

MODEL EKSPANSI KAPASITAS JANGKA PANJANG DENGAN KEBIJAKAN INVENTORY UNTUK MEMENUHI KEKURANGAN KAPASITAS

Farham HM Saleh

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Jogjakarta

Telp. (0274) 886417, HP: 0815 719 5466

E-mail : farham@fti.uui.ac.id

Abstrak

This research addresses the problem of capacity expansion, i.e, to formulate a long term capacity expansion model that considered inventory policy to anticipate the capacity shortage. The model covers the quantity of added capacity and the inventory policy. In the model, the quantity of added capacity was represented by time interval of demand fulfillment, while the inventory policy was represented by inventory parameter. The model was optimized by first derivative. Optimal condition and the behaviour of the model are compared with both Hayes and Wheelwright [1984] and Siregar [1997] models.

Key words: long term capacity expansion, model, inventory policy.

PENDAHULUAN

Hayes dan Wheelwright [1984] mengemukakan bahwa terdapat tiga strategi kapasitas jangka panjang yaitu (1) strategi ekspansi kapasitas dengan kapasitas perusahaan selalu lebih besar dari permintaan pasar, (2) strategi ekspansi kapasitas dengan kapasitas perusahaan selalu lebih kecil dari permintaan pasar, dan (3) strategi ekspansi kapasitas dengan perusahaan membolehkan terjadi kelebihan atau kekurangan kapasitas. Industri yang menggunakan strategi kapasitas jangka panjang yang pertama merupakan industri yang menghasilkan produk dengan risiko biaya simpan lebih kecil dibandingkan dengan biaya kekurangan kapasitas. Selain itu strategi pertama banyak digunakan oleh industri ketika persaingan dalam pasar sangat ketat. Hal ini didasarkan strategi bahwa ketika peluang sekecil apapun diberikan perusahaan kepada pesaing, berarti perusahaan telah memperbesar pangsa pasar atau mempertinggi kemampuan bersaing perusahaan pesaing.

Industri yang menggunakan strategi kapasitas selalu lebih kecil dari permintaan pasar merupakan industri dengan tipe *make to order* (MTO), yaitu industri yang memproduksi produk hanya untuk memenuhi pesanan saja. Industri tipe ini adalah industri yang menghasilkan produk dengan biaya simpan lebih besar dari biaya kekurangan kapasitas. Industri tipe ini antara lain industri peralatan militer dan industri peralatan pertanian seperti industri traktor. Selanjutnya industri yang menggunakan strategi kapasitas dengan membolehkan terjadi kelebihan atau kekurangan kapasitas merupakan tipe industri yang memproduksi

produk dengan resiko biaya simpan relatif sama besar dengan resiko biaya kekurangan kapasitas.

Dalam realitas, cukup banyak industri yang menggunakan strategi kapasitas yang membolehkan terjadi kelebihan atau kekurangan kapasitas antara lain industri elektronik, industri mobil dan industri meubel. Pada industri mobil misalnya sering dapat dilihat tumpukan mobil di tempat produksinya dan juga sering didengar atau dibaca bahwa untuk dapat membeli mobil tertentu harus memesan beberapa bulan sebelumnya. Hal yang sama juga dapat terjadi pada industri elektronik dan industri meubel.

Penelitian tentang permasalahan ekspansi kapasitas telah cukup banyak dilakukan. Penelitian permasalahan ekspansi kapasitas yang mempertimbangkan strategi ekspansi kapasitas, antara lain dilakukan oleh Hayes dan Wheelwright [1984], Saniee [1995], Balakrishnan, Magnanti dan Wong [1995], Siregar [1997], Fippo et al [2000] dan Farham et al [2003]. Saniee [1995], Balakrishnan, Magnanti dan Wong [1995] serta Fippo et al [2000]. Para peneliti tersebut, dalam modelnya mempertimbangkan kelebihan kapasitas tetapi tidak mempertimbangkan kekurangan kapasitas. Siregar [1997], mempertimbangkan kekurangan kapasitas dan mengusulkan penanggulangan kekurangan kapasitas dengan sub kontrak. Namun dalam pengembangan model, Siregar [1997] mengasumsikan horizon perencanaan tak terbatas. Farham et al [2003] mempertimbangkan secara simultan ketiga strategi ekspansi kapasitas dengan horizon perencanaan terbatas.

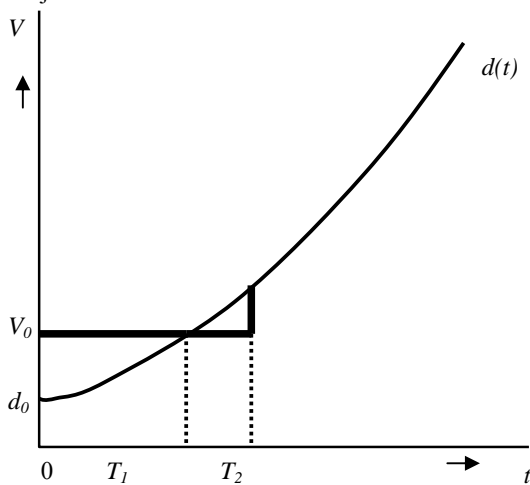
Model yang dikembangkan dalam penelitian ini mengembangkan model yang diformulasikan oleh Siregar [1997] dengan mempertimbangkan kebijakan inventori untuk memenuhi kekurangan kapasitas.

Pemenuhan kekurangan kapasitas dengan sub kontrak maupun *inventory* merupakan hal yang umum terjadi pada industri-industri elektronik, mobil dan meubel, khususnya pada kondisi pasar dengan persaingan yang tidak ketat.

Keputusan permasalahan ekspansi kapasitas berkaitan dengan ukuran penambahan kapasitas. Dalam formulasi model pada penelitian ini, ukuran ekspansi kapasitas dinyatakan dengan interval waktu pemenuhan permintaan pasar, sedangkan ukuran *inventory* direpresentasikan dengan parameter yang menggambarkan berapa besar penambahan kapasitas dari ukuran penambahan kapasitas normal atau proporsi pemenuhan kekurangan kapasitas dengan *inventory* terhadap interval waktu pemenuhan permintaan pasar.

Deskripsi Sistem

Sebagaimana telah dikemukakan pada bagian sebelumnya bahwa penelitian ini mengembangkan model yang diformulasikan oleh Siregar [1997] yang mendasarkan pada pola strategi kapasitas jangka panjang yang membolehkan terjadi kelebihan dan kekurangan kapasitas. Dalam memformulasikan modelnya, salah satu asumsi yang digunakan oleh Siregar [1997] adalah bahwa permintaan pasar bertumbuh secara eksponensial selama horison perencanaan, sehingga secara skematis keadaan sistem ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Skema sistem yang dimodelkan dengan :

V_0	Kapasitas perusahaan pada saat awal evaluasi, $t=0$
d_0	Permintaan pasar pada saat $t=0$
$d(t)$	Permintaan pasar pada saat t
T_1	Periode waktu pemenuhan permintaan pasar dengan kapasitas yang tersedia
T_2	Periode waktu terjadi kekurangan kapasitas dan pada akhir periode waktu terjadi kekurangan kapasitas, dilakukan ekspansi atau penambahan kapasitas

Pada saat awal evaluasi atau $t=0$, perusahaan mempunyai kapasitas sebesar C_0 dan digunakan untuk memenuhi permintaan pasar selama periode waktu T_1 . Selanjutnya selama periode waktu T_2 , terjadi kekurangan kapasitas. Pola kejadian seperti ini akan terulang sepanjang horison perencanaan. Pada model yang diformulasikan oleh Siregar [1997], kekurangan kapasitas yang terjadi selama periode waktu T_2 dipenuhi dengan melakukan sub kontrak dengan perusahaan lain, sedangkan pada penelitian ini dipenuhi dengan kebijakan *inventory* yaitu dengan melakukan penambahan kapasitas sebesar kebutuhan normal ditambah dengan kapasitas *inventory*.

ASUMSI MODEL

Dalam pengembangan model, digunakan beberapa asumsi berikut:

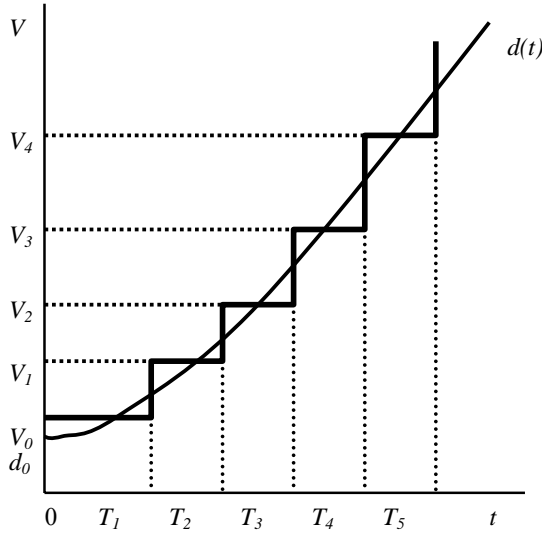
- Siklus hidup produk terus berlanjut selama horison perencanaan
- Permintaan pasar bersifat deterministik dan berpola eksponensial dengan laju pertumbuhan konstan selama horison perencanaan
- Perusahaan menerapkan strategi kapasitas yang membolehkan terjadi kelebihan atau kekurangan kapasitas
- Selama horison perencanaan terjadi n kali ekspansi kapasitas
- Faktor kemajuan teknologi tidak dipertimbangkan
- Biaya kelebihan dan kekurangan kapasitas konstan selama horison perencanaan

NOTASI YANG DIGUNAKAN

Dalam formulasi model, digunakan notasi-notasi berikut:

T	Interval waktu antara dua penyesuaian kapasitas, satuan waktu
g	Laju pertumbuhan permintaan pasar, persen per tahun
i	Faktor diskonto atau biaya modal, persen per tahun
K	Konstanta transformasi kapasitas menjadi biaya investasi
$V(T)$	Ukuran penambahan kapasitas, unit per tahun
k	Koefisien skala ekonomis
b	Parameter ukuran <i>inventory</i> ($1 \leq b \leq 2$)
$C(V)$	Biaya investasi penambahan kapasitas sebesar V , satuan biaya

Selanjutnya sesuai dengan asumsi yang dikemukakan di atas bahwa selama horison perencanaan terjadi n kali ekspansi kapasitas, secara skematis ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Skema kejadian ekspansi kapasitas selama horison perencanaan

FORMULASI MODEL

Sesuai dengan asumsi bahwa permintaan pasar bersifat deterministik dan berpola eksponensial dengan laju pertumbuhan konstan dan sesuai dengan Gambar 2, maka tingkat kapasitas V_0 akan habis digunakan untuk memenuhi permintaan pasar selama T_1 satuan waktu, termasuk membiarkan terjadi kekurangan kapasitas. Kondisi ini ditunjukkan persamaan (1).

$$V_0 = d_0 \cdot e^{g \cdot T_1} \quad (1)$$

$$C(V) = K \cdot V^k \quad (2)$$

Jika persamaan (1) disubstitusikan ke persamaan (2), maka diperoleh biaya investasi yang dibutuhkan untuk kapasitas pada periode ke 0 seperti ditunjukkan persamaan (3).

$$C_0 = K \cdot d_0^k \cdot e^{kgT_1} \quad (3)$$

Selanjutnya ukuran penambahan kapasitas ke-1 yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan pasar selama interval waktu T_2 adalah:

$$V_1 = V_0 \cdot e^{gT_1} \quad (4)$$

Dengan biaya investasi penyesuaian kapasitas sesuai persamaan (5) berikut:

$$C_1 = C_0 \cdot e^{kgT_1} \quad (5)$$

Sesuai dengan asumsi bahwa selama horison perencanaan terjadi n kali ekspansi kapasitas, maka biaya investasi pada ekspansi kapasitas yang ke- $(n-1)$ untuk memenuhi permintaan pasar pada T_n adalah:

$$C_{n-1} = C_0 \cdot e^{(n-1)kgT_n} \quad (6)$$

Jika kemudian diasumsikan bahwa interval waktu penyesuaian kapasitas selama horison perencanaan sama yaitu $T_0 = T_1 = T_2 = \dots = T_n = T$, maka persamaan (6) menjadi:

$$C_{n-1} = C_0 \cdot e^{(n-1)kgT} \quad (7)$$

Telah dikemukakan pada bagian awal tulisan bahwa penelitian ini mengembangkan model ekspansi kapasitas dengan kebijakan inventory untuk memenuhi kekurangan kapasitas, yang dinyatakan dengan parameter b ($1 \leq b \leq 2$), yang berarti bahwa interval waktu antara dua penyesuaian kapasitas T menjadi bT sehingga persamaan (7) menjadi:

$$C_{n-1} = C_0 \cdot e^{(n-1)kgbT} \quad (8)$$

Jika kemudian seluruh biaya investasi ekspansi kapasitas selama horison perencanaan didiskontokan ke awal periode, maka diperoleh total biaya terdiskonto (*Total Discounted Cost*, TDC) sebesar:

$$TDC = C_0 + C_1 \cdot e^{-iT} + C_2 \cdot e^{-2iT} + \dots + C_{n-1} \cdot e^{-(n-1)iT} \quad (9a)$$

atau

$$TDC = C_0 + C_0 \cdot e^{-(i-kgb)T} + \dots + C_0 \cdot e^{-(n-1)(i-kgb)T} \quad (9b)$$

Persamaan (9b) merupakan model ekspansi kapasitas jangka panjang yang mempertimbangkan kebijakan *inventory* untuk memenuhi kekurangan kapasitas.

Teorema 1:

Untuk n tak terhingga, maka solusi optimal persamaan (9b) adalah:

$$T^* = \frac{\ln \frac{kgb}{i}}{kgb - i} \quad (10)$$

Bukti:

Persamaan (9a) atau (9b) merupakan deret ukur. Oleh karena itu dengan menggunakan kaidah deret ukur, untuk n tak terhingga, maka persamaan (9b) dapat disederhanakan menjadi:

$$TDC = \frac{K \cdot d_0^k \cdot e^{kgbT}}{[1 - e^{-(i-kgb)T}]} \quad (11)$$

Syarat optimum adalah $\frac{d(TDC)}{dT} = 0$, maka diperoleh

nilai T^* :

$$T^* = \frac{\ln \frac{kgb}{i}}{kgb - i} \quad (12)$$

Terbukti.

IMPLEMENTASI MODEL DAN PEMBAHASAN

Implementasi model yang dikemukakan pada bagian ini adalah menggunakan data yang digunakan oleh Siregar [1997] yang adopsi dari data yang digunakan oleh Hayes dan Wheelwright [1984], sehingga model yang dihasilkan pada penelitian ini dapat diperbandingkan dengan model yang dikembangkan oleh kedua peneliti tersebut. Data dari Siregar [1997] adalah seperti berikut:

- $i = 15\%$ per tahun
- $d_0 = 12.000$ unit per tahun
- $K = 0,00335$ dan $k=0,7$ serta biaya investasi penambahan kapasitas dalam jutaan \$
- $g = 10\%$ per tahun

Jika data-data tersebut disubstitusikan ke masing-masing model, maka untuk nilai parameter $b=1$ (parameter kebijakan *inventory*) dari model pada penelitian ini, nilai parameter $a=1$ (a adalah parameter sub kontrak) pada model Siregar [1997], maka diperoleh nilai V , T dan TDC yang sama untuk ketiga model. Nilai penambahan kapasitas yang optimal, $V=31.121$ unit dengan interval waktu penyesuaian kapasitas, $T=9,53$ tahun dan biaya penyesuaian kapasitas, $TDC= \$ 8,772$ juta.

Untuk model yang dikembangkan dalam penelitian ini, jika nilai parameter $1 < b < 2$ maka interval waktu penyesuaian kapasitas semakin pendek dan ukuran penambahan kapasitas semakin besar sebagaimana ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1: Pengaruh kebijakan *inventory*

b	T, tahun	TDC, (jutaan \$)	V, unit
1,1	9,13	9.965	32.760
1,3	8,47	13.181	36.089
1,5	7,93	18.386	39.425

Hal ini menunjukkan bahwa dengan kebijakan *inventory*, maka perusahaan dapat mengeliminir risiko terjadinya kekurangan kapasitas, yaitu dengan penambahan jumlah unit pada saat terjadi ekspansi kapasitas sehingga interval waktu antara dua penyesuaian kapasitas semakin pendek. Namun demikian konsekuensinya penambahan sejumlah unit kapasitas dari ukuran yang seharusnya menyebabkan biaya investasi yang harus disediakan juga semakin besar.

KESIMPULAN

Dari uraian dan pembahasan di atas dihasilkan beberapa kesimpulan berikut:

- Model yang dikembangkan menghasilkan kondisi optimal dengan interval waktu antara dua penyesuaian kapasitas seperti berikut:

$$T^* = \frac{\ln \frac{kgb}{i}}{kgb - i}$$

- Untuk nilai parameter kebijakan *inventory* $b=1$, diperoleh nilai T , TDC dan V sama dengan yang dihasilkan pada model yang dikembangkan oleh Hayes dan Wheelwright [1984] dan Siregar [1997] untuk nilai parameter sub kontrak $a=1$
- Kebijakan *inventory* untuk memenuhi saat terjadi kekurangan kapasitas, dapat memperpendek interval waktu antara dua penyesuaian kapasitas

Penelitian lanjut dapat dilakukan untuk pola pertumbuhan permintaan pasar yang berbeda dan horison perencanaan jangka pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balakrishnan, A., Magnanti, T.L., and Wong, R.T., 1995, A Decomposition Algorithm for Local Access telecommunications Network Expansion Planning, *Operations research*, Vol. 43, No.1, 58-75
- [2] Farham, H.M.S., 2003, *Model Ekspansi Kapasitas Yang Mempertimbangkan Pergeseran Struktur Pasar dan Inovasi Teknologi Untuk Horison Perencanaan Terbatas*, *INFOMATEK*, Volume 5 Nomor 1, Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung, p. 1-16
- [3] Farham, H.M.S, Taroepratjeka, H, Siregar, A.B dan Halim, A.H, 2003, *Model Ekspansi Kapasitas yang Mempertimbangkan Pergeseran Struktur Pasar untuk Horison Perencanaan Terbatas*, *Prosiding Seminar Nasional Sistem Produksi VI*, Yogyakarta, 243-254
- [4] Flippo et al [2000], *A Dynamic Algorithm for the Local Access Telecommunication Network Expansion Problem*, *European Journal of Operational Research* 127, 189-202
- [5] Hayes, R.H and Wheelwright, SC., 1984, *Restoring Our Competitive Edge, Competing Through Manufacturing*, John Willey and Sons, New York
- [6] Humphreys, K.K., 1991, *Cost and Optimization Engineering*, McGraw-Hill Inc., New York
- [7] Saniee, I., 1995, *An Efficient Algorithm for the Multiperiod Capacity Expansion of One Location in Telecommunications*, *Operations Research*, Vol. 1, No. 43, 187-190
- [8] Siregar, A.B., 1997, *Optimasi Kapasitas Jangka Panjang dengan Kemungkinan Melakukan Sub Kontrak untuk Memenuhi Kekurangan Kapasitas*, *Jurnal TMI*, Vol. 17, No.2, 1-6
- [9] Winston, W.L., 1995, *Introduction to Mathematical Programming: Applications and Algorithm*, Duxbury Press, California USA