



Pengembangan Model *Vendor Managed Inventory* dengan Banyak *Retailer* yang Mempertimbangkan Ketidakpastian *Lead Times*

Carles Sitompul¹, Paulina K. Ariningsih², Ida Bagus Deva Narswara Santosa³

^{1,2,3} Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciembuleuit 94, Bandung 40141

Email: carles@unpar.ac.id; paulina.ariningsih@unpar.ac.id; nareswarad@gmail.com

Abstract

An inventory management system in supply chains called Vendor Managed Inventory (VMI) is very promising due to the cost efficiency resulted from implementing such system. This research aims to develop a vendor managed inventory for multiple retailers. The model also takes into account lead time uncertainties from vendor to its retailers. A mathematical formulation for VMI with multiple retailers is first developed using deterministic lead times. Subsequently, lead times uncertainties are then taken into account where modes lead times are broken into two components: modes and delays, each with their respective probabilities. In turn, an approximation model is used to solve the problem because the complexity aroused from the model is difficult to solve using analytical methods. It is shown that the proposed approximation method is able to solve VMI problem with multiple retailers and uncertain lead times. Furthermore, the total inventory cost is significantly reduced when compared to the usual economic order quantity method because stockouts are less frequent.

Abstrak

Sistem persediaan pada sebuah rantai pasok yang disebut dengan Vendor Managed Inventory (VMI) merupakan sistem yang menjanjikan karena adanya efisiensi total ongkos persediaan yang dihasilkan dari sistem ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model Vendor Managed Inventory (VMI) dimana sebuah vendor memiliki banyak retailer. Pengembangan model juga dilakukan dengan mempertimbangkan ketidakpastian lead times pengiriman barang dari vendor ke retailer. Formulasi matematis untuk VMI dengan banyak retailer dan lead times deterministik dikembangkan terlebih dahulu. Selanjutnya, ketidakpastian lead times direpresentasikan dengan sebuah nilai lead time yang sering muncul (modus) dengan probabilitasnya serta sebuah nilai delay dengan probabilitas tertentu. Selanjutnya, metode aproksimasi dikembangkan karena adanya kesulitan untuk memecahkan model analitis yang sudah dikembangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode aproksimasi dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah VMI dengan banyak retailer dengan ketidakpastian lead times. Selain itu, peningkatan efisiensi total ongkos persediaan juga cukup signifikan dibandingkan dengan metode tradisional EOQ karena frekuensi terjadinya stockout yang jauh lebih rendah.

Kata kunci: *vendor managed inventory*, ketidakpastian *lead time*, model aproksimasi

Pendahuluan

Sistem persediaan *Vendor Managed Inventory* (VMI) pada sebuah rantai pasok diyakini dapat memberikan keuntungan strategis baik bagi vendor maupun retailernya. Keuntungan yang diperoleh dari penerapan VMI di jangka panjang adalah pengurangan ongkos persediaan yang pada akhirnya dapat meningkatkan profit vendor dan retailer. Dong dan Xu (2002) menyebutkan bahwa VMI adalah strategi rantai pasok yang efektif yang

keuntungannya akan diperoleh jika terdapat integrasi rantai pasok yang penuh. Yao et al. (2005) menyatakan bahwa keuntungan VMI terjadi karena adanya pengurangan biaya persediaan baik pada vendor maupun pada retailernya. Keuntungan yang lain adalah adanya peningkatan *customer service level* yang terjadi karena adanya pengurangan waktu siklus pemesanan barang dan peningkatan frekuensi penggantian persediaan (*replenishment*). Baik Dong dan Xu (2002)

maupun Yao et al. (2005) menyimpulkan bahwa keuntungan pada sistem VMI terjadi karena adanya integrasi antar pihak dalam rantai pasok, misalnya dengan *information sharing*.

Permasalahan rantai pasok dengan sistem persediaan VMI ini sudah banyak diteliti sejak dekade terakhir ini. Namun demikian, permasalahan dengan banyak retailer yang memperhatikan ketidakpastian *lead times* masih perlu diteliti lebih jauh. Hal ini perlu dilakukan mengingat banyaknya permasalahan yang terjadi di dunia nyata di mana waktu pengiriman barang dari vendor ke retailernya yang tidak sesuai dengan rencana yang pengiriman. Penelitian ini dapat mengatasi permasalahan yang ada pada dunia nyata yang masih dipenuhi ketidakpastian. Selain itu, strategi VMI pada sebuah rantai pasok diharapkan dapat terus meningkatkan keuntungan strategis baik bagi vendor maupun bagi retailernya.

Penelitian ini akan mengembangkan sebuah model matematis yang dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan yang terjadi pada metode-metode sebelumnya yang digunakan pada masalah yang disertai dengan ketidakpastian. Penempatan persediaan pengaman (*safety stock*) yang dianjurkan oleh Graves dan Willems (2003) cenderung untuk memberikan persediaan yang lebih banyak dari seharusnya. Di sisi yang lain, *metode robust optimization* yang membangkitkan skenario ketidakpastian seringkali menunjukkan peluang kemunculan yang tidak sesuai dengan distribusi peluangnya. Sebagai contoh, *lead times* yang mengikuti distribusi normal tidak mungkin mendapatkan *lead times* yang negatif. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada pengembangan model yang mengatasi kelemahan masing-masing metode dengan tetap memperhatikan keunggulan yang dimiliki.

Landasan Teori

Pada praktek umum, proses *replenishment* dilakukan dengan metode EOQ (*Economic Order Quantity*) yang mengoptimalkan besaran inventory dengan memperhitungkan permintaan yang deterministik, biaya simpan, dan biaya pesan (Tersine, 1994). Kinerja ada proses *replenishment* ditentukan dengan nilai total ongkos, serta *service level*, yaitu tingkatan keberhasilan pemenuhan kebutuhan

(Tersine, 1994). Semakin besar nilai *service level*nya, maka semakin besar pula keberhasilan pemenuhan kebutuhan.

Pada rantai pasok yang dinamis, sering kali terjadi fenomena *bullwhip effect* yang merupakan fenomena penumpukan jumlah barang pada proses *replenishment* akibat tertundanya pemenuhan kebutuhan dan tertundanya informasi antara satu partai ke partai lainnya (Sternan, 2000). *Bullwhip effect* inilah yang menunjukkan ketidakefisienan pada rantai pasok. Fenomena *bullwhip effect* ditunjukkan juga pada *peak order value*, nilai pemesanan puncak, dalam sebuah rentang horizon waktu *replenishment* (Sternan, 2000). Semakin tinggi nilai *peak order value*, dimungkinkan semakin besar pula *bullwhip* yang terjadi.

Vendor Managed Inventory (VMI) merujuk pada aliansi strategis pada aktifitas *replenishment* yang dilakukan oleh vendor atau supplier terhadap retailernya dimana bertujuan untuk mengurangi risiko ketidakpastian permintaan dan total ongkos rantai pasok (Simchi-Levi & Simchi-Levi, 2010). Sistem ini cocok digunakan pada rantai pasok yang bersifat responsif dengan pola permintaan yang tidak menentu, karena pada tipe rantai pasok inilah VMI akan mampu mengurangi *bullwhip effect* dan *peak order value* secara signifikan tanpa mengurangi *service level* rantai pasok tersebut (Ariningsih et al., 2007). Keberhasilan ini dipicu oleh adanya pengurangan aktivitas pemesanan oleh retailer, sehingga tidak terjadi delay informasi dan delay pengiriman (Christiansen, 2006). Vendor mendapatkan informasi mengenai transaksi yang terjadi pada retailer, sehingga vendor akan mampu mengolah informasi tersebut untuk melakukan kegiatan *replenishment* bagi retailernya. Hong et al.(2016) melakukan pemodelan VMI dengan banyak retailer dengan asumsi bahwa demand bersifat stokastik namun berdistribusi seragam.

Oleh karena sifatnya yang berupa aliansi strategis, pelaksanaan VMI perlu adanya kesepakatan antar pihak yang berkepentingan, terutama untuk faktor – faktor yang bersifat operasional. Singh (2013) menunjukkan faktor operasional penting dalam implementasi VMI antara lain manajemen persediaan yang efektif, pengiriman yang tepat waktu, serta pengurangan biaya produksi. Secara global,

VMI telah diterapkan pada banyak sektor manufaktur maupun retail. Di Indonesia sendiri, beberapa perusahaan yang telah menggunakan VMI antara lain : Toyota, P&G, dan Careffour.

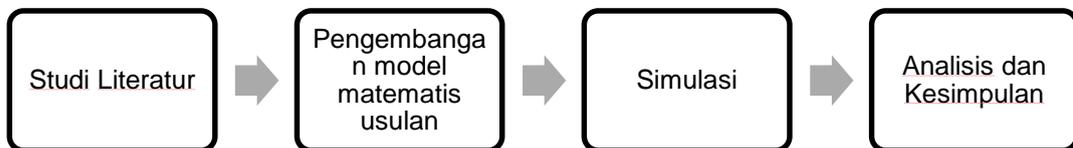
Selama ini praktek VMI masih menggunakan metode EOQ. Hal ini tentu saja kurang sesuai dengan VMI dimana biaya pesan tidak ada. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembangunan model yang lebih menggambarkan kondisi nyata pada pelaku VMI.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan dilakukan studi pustaka/literatur kemudian dilakukan

pemodelan matematis untuk dengan data hipotesis untuk model usulan, yaitu model penentuan jumlah *replenishment* untuk kondisi ketidakpastian permintaan dan ketidakpastian *lead times*. Setelah itu lalu dilakukan simulasi untuk mengetahui perbandingan kinerja antara model usulan dengan model EOQ yang tradisional. Ukuran kinerja yang dimaksudkan adalah total biaya *replenishment* yang dialami oleh rantai pasok tersebut. Analisis dan kesimpulan akan dapat dilakukan berdasarkan data simulasi.

Adapun urutan langkah penelitian seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Pengembangan Model

Secara umum, model persediaan rantai pasok dengan VMI dapat digambarkan seperti pada Gambar 2. Permintaan konsumen akhir akan diteruskan dari retailer ke pemasoknya (vendor). Selain itu, informasi terkait tingkat persediaan retailer juga dimiliki oleh vendor. Berdasarkan kedua informasi tersebut, vendor akan mengirimkan barang kepada retailer untuk memenuhi tingkat persediaan yang diperlukan oleh retailer tersebut.

Model matematis ketika permintaan retailer bersifat deterministik dapat digambarkan sebagai berikut

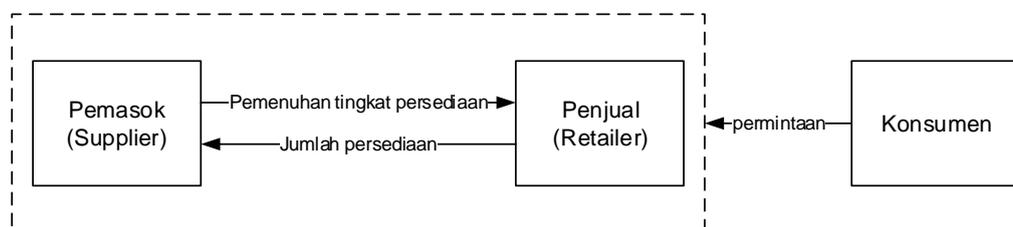
$$\min TC = \sum_{t=1}^T A_t Y_t + \sum_{t=1}^T H_t I_t + \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T a_{jt} y_{jt} + \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T h_{jt} i_{jt}$$

Pers. 1

keterangan :

TC : total biaya atau ongkos (\$)

A_t : ongkos pemesanan vendor periode t (\$)



Gambar 2. Model Konseptual VMI

- Y_t : bernilai 1 jika terjadi pemesanan vendor periode t
 H_t : biaya simpan (*holding cost*) di vendor periode t (\$/unit/periode)
 I_t : besaran *inventory vendor* periode t (unit)
 a_{jt} : ongkos pengiriman ke retailer j periode t (\$)
 y_{jt} : bernilai 1 jika terjadi pengiriman ke retailer j periode t
 h_{jt} : biaya simpan (*holding cost*) di retailer j periode t (\$/unit/periode)
 i_{jt} : besaran *inventory* retailer j periode t (unit)

Terbatas pada:

$$I_t = I_{t-1} + Q_t - \sum_{j=1}^N q_{jt} \quad \text{Pers. 2}$$

$$i_{jt} = i_{j,t-1} + q_{jt} - d_{jt} \quad \text{Pers. 3}$$

$$Q_t \leq MY_t \quad \text{Pers. 4}$$

$$q_{jt} \leq My_{jt} \quad \text{Pers. 5}$$

$$Q_t, I_t, q_{jt}, i_{jt} \geq 0, Y_t, y_{jt} \text{ biner} \quad \text{Pers. 6}$$

dimana :

Q_t : besar jumlah pemesanan vendor pada periode t (unit)

q_{jt} : besar jumlah pemesanan retailer j pada periode t (unit)

d_{jt} : besar jumlah permintaan konsumen retailer j pada periode t (unit)

M : bilangan besar

Pers 2 sampai 3 menunjukkan bahwa besaran *inventory* akan tergantung pada pemesanan konsumen langsungnya. Sementara Pers 4 dan 5 menunjukkan bahwa jumlah pemesanan akan selalu kurang dari ukuran *replenishment*-nya.

Misalkan *lead time* pengiriman barang dari vendor ke retailer diketahui bernilai I_j maka barang yang dikirim oleh vendor pada waktu t akan diterima oleh retailer pada waktu $t+1$ sehingga persamaan persediaan pada retailer berubah menjadi:

$$i_{jt} = i_{j,t-1} + q_{j,t-1} - d_{jt} \quad \text{Pers. 7}$$

Persamaan ini berlaku untuk $t-1 \geq 1$ dan untuk menghindari *stockout*, jumlah *inventory* awal dan *delivery* (sudah dikirim) harus mencukupi *demand* periode 1 sampai dengan I_j untuk setiap retailer. Sebagai penyederhanaan model, diasumsikan pula *lead time* pemesanan barang dari vendor ke pihak ketiga sebesar nol.

Pada VMI dengan *Lead Time* yang tidak pasti (*uncertain*) dapat dimodelkan dengan memperhatikan bahwa: ketidakpastian *lead time* dimodelkan dengan satu nilai I_j dengan probabilitas sebesar π_j dengan satu nilai delay d_j dengan probabilitas sebesar $1 - \pi_j$. Hal ini diasumsikan bahwa banyak retailer yang sangat memperhatikan ketidakpastian karena *delay* dibandingkan dengan *early delivery*. Pada banyak kasus di dunia nyata, *delay* dapat berarti kehilangan omzet atau pinalti, sedangkan *early delivery* tidak mengandung wan prestasi, malahan berisiko ditolak ketika kondisi gudang retailer tidak mampu menampungnya.

Dengan demikian barang yang diterima oleh retailer pada waktu t berasal dari pengiriman oleh vendor pada waktu $t-I_j$ dengan probabilitas π_j serta pada waktu $t - (I_j + d_j)$ dengan probabilitas sebesar $1 - \pi_j$. Jumlah barang yang diterima oleh retailer juga menjadi tidak pasti berupa skenario, x_{jts} yaitu:

1. $q_{j,t-I_j} + q_{j,t-I_j-d_j}$ dengan probabilitas $\pi_j (1 - \pi_j)$
2. $q_{j,t-I_j} + 0$ dengan probabilitas $\pi_j (\pi_j)$
3. $0 + q_{j,t-I_j-d_j}$ dengan probabilitas $(1 - \pi_j) (1 - \pi_j)$
4. $0 + 0$ dengan probabilitas $(1 - \pi_j) (\pi_j)$

Misalkan $s \in \Omega$ adalah skenario di atas dengan probabilitas sebesar π_s maka formulasi model *robust* dengan skenario dapat dijabarkan sebagai berikut:

Fungsi tujuan meminimasi Total Biaya (TC)

$$\begin{aligned} \min TC = & \sum_{t=1}^T A_t Y_t + \sum_{t=1}^T H_t I_t + \\ & \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T a_{jt} y_{jt} + \sum_{s \in \Omega} \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \pi_s h_{jt} i_{jts} \\ & + \omega \sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{s \in \Omega} h_{jt} (i_{jts} - \bar{i}_{jt})^2 \quad \text{Pers.8} \end{aligned}$$

dengan :

ω : bobot fungsi tujuan untuk variasi ongkos simpan

Terbatas pada:

$$I_t = I_{t-1} + Q_t - \sum_{j=1}^N q_{jt} \quad \text{Pers. 9}$$

$$i_{jts} = \bar{i}_{j,t-1} + x_{jts} - d_{jt} \quad \text{Pers. 10}$$

$$\bar{i}_{jt} = \pi_s i_{jts} \quad \text{Pers. 11}$$

$$Q_t \leq MY_t \quad \text{Pers. 12}$$

$$q_{jt} \leq My_{jt} \quad \text{Pers. 13}$$

$$Q_t, I_t, q_{jt}, i_{jt}, x_{jts} \geq 0, Y_t, y_{jt} \text{ biner} \quad \text{Pers. 14}$$

dimana:

i_{jts} : besaran *inventory* pada retailer j di periode t untuk skenario s

Dengan melakukan formulasi tersebut, jumlah persediaan di retailer akan dipenuhi ketidakpastian. Namun demikian pada formulasi fungsi tujuan, variansi total biaya menjadi hal yang akan diminimasi.

Sayangnya formulasi ini belum dapat diselesaikan dengan metode optimasi karena waktu komputasi yang diperlukan sangat besar. Oleh karena itu, sebuah metode aproksimasi digunakan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Setiap persediaan retailer akan dilakukan *replenishment* dengan menggunakan EOQ dimana demand berdistribusi normal dengan lead time I_j . Selain itu, metode EOQ juga digunakan ketika lead time aktual yang muncul adalah $I_j + d_j$.
2. Selanjutnya, vendor akan memesan secara *lot for lot* untuk keperluan pengiriman barang kepada retailernya.

Simulasi Model

Simulasi dilakukan dengan cara membandingkan model yang telah dibuat dengan model EOQ tradisional. Kasus yang digunakan masing-masing model memiliki 2 Retailer dan 1 Vendor. Kedua model, baik model EOQ maupun model usulan akan disimulasikan selama 100 periode replenishment (bulan). Keterangan kasus untuk model EOQ Traditional seperti pada Tabel 1. Pada model EOQ tradisional, besaran *lead time* deterministik adalah tidak menganggap adanya *delay* pengiriman.

Selain itu, terdapat parameter lain untuk model dengan *lead time uncertain*, yaitu pada Tabel 2. Pada Tabel 3, meskipun nilai rata-rata ongkos metode VMI dengan uncertain lead times ini lebih besar, standar deviasinya lebih kecil. Hal ini terjadi karena VMI dengan uncertain lead times memberikan tingkat persediaan yang lebih besar. Selain itu, frekuensi terjadinya *stockout* pada metode VMI juga jauh lebih kecil seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 1. Parameter VMI Deterministik

Party	Average demand(unit)	Holding cost	Lead-time (days)	Order costs (\$)	Holding Cap. (unit)	Purchase price	Initial Inventory(unit)
Retailer 1	50	0,2	20	10	450	200	45
Retailer 2	120	0,1	25	20	400	200	180
Vendor	170	0,3	30	25	450	200	200

Tabel 2. Tambahan Parameter VMI dengan Ketidakpastian Permintaan dan *Lead Time*

Pihak	Average demand (unit)	Standard deviation demand	Z value (Service Level 95%)	Holding costs	Probabilitiy <i>Lead-time</i>
Retailer 1	50	15	1,64	0,2	0,95
Retailer 2	120	60	1,64	0,1	0,95
Vendor	170		1,64	0,3	-

(lanjut)

Tabel 2. Tambahan Parameter VMI Dengan Ketidakpastian Permintaan dan *Lead Time* (lanjutan)

Pihak	Probabilitiy <i>Lead-time delay</i>	Lead Time (months)	LT delay (months)	Re-order point
Retailer 1	0,05	0,667	0,5	62,9
Retailer 2	0,05	0,833	0,167	236,82
Vendor	-	-	-	-

Tabel 3. Perbedaan Biaya Simulasi Model Tradisional dan Usulan

Model	Jenis Biaya	Biaya			
		Retailer 1 (\$)	Retailer 2 (\$)	Vendor (\$)	Total (\$)
Tradisional	Rerata	10.84	15.27	12.51	38.62
	Standar deviasi	2.45	5.12	7.51	12.59

Tabel 3. Perbedaan Biaya Simulasi Model Tradisional dan Usulan (lanjutan)

Model	Jenis Biaya	Biaya			
		Retailer 1 (\$)	Retailer 2 (\$)	Vendor (\$)	Total (\$)
Usulan	Rerata	16.05	29.42	23.27	68.73
	Standar deviasi	3.25	6.67	6.39	10.66

Tabel 4. Frekuensi Stockout

Metode	Retail	Stockout
EOQ	Retailer1	33
	Retailer2	45
	Vendor	48
Leadtime Uncertain	Retailer1	4
	Retailer2	4
	Vendor	0

Kesimpulan

Penelitian ini berusaha mengembangkan model Vendor Managed Inventory (VMI) yang memiliki banyak retailer dengan mempertimbangkan ketidakpastian lead times. Meskipun model analitis untuk masalah ini sudah berhasil dikembangkan, penyelesaiannya masih harus menggunakan metode aproksimasi karena kompleksitas masalah yang besar. Dari simulasi yang dilakukan terlihat bahwa metode VMI dengan uncertain lead times memiliki rata-rata ongkos yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode tradisional EOQ secara terpisah. Namun, frekuensi terjadinya stockout pada metode VMI dengan uncertain lead times jauh lebih rendah dibandingkan dengan traditional EOQ. Jika ongkos stockout ini diperhitungkan maka metode VMI memiliki performansi yang jauh lebih superior dibandingkan dengan traditional EOQ. Penelitian selanjutnya perlu diarahkan pada penggunaan metode robust optimization dengan waktu penyelesaian yang feasible. Validasi serta implementasi pada permasalahan dunia nyata juga masih diperlukan agar memperoleh pemahaman yang tepat terkait VMI dengan *uncertain lead times*.

Daftar Pustaka

Ariningsih, P.K, Shopa, B.M, and Subagyo (2007). Analisis pengaruh vendor managed inventory pada performansi supply chain, *Jurnal Mesin Industri* 4 (1), pp 1-14
Christiansen, P.E. (t.t) Vendor-managed Logistic from a Purchasing Perspective,

Supply Chain Management, pp. 88 – 91, <http://www.touchbriefings.com/pdf/967/christiansen.pdf>, tanggal akses: 13 Maret 2006
Dong, Y. and Xu, K. (2002). A supply chain model of vendor managed inventory, *Transportation Research Part E* 38, pp 75-95.
Graves, S.C., and Willems, S.P. (2000). Optimizing strategic safety stock placement in supply chains, *Manufacturing and Service Operations Management* 2(1), 68-83.
Hong, X., Chunyuan, W., Xu, L., and Diabat, A., (2016). Multiple-vendor multiple-retailer based vendor managed inventory. *Annals of Operations Research*, 238, 277-297.
Mulvey, J. M., and Vanderbei. R. J. (1995). Robust optimization of large-scale system. *Operation Research*, Vol. 43, 264-281.
Rostenila, A., and Sitompul C., (2016). A robust optimization model for lot sizing with dynamic demands. *Proceedings Asia Pacific Industrial Engineering and Management Society (APIEMS)*, Taipei.
Simchi-Levi, D., and Simchi-Levi, E. (2010) *Designing and Managing Supply Chain 3rd edition*, Mc. Graw-Hill, New York
Singh, R.K (2013) Analyzing the Factors for VMI Implementation: A Framework, *Global Business Review* 14 (1), pp 169-186
Sitompul, C. and Alfian (2012) *Pengembangan Model Persediaan yang Dikelola Pemasok (Vendors Managed Inventory)*, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
Sternan, J.D (2000) *Business Dynamics: System Thinking and Modelling*, Mc. Graw-Hill, New York
Tersine, R.J (1994) *Principle of Inventory and Material Management*, 4th edition, New Jersey: Prentice Hall
Yao, Y., Evers, P.T., and Dresner, M.E. (2005). Supply chain integration in vendor-managed inventory, *Decision Support Systems* 43, pp. 663-674.