrow system of interest* yang meliputi:

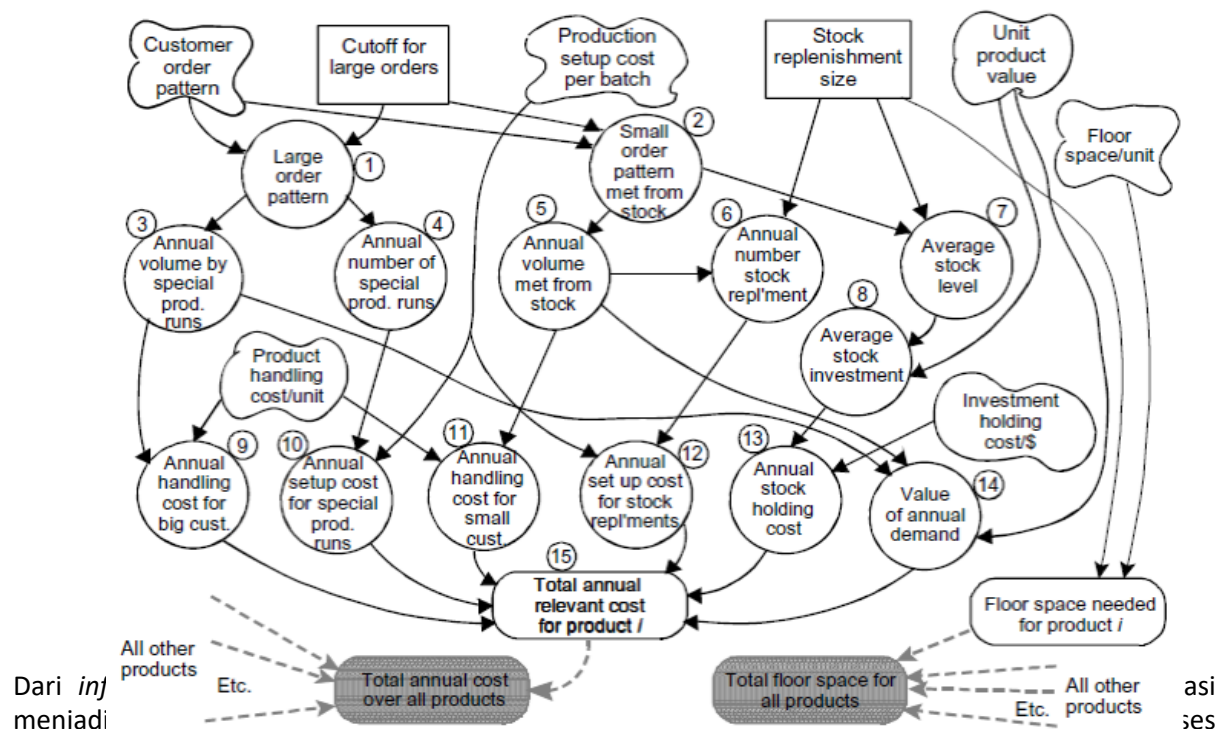
- ✓ Dua subsistem dalam ruang lingkup *narrow system of interest* yaitu: “Pemesanan besar” yang dipenuhi dari operasi produksi spesial (*special production run*) dan “pemesanan kecil” yang dipenuhi dari persediaan stock, dengan variabel keputusan untuk masing-masing subsistem tersebut adalah *cutoff point* dan ukuran penambahan lot stock (*stock replenishment size*).
- ✓ Dua input yang tak terkontrol yang terlibat langsung dalam proses transformasi untuk ruang lingkup *narrow system of interest*, yaitu: “fasilitas gudang yang telah ada” sebagai masukan untuk subsistem pemesanan kecil; dan “fasilitas produksi dan fork lift yang telah ada” sebagai masukan baik untuk subsistem pemesanan besar maupun pemesanan kecil.

Untuk variabel input, “pesanan konsumen” tidak digolongkan ke dalam batasan sistem karena merupakan komponen luar sistem kontrol yang tidak terlibat langsung dalam proses transformasi dalam ruang lingkup *narrow system of interest*. Sedangkan variabel input seperti “fasilitas gudang yang telah ada” dan “fasilitas produksi dan fork lift yang telah ada”, digolongkan ke dalam batasan sistem, karena untuk kasus LOD ini, cara penggunaan fasilitas pengoperasian dianggap dapat dikontrol (*controllable*). Kegunaan dari menentukan batasan sistem dari kasus LOD ini adalah untuk menggambarkan ruang lingkup permasalahan yang terjadi.

Setelah menentukan batasan sistem untuk kasus LOD ini, selanjutnya konsultan menggambarkan sistem relevan yang lebih terperinci berdasarkan batasan sistem yang telah ditentukan sebelumnya dalam suatu ruang lingkup *narrow system of interest* (kontrol produksi/inventori) dengan memfokuskan pada dua subsistem kontrol input sebagai input yang terkontrol (*controllable input*) melalui *influence diagram*, yaitu: *cutoff point* yang mengklasifikasikan pesanan konsumen sebagai “pemesanan besar” atau “pemesanan kecil”; dan ukuran penambahan lot stock (*stock replenishment size*). Dimana secara keseluruhan, *influence diagram* ini merupakan gambaran dari sistem relevan terhadap kasus LOD yang lebih terperinci dengan menggunakan pendekatan proses (*process approach*), guna mengetahui efek apa saja dari setiap pemilihan keputusan yang diambil dalam pemecahan kasus LOD tersebut. Beberapa aspek penting yang diperhatikan oleh konsultan dalam membuat sistem relevan dalam suatu ruang lingkup *narrow system of interest* kasus LOD melalui *influence diagram* ini diantaranya:

- ✓ Dua kontrol input tersebut (*cutoff point* dan ukuran penambahan lot stock) harus dispesifikasikan secara individual untuk tiap-tiap 804 jumlah produk, dikarenakan apa yang menjadi keputusan yang baik untuk satu produk, belum tentu baik untuk produk lainnya (*independen*).
- ✓ Satu-satunya hubungan saling ketergantungan antar produk-produk tersebut (*interdependence*) adalah menggunakan fasilitas produksi dan gudang yang sama, dimana penggunaan fasilitas operasional ini tidak boleh melebihi kapasitas yang ada. Sehingga, ketersediaan ruang gudang akan digolongkan menjadi variabel input tak terkontrol (*uncontrollable input*) dalam sistem kasus LOD.
- ✓ Variabel input lain yang digolongkan ke dalam sistem relevan dari *narrow system of interest* ini adalah biaya-biaya relevan yang terlibat dalam proses operasional, yang digolongkan menjadi input tak terkontrol (*uncontrollable input*).
- ✓ Output dari *narrow system of interest* pada kasus LOD ini adalah total biaya relevan tiap produk dan luas area pemakaian ruang gudang
- ✓ Ukuran performansi dari *narrow system of interest* untuk kasus LOD tersebut adalah total biaya operasional LOD dalam memenuhi kebutuhan konsumen untuk 804 produk tersebut secara keseluruhan dan total luas area pemakaian ruang gudang untuk keseluruhan 804 produk.
- ✓ Untuk penentuan ukuran performansi dari total biaya operasional digunakan asumsi bahwa total biaya di masa mendatang kurang lebih akan sama dengan total biaya terdahulu, dimana asumsi ini merupakan asumsi yang bisa diterapkan untuk sistem yang stabil seperti LOD. Sehingga tidak menjadi masalah untuk mengambil total biaya operasional dalam periode per tahun ataupun per bulan, karena perbedaannya tidak akan berbeda secara signifikan. Dalam penjabaran kasus LOD ini, konsultan menggunakan interval total biaya operasional per tahunan.
- ✓ Diperlukan suatu *influence diagram* yang mencakup satu produk secara umum untuk dapat diolah lebih lanjut ke dalam model matematis agar selanjutnya dapat diaplikasikan untuk setiap produk secara individual.

Gambaran sistem relevan dengan menggunakan pendekatan proses untuk kasus LOD ini melalui *influence diagram* adalah sebagai berikut:



Dari *inj* menjadi transformasi pada input terkontrol ukuran penambahan lot stock (*stock replenishment size*) untuk menghasilkan output “total biaya operasional relevan per produk per tahunan” dan “total pemakaian ruang gudang per produk”, dimana ukuran performansinya ditentukan dari keseluruhan untuk 804 produk. Input terkontrol *cutoff point* tersebut membagi tipe pesanan konsumen menjadi dua bagian yaitu “tipe pemesanan besar” yang dipenuhi dari pengerjaan produksi spesial (*special production runs*) dan “tipe pemesanan kecil” yang dipenuhi dari ketersediaan stock. Variabel sistem “tipe pemesanan besar” ini dapat menentukan besarnya kapasitas (*annual volume by special production run*) dan jumlah produk per tahunan yang dipenuhi dari pengerjaan produksi spesial. Sedangkan variabel sistem “tipe pemesanan kecil” dengan input terkontrol “ukuran penambahan lot stock (*stock replenishment size*)” dapat menentukan parameter-parameter yang berhubungan dengan stock seperti: besarnya kapasitas produk yang dipenuhi dari ketersediaan stock per tahunan (*annual volume met from stock*); besarnya jumlah stock yang harus ditambahkan per tahunan; dan tingkatan stock per tahunannya (*annual stock level*).

Untuk menentukan output “total biaya operasional relevan per produk” dibutuhkan kontributor-kontributor yang dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu:

✓ Dari pengerjaan produksi spesial, yang meliputi:

- Biaya pengendalian produk untuk tipe pemesanan besar per tahunan (*annual handling cost for big customer*) yang dapat ditentukan dari informasi biaya pengendalian produk/unit (input tak terkontrol) dan parameter besarnya kapasitas produk yang harus dipenuhi melalui pengerjaan produksi spesial (*annual volume by special production run*).
- Biaya setup produk melalui pengerjaan produksi spesial per tahunan (*annual setup cost for special production run*) yang ditentukan dari parameter seperti besarnya jumlah produk per tahunan yang dipenuhi dari pengerjaan produksi spesial (*annual number of special production run*) dan informasi dari biaya setup produksi per batch (*production setup cost per batch*) sebagai input tak terkontrol

✓ Dari ketersediaan stock, yang meliputi:

- Biaya pengendalian produk untuk tipe pemesanan kecil per tahunan (*annual handling cost for small customer*) yang dapat ditentukan dari informasi biaya pengendalian produk/unit (input tak terkontrol) dan parameter besarnya kapasitas produk yang harus dipenuhi melalui ketersediaan stock per tahunan (*annual volume met from stock*).
 - Biaya setup produk untuk penambahan stock per tahunan (*annual setup cost for stock replenishment*) yang ditentukan dari parameter seperti besarnya jumlah stock yang harus ditambahkan per tahunan (*annual number of special production run*) dan informasi dari biaya setup produksi per batch (*production setup cost per batch*) sebagai input tak terkontrol
 - Biaya penyimpanan stock per tahunan (*annual stock holding cost*) yang dapat ditentukan dari parameter seperti rata-rata investasi stock (*average stock investment*) dan informasi biaya investasi penyimpanan/\$ (*investment holding cost/\$*) sebagai input tak terkontrol
- ✓ Dari nilai/harga permintaan per tahunan (*value of annual demand*) yang dapat ditentukan dari parameter-parameter seperti besarnya kapasitas produk yang harus dipenuhi melalui ketersediaan stock per tahunan (*annual volume met from stock*) dan besarnya kapasitas produk yang dipenuhi dari ketersediaan stock per tahunan (*annual volume met from stock*); serta informasi dari nilai/harga produk per unit (*unit product value*).

Sedangkan untuk menentukan output luas area pemakaian ruang gudang per produk (*floor space needed for product i*) dapat ditentukan dari informasi input terkontrol: ukuran penambahan lot stock (*stock replenishment size*) dan input tak terkontrol: pemakaian ruang gudang/unit (*floor space/unit*). Ukuran performansi dari output ini ditentukan berdasarkan keseluruhan untuk 804 produk.

Informasi yang diperoleh dari *influence diagram* untuk kasus LOD ini dapat digunakan untuk menggambarkan efek-efek apa saja yang terjadi dalam suatu pengambilan keputusan berdasarkan perhitungan output untuk pemecahan kasus LOD. Pemilihan keputusan tersebut hanya dapat menghasilkan pemecahan masalah yang *feasible* apabila total pemakaian ruang gudang tidak melebihi kapasitas yang tersedia. Jika hal ini tidak dapat tercapai, maka terdapat dua kemungkinan solusi, yaitu: mengurangi ukuran batch penambahan lot stock (*stock replenishment size*) sehingga tidak melebihi kapasitas gudang yang ada; atau dengan menambahkan ruang gudang. Tetapi, solusi penambahan ruang gudang ini akan menghasilkan suatu project yang baru yang harus diperhitungkan kembali. Sebagai contoh: apabila total profit yang diterima perusahaan setelah menambahkan ruang gudang (*unrestricted solution*) ternyata lebih besar dibandingkan dengan total profit jika tetap menggunakan ruang gudang yang ada tanpa adanya penambahan ruang (*restricted solution*) dan apabila biaya untuk membangun/menambahkan kapasitas ruang gudang tersebut ternyata tidak begitu besar atau tetap lebih menyisakan total profit yang lebih besar dibandingkan *restricted solution* tersebut, maka keputusan untuk menambah/membangun kapasitas ruang gudang dapat menjadi solusi yang menarik dilihat dari perhitungan finansialnya. Contoh pemikiran tersebut merupakan salah satu contoh pemilihan solusi yang dapat diprediksikan melalui penggambaran *influence diagram* dari sistem relevan kasus LOD.

Model matematik

Model matematik menyatakan hubungan antara berbagai komponen pada *relevant system* dalam bentuk kuantitatif. Hubungan ini biasa dinyatakan dalam bentuk ekspresi matematik, seperti persamaan, pertidaksamaan, atau fungsi. Model matematik dibuat untuk memperoleh jawaban secara cepat dengan biaya yang tidak mahal. Sebagai contoh, di perusahaan farmasi, pengetesan obat baru adalah dengan menginjeksikannya kepada hewan percobaan, akan tetapi, seorang *management scientist* akan mengalami persoalan yang benar-benar berbeda, tidak ada hewan percobaan maupun percobaan yang terus menerus dapat dilakukan pada fasilitas yang telah ada, karena percobaan yang terus menerus dapat bersifat disruptif, berisiko tinggi, dan sangat mahal. Seringkali, percobaan dilakukan terhadap proyek yang masih berada di papan gambar, sehingga *real life test* tidak dimungkinkan. Dan apabila *real life test* dapat dilakukan, waktu yang akan dihabiskan dapat berbulan-bulan ataupun bertahun-tahun untuk mendapatkan kesimpulan. Karena itulah, diciptakan model matematik. Model matematik sangatlah mudah untuk dimanipulasi dengan bantuan komputer.

Seorang analis yang membuat model matematik harus menjaga ciri khas yang esensial dari model yang baik, antara lain sederhana, lengkap, mudah dimanipulasi, adaptif, robust, dan lain-lain. Karena sistem memiliki *boundary judgements*, maka analis dapat secara sengaja menjaga agar permasalahan tetap berada di dalam batas-batas yang terkontrol, maupun membuat asumsi yang kira-kira cukup mendekati kenyataan. Selain itu analis harus mengecek apakah optimisasi suatu subsistem tidak akan terlalu berpengaruh terhadap subsistem lainnya, karena apabila subsistem lain mengalami penurunan performa akibat perubahan subsistem tertentu maka hasil dari model matematiknya tidak terlalu bagus.

Model matematik pertama

Melalui analisis pada kasus LOD, diketahui bahwa hubungan antara produk adalah berupa pembatas jumlah *space* yang tersedia di gudang, dan juga kapasitas dari proses *mixing* dan *filling*. Simplifikasi dapat dilakukan dengan mengabaikan pembatas ini. Apabila solusi tanpa pembatas untuk setiap produk memenuhi seluruh pembatas, maka kesimpulannya adalah pembatasnya tidak bersifat restriktif dan mengabaikannya merupakan langkah yang tepat. Namun, apabila solusinya melanggar pembatas, maka model harus diperkaya dengan memperbaiki solusi yang tanpa pembatas tersebut atau dengan membuat model yang lebih komprehensif.

Pada kasus LOD, ditemukan dua variabel keputusan: cutoff point yang menunjukkan jumlah pesanan pelanggan untuk diklasifikasikan sebagai *big* serta ukuran dari penambahan stok. Dengan simpifikasi, lebih baik model matematik hanya mengandung satu variabel keputusan, yaitu ukuran dari penambahan stok. Cutoff point ditentukan secara semauanya, misalnya $L = 12$. Selanjutnya, subsistem yang berurusan dengan pemesanan besar (lingkaran 1, 3, 4, 9, 10 pada *influence diagram*) tidak dipengaruhi oleh kebijakan penambahan stok sehingga dapat diabaikan.

Setelah *influence diagram* ditelusuri ke bawah, didapatkan "*total annual relevant cost for product i*" (oval 15) yang akan dibuat persamaan matematiknya. Pembuatannya dimulai dari lingkaran 6, "*annual number of stock replenishments*" adalah fungsi dari demand tahunan yang diperoleh dari stok (D_1) dan ukuran penambahan stok Q . Melalui *trial and error*, ditemukan bahwa

$$\text{Annual number of stock replenishments} = D_1/Q$$

"*Annual setup cost for stock replenishments*" (lingkaran 12) adalah fungsi dari lingkaran 6 dan *production setup cost per batch* (s).

$$\text{Annual setup cost for stock replenishments} = [D_1/Q]s$$

Rich pictures pada kasus LOD menunjukkan bahwa inventori dari setiap produk mengikuti pola *saw-tooth* untuk setiap waktu, dimana saat stok diisi dengan penambahan, maka stok akan berkurang secara bertahap karena pengambilan untuk memenuhi pola dari pemesanan pelanggan yang berjumlah kecil. Apabila pengambilan stok ini diaproksimasi terjadi dalam laju yang konstan, maka level stok rata-rata adalah setengah dari tinggi setiap *saw-tooth*.

$$\text{Average stock level} = 0.5Q$$

Apabila setiap unit memiliki nilai v , maka

$$\text{Average stock investment} = 0.5Qv$$

Setiap dollar yang diinvestasikan per tahun mendatangkan penalti r , maka

$$\text{Average stock holding cost} = 0.5Qvr$$

Pada *influence diagram* diketahui bahwa lingkaran 14 merupakan perkalian dari dua input

$$\text{Value of annual demand} = vD_1$$

Lingkaran 11 juga merupakan perkalian dari dua input

$$\text{Annual handling cost for small customers} = h_1D_1$$

Penjumlahan setiap hasil perkalian ini menghasilkan *total annual relevant cost*, atau $T(Q)$:

$$T(Q) = 0.5Qvr + [D_1/Q]s + h_1D_1 + vD_1$$

$T(Q)$ merupakan fungsi dengan satu variabel keputusan Q dengan cutoff point L yang ditetapkan. Karena dua bagian terakhir adalah konstan, tidak bergantung pada variabel keputusan, maka nilai Q yang akan meminimasi $T(Q)$ adalah sama dengan

$$T(Q) = 0.5Qvr + [D_1/Q]s$$

Dengan menggunakan turunan, maka nilai Q optimal yang akan meminimasi fungsi adalah

$$Q^* = \sqrt{\frac{2sD_1}{vr}}$$

Persamaan ini disebut juga sebagai rumus EOQ (Economic Order Quantity). Faktanya, model ini yang tergabung ke dalam sebagian besar *inventory management software* yang tersedia. Apabila diketahui sebuah product Y memiliki demand 7132, dengan cutoff point 12, dan hanya $D = 4140$ yang diperoleh dari stok, lainnya diperoleh dari *special production*. Nilai dari produk adalah 320 dollar/drum, biaya *setup* produksi 18 dollar, dan penalti dari *holding cost* adalah 0.18 dollar untuk setiap dollar yang diinvestasikan per tahun, maka EOQ adalah:

$$EOQ = \sqrt{2(4140)(18)/(320)(0.18)} = 50,87$$

Nilai ini dibulatkan menjadi 51, sehingga dengan persamaan $T(Q)$, diperoleh relevant annual cost:

$$T(EOQ) = 0.5(51)320(0.18) + 18(4140/51) = \$2930$$

Model matematik kedua

Pada model matematik pertama, cutoff point ditentukan sebesar $L = 12$. Hal ini mengakibatkan ditemukannya rumus EOQ untuk menentukan ukuran penambahan stok yang optimal. Permintaan per tahun yang dipenuhi melalui stok, D_1 , adalah salah satu parameter pada rumus EOQ. Rumus ini tetap akan berlaku apabila D_1 berubah, misalnya karena perubahan dari cutoff point. Karena itu, dengan enumerasi sederhana, melalui penghitungan biaya total untuk setiap kombinasi L dan Q , dapat ditentukan nilai Q dan L yang paling optimal yang akan meminimasi biaya total.

Karena itu, fungsi biaya total akan memiliki dua variabel keputusan $T(L, Q)$. Pada *influence diagram*, diketahui bahwa ada dua biaya tambahan yang diasosiasikan dengan L , yaitu *annual setup cost for special production runs* (lingkaran 10) dan *annual handling cost for big customer orders* (lingkaran 9).

$$\text{Annual handling cost for big customers} = h_2 D_2$$

D_2 adalah permintaan per tahun dari *large customers*, dan h_2 adalah *unit handling cost*, dan

$$\text{Annual setup cost for special production runs} = sN$$

N adalah *annual number of special production runs for big customer orders*, sehingga $T(L, Q)$

$$T(Q) = sN + h_2 D_2 + 0.5Qvr + [D_1/Q]s + h_1 D_1$$

Annual handling cost for small customers akan meningkat atau menurun apabila *cutoff point* L diubah-ubah. Berbeda dengan model pertama dimana biaya ini konstan dan dapat diabaikan, sekarang biaya ini dipengaruhi oleh satu variabel keputusan sehingga menjadi bagian dari fungsi.

Hasil enumerasi dengan *Microsoft Excel spreadsheet* menemukan bahwa biaya paling rendah \$11494 diperoleh dengan kombinasi $L = 20$ dan $Q = 61,8$. Dengan pembulatan diperoleh $Q = 62$. Sehingga, kebijakan optimal pada kasus LOD adalah penuhi setiap permintaan pelanggan dengan ukuran $L = 20$ atau lebih dengan menjadwalkan *special production run*, pasok pemesanan pelanggan yang kurang dari 20 dari stok, dan penuhi kembali stok dengan $Q = 62$ apabila permintaan dari *small customers* tidak dapat terpenuhi.

SECOND MODEL FOR LOD STOCK CONTROL				Decision variables:		Stock replenishment size Q Special production run cutoff level L					
INPUT DATA		Total Demand	7132 drums/year								
		Product value	\$320.00 /drum								
		Production setup cost	\$18.00 /production run								
		Product handling cost	\$1.10 /drum via storage								
			\$0.45 /drum by special production runs								
		Investment holding cost	\$0.18 /dollar invested per year								
COMPUTATION OF T(L,Q)				(base period: one year)					DEMAND INPUT DATA		
cutoff point	Demand from stock	Demand met by special prod.runs	Number of special prod.runs	Setup cost special prod.runs	Total handling cost	Corresp. EOQ	Corresp. relevant EOQ cost	Total relevant cost	Cust. order size	Number	Cumulative number
1	0	7132	1266	\$22,788	\$3,209	0.0	\$0	\$25,997	0	0	0
2	134	6998	1132	\$20,376	\$3,297	9.2	\$527	\$24,200	1	134	134
3	846	6286	776	\$13,968	\$3,759	23.0	\$1,324	\$19,052	2	356	490
4	1131	6001	681	\$12,258	\$3,945	26.6	\$1,531	\$17,734	3	95	585
5	1875	5257	495	\$8,910	\$4,428	34.2	\$1,972	\$15,310	4	186	771
6	2045	5087	461	\$8,298	\$4,539	35.8	\$2,059	\$14,896	5	34	805
8	2717	4415	349	\$6,282	\$4,975	41.2	\$2,374	\$13,631	6	112	917
9	3445	3687	258	\$4,644	\$5,449	46.4	\$2,673	\$12,765	8	91	1008
10	3580	3552	243	\$4,374	\$5,536	47.3	\$2,725	\$12,635	9	15	1023
12	4140	2992	187	\$3,366	\$5,900	50.9	\$2,930	\$12,196	10	56	1079
15	5160	1972	102	\$1,836	\$6,563	56.8	\$3,271	\$11,670	12	85	1164
16	5340	1792	90	\$1,620	\$6,680	57.8	\$3,328	\$11,628	15	12	1176
20	6108	1024	42	\$756	\$7,180	61.8	\$3,559	\$11,494	16	48	1224
24	6568	564	19	\$342	\$7,479	64.1	\$3,690	\$11,511	20	23	1247
36	6856	276	7	\$126	\$7,666	65.5	\$3,770	\$11,562	24	12	1259
48	7036	96	2	\$36	\$7,783	66.3	\$3,820	\$11,638	36	5	1264
0	7132	0	0	\$0	\$7,845	66.8	\$3,846	\$11,691	48	2	1266