

ANALISIS PENGARUH *MEKANISME KORDINASI* TERHADAP *SCHEDULE INSTABILITY* DAN TOTAL BIAYA PADA LEVEL MPS DI ENTITAS RANTAI PASOK SEDERHANA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN *LEAD* *TIME*

Elsa Rosyidah^{1*} dan Mochammad Aldy Anwar²

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo¹

Program Studi Teknik Industri, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo²

*e-mail: elsarosyidah@unusida.ac.id

Abstract

Instability in production planning (or better known as schedule instability) is unavoidable. This makes the company companies make various efforts to minimize the level of instability. There are several strategies that are generally used to minimize instability schedules, including freezing, safety stock / buffer. In this study, we will try to use a coordination approach to minimize the consequences of instability schedules in a simple supply chain. The simple supply chain system is the focus of this study consisting of one entrepreneur and one supplier integrated through a coordination mechanism (sharing information relating to order orders). This research will be conducted to study a full factorial experiment (full factorial experiment). A variety of different operational conditions are also considered such as: the uncertainty of financing, the cost structure, and the inventory policy applied by the company to be the part observed in this study. The results of this study, namely through the existence of a coordination mechanism, can reduce the level of schedule instability in each entity both manufacturing and supplier. In addition, through coordination it is also able to eliminate the transfer of risks that manufacturers often make to suppliers in the production planning section, as well as being able to reduce total costs to manufacturing or supplier entities. Through this research, it is expected to provide an understanding in the manufacturing industry of the importance of coordination in the supply chain system.

Keywords: Coordinating Mechanism, Instability Schedule, Supply Chain, Total Cost, Simulation.

Abstrak

Ketidakstabilan dalam perencanaan produksi (atau lebih dikenal dengan ketidakstabilan jadwal) tidak dapat dihindari. Hal ini membuat perusahaan perusahaan melakukan berbagai upaya untuk meminimalkan tingkat ketidakstabilan. Ada beberapa strategi yang umumnya digunakan untuk meminimalkan jadwal ketidakstabilan, termasuk pembekuan, safety stock / buffer. Dalam studi ini, kami akan mencoba menggunakan pendekatan koordinasi untuk meminimalkan konsekuensi dari jadwal ketidakstabilan dalam rantai pasokan sederhana. Sistem rantai pasokan sederhana adalah fokus penelitian ini yang terdiri dari satu pengusaha dan satu pemasok yang diintegrasikan melalui mekanisme koordinasi (berbagi informasi terkait pesanan

pesanan). Penelitian ini akan dilakukan untuk mempelajari percobaan faktorial penuh (full factorial experiment). Berbagai kondisi operasional yang berbeda juga dipertimbangkan seperti: ketidakpastian pembiayaan, struktur biaya, dan kebijakan persediaan yang diterapkan oleh perusahaan untuk menjadi bagian yang diamati dalam penelitian ini. Hasil dari penelitian ini, yaitu melalui keberadaan mekanisme koordinasi, dapat mengurangi tingkat ketidakstabilan jadwal di setiap entitas baik manufaktur maupun pemasok. Selain itu, melalui koordinasi juga dapat menghilangkan transfer risiko yang sering dilakukan produsen ke pemasok di bagian perencanaan produksi, serta mampu mengurangi biaya total untuk manufaktur atau entitas pemasok. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat memberikan pemahaman di industri manufaktur tentang pentingnya koordinasi dalam sistem rantai pasokan.

Kata kunci: Mekanisme Koordinasi, Jadwal Ketidakstabilan, Rantai Pasok, Total Biaya, Simulasi.

1. PENDAHULUAN

Ketidakstabilan pada aktivitas penjadwalan produksi merupakan hal yang tidak bisa dihindari, terutama pada industri yang bergerak dalam bidang manufaktur. Ketidakstabilan pada penjadwalan produksi (seringkali dikenal dengan sebutan *schedule instability* atau *schedule nervousness*) terjadi dikarenakan adanya ketidaksesuaian penjadwalan dengan kondisi aktual yang terjadi pada rantai produksi. Perusahaan yang tergolong dalam industri manufaktur akan berupaya untuk meminimalkan akibat dari *schedule instability* yang dianggap sebagai indikator pemicu dalam ukuran kinerja rantai pasok. Dimensi umum yang seringkali menjadi acuan dalam ukuran kinerja rantai pasok di perusahaan manufaktur meliputi *reliability*, *responsiveness*, *cost*, dan *asset management efficiency* (Meixell, 2005). Oleh karena itu, permasalahan *schedule instability* masih menjadi topik diskusi yang menarik bagi para peneliti atau praktisi dalam kurun waktu terakhir (Pujawan & Smart, 2012).

Umumnya fenomena *schedule instability* terjadi dikarenakan beberapa faktor, yakni adanya ketidakpastian

permintaan, keterlambatan pengiriman bahan baku, atau faktor internal perusahaan seperti mesin yang tidak bekerja atau dalam kondisi perbaikan. Beberapa peneliti juga mengidentifikasi faktor penyebab terjadinya *schedule instability* secara spesifik diantaranya adalah adanya struktur biaya, metode ukuran pemesanan (*lot sizing*), mekanisme pelepasan pesanan, panjang periode perencanaan, frekuensi perencanaan ulang, adanya kesalahan dalam peramalan, dan kompleksitas struktur produk (Pujawan dan Smart, 2012). Faktor-faktor tersebut ternyata mampu mempengaruhi *schedule instability* secara berdiri sendiri ataupun berinteraksi dengan faktor yang lain.

Pujawan dan Smart (2012) mengidentifikasi dampak negatif yang dapat timbul akibat *schedule instability* yakni terjadi penurunan kepercayaan diri manajemen terhadap sistem, timbul gangguan pada perencanaan model, dan juga timbul permasalahan pembebanan mesin. Selain itu, Dampak negatif yang ditimbulkan akibat terjadinya *schedule instability* yakni dapat menimbulkan ketidakstabilan pada rantai produksi dan juga dapat mengurangi produktifitas.

Ketika terjadi *schedule instability*, dari sisi manufaktur, akan terjadi keterlambatan dalam proses produksi karena proses produksi tidak berjalan sesuai dengan yang telah dijadwalkan. dari sisi pemasok yakni pemasok akan terlambat dalam merespon keinginan manufaktur dalam melakukan pemenuhan kebutuhan bahan baku yang dibutuhkan. Dan tidak hanya itu, pemasok akan mengeluarkan biaya yang cukup besar untuk melakukan pemenuhan bahan baku baik dari sisi produksi atau pengiriman agar sesuai permintaan manufaktur baik secara waktu ataupun kuantitas. Dengan adanya dampak negatif yang ditimbulkan dari *schedule instability*, sehingga perlu adanya strategi yang dilakukan untuk meminimalisasi dampak dari *schedule instability*.

Ada beberapa strategi yang umum digunakan atau diusulkan para peneliti untuk meminimalkan *schedule instability*, yakni strategi *frozen schedule* (Zhao dan Lee 1993, Xie *et al.*, 2003, Sahin *et al.*, 2008), dan penggunaan strategi *safety stock / buffering* (Sridharan dan Laforge, 1987, Metters, 1993, Zhao *et al.*, 1995, Pujawan dan Smart, 2012). Strategi tersebut dinilai cukup baik dalam meminimalisasi *schedule instability*. Di beberapa tahun terakhir, pendekatan *information sharing*, kolaborasi, dan koordinasi pada sistem rantai pasok menjadi ranah penting dalam strategi meminimalkan *schedule instability*. Sahin dan Robinson (2008) memperlihatkan pentingnya *information sharing*, kolaborasi, dan koordinasi untuk memperbaiki efisiensi dari perusahaan dalam rantai pasok pada lingkungan *make-to-order*. Betapa pentingnya adanya koordinasi dalam pengelolaan *schedule*

instability, namun tidak banyak industri yang menggunakan strategi tersebut dalam menanggulangi *schedule instability*. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan berfokus untuk menggunakan strategi kolaborasi yang digabungkan dengan metode *safety stock/buffering* dalam meminimalisasi *schedule instability*.

Pembahasan berkaitan dengan *schedule instability* dalam ruang lingkup rantai pasok tidaklah banyak, padahal dampak yang ditimbulkan dari *schedule instability* pada rantai pasok sangatlah besar. Pujawan dan Smart (2012) mencoba membahas *schedule instability* dalam lingkup *supply chain*, dalam sudut pandang hubungan *buyer-supplier* dengan memperhatikan tingkat *schedule instability* melalui strategi *safety stock*. Ruang lingkup *schedule instability* dalam rantai pasok mulai berkembang dengan melihat hubungan dari masing-masing perusahaan yang berada dalam rantai pasok. *Schedule instability* timbul karena adanya pengaruh hubungan pembeli, pemasok, dan juga faktor internal operasi perusahaan (Pujawan dan Smart, 2012).

Ketika terjadi *schedule instability* tiap perusahaan yang berada pada rantai pasok berusaha meminimalkan dampak *schedule instability* dari sisi biaya. Kasus yang sering terjadi adalah ketika terjadi *schedule instability* dari sisi manufaktur, manufaktur akan melakukan upaya untuk meminimalkan biaya yang terjadi pada proses bisnis manufaktur. Sayangnya, ketika manufaktur memutuskan untuk meminimalisasi biaya seringkali tidak memperhatikan dampak yang terjadi pada pemasok. Sehingga proses bisnis pemasok tidak berjalan efisien begitu pula kinerja dari sistem rantai pasok. Inilah sebuah

kelemahan besar yang terjadi jika perusahaan yang berada dalam sistem rantai pasok tidak melakukan koordinasi satu sama lain.

Melihat dari banyak kasus yang terjadi di industri manufaktur khususnya, pada penelitian ini akan dicoba untuk melihat permasalahan *schedule instability* dalam konteks sistem rantai pasok yakni adanya hubungan integrasi antara manufaktur-pemasok dengan adanya mekanisme koordinasi pada lingkungan *make-to-order*. Dengan melihat permasalahan *schedule instability* pada lingkungan *make-to-order* maka dapat menimbulkan fluktuasi permintaan yang beragam sehingga mampu melihat *schedule instability* yang tepat pada sistem rantai pasok. Mekanisme yang dilakukan dalam penelitian ini adalah berbagi informasi berkaitan dengan order permintaan dalam penjadwalan produksi.

Dalam hal untuk meminimalkan *schedule instability*, penelitian ini juga menggunakan strategi *safety stock/buffer* sebagai metode yang dipilih untuk menilai kondisi operasional lain seperti biaya operasional. Studi eksperimental dilakukan untuk melihat tingkat *schedule instability* dan total biaya yang ditimbulkan pada masing-masing entitas yang ada pada sistem rantai pasok melalui mekanisme koordinasi antara manufaktur dan pemasok. Penelitian ini akan berfokus untuk mempelajari bagaimana pengaruh adanya mekanisme koordinasi pada masing-masing entitas dalam rantai pasok (manufaktur-pemasok) terhadap tingkat *schedule instability*, dan total biaya dengan mempertimbangkan adanya *lead time*.

Untuk lebih menfokuskan model pada permasalahan yang akan diteliti,

maka akan diberikan suatu batasan dan asumsi untuk penelitian ini. Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah hanya integrasi antara entitas manufaktur dan pemasok yang diamati dalam penelitian ini. Sedangkan asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Permintaan pada siklus perencanaan bersifat tidak pasti (*uncertain*) dan mengikuti distribusi normal
- Adanya permintaan dimulai pada periode ke-2,
- Adanya *lead time* selama 1 hari
- *Safety stock* memenuhi untuk 1 periode awal saja
- Pemasok dalam melakukan pemenuhan permintaan dari manufaktur tidak pernah mengalami keterlambatan karena adanya mekanisme koordinasi

2. METODE PENELITIAN

2.1 Studi Literatur

Pondasi awal yang dijadikan dasar dari penelitian ini adalah studi Sridharan dan LaForge (1989) berkaitan dengan terjadinya fenomena *schedule instability* pada level MRP. Dalam studi tersebut dilakukan pendekatan *safety stock* sebagai pendekatan untuk meminimalisasi dampak dari *schedule instability*. Permasalahan muncul ketika dalam penelitian ini hanya diperbincangkan satu jenis produk saja, sebuah tantangan ketika timbul fenomena *schedule instability* pada produk yang bervariasi. Selain itu dalam studi ini juga tidak mempertimbangkan ruang lingkup rantai pasok. Namun, studi ini dijadikan landasan penelitian ini untuk mempertimbangkan ukuran kinerja yang digunakan yakni *schedule instability*, *service level*, dan total biaya. Ketiga ukuran kinerja tersebut dinilai cukup menarik dan cukup mewakili dalam mencapai tujuan dari penelitian yang akan dilakukan.

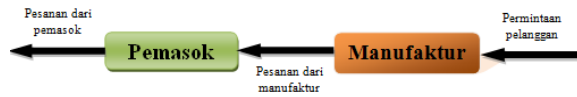
Berkaitan dengan *schedule instability* pada rantai pasok *two-stage* dan masalah mekanisme terjadi kordinasi, jurnal Sahin dkk. (2008) cukup membantu dalam menjawab tantangan tersebut. Melalui mekanisme kebijakan *Advanced Order Commitment* (AOC) dengan mengakomodir integrasi antara manufaktur dan pemasok. Selain itu juga, jurnal dari Zhou dan Grubbstrom (2004) dan Pujawan (2008) mendukung proses untuk merancang faktor eksperimental dalam kontek rantai pasok. Fokus dari penelitian ini adalah melihat bagaimana penggunaan *component commonality* dalam mekanisme rantai pasok *two-stage* mampu mempengaruhi *schedule instability*, *service level*, dan total biaya yang dihasilkan. Jurnal lain berkaitan dengan kordinasi antara entitas juga dijadikan referensi tambahan untuk membentuk suatu faktor eksperimental ataupun ukuran kinerja yang dapat tepat untuk mencapai tujuan penelitian.

Adapun beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi tahapan merancang mekanisme simulasi, tahap merancang faktor eksperimen dan ukuran kinerja yang dipertimbangkan dalam penelitian ini. kemudian setelah tahapan tersebut dilanjutkan ke tahap berikutnya yakni tahap simulasi, tahap analisis hasil simulasi, tahap penarikan kesimpulan dan saran. Tahap yang dirancang dibuat sedemikian rupa untuk mampu menghasilkan proses yang baik dalam mencapai tujuan akhir dalam penelitian ini.

2.2 Tahap Merancang Mekanisme Simulasi

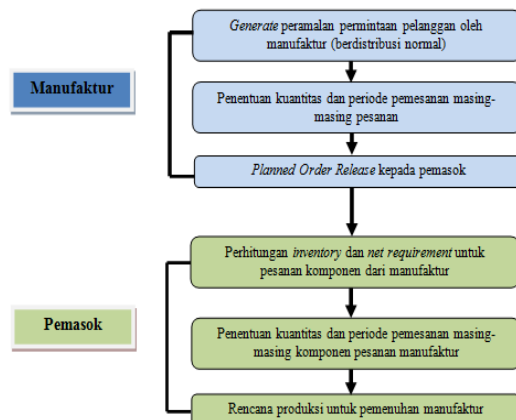
Pada tahapan ini dilakukan perancangan mekanisme yang dilakukan dalam penelitian ini. Mekanisme yang diharapkan dalam penelitian ini bisa diilustrasikan pada gambar

berikut ini:



Gambar 1. Konfigurasi Mekanisme Sistem yang Diamati pada Rantai Pasok yang Mempertimbangkan Integrasi antara Manufaktur dan Pemasok

Mekanisme yang diilustrasikan pada gambar tersebut dilakukan dengan adanya mekanisme kebijakan dengan adanya kordinasi yang diutarakan pada studi Sahin dkk. (2008). Dimana dengan kebijakan dalam studi tersebut peramalan hanya dilakukan satu kali yakni peramalan yang dilakukan oleh manufaktur berkaitan dengan peramalan permintaan pelanggan. Secara prosesnya, mekanisme tersebut diawali dengan manufaktur melakukan peramalan permintaan pelanggan untuk periode-periode setelah periode awal dari siklus perencanaan. Setelah itu dilakukan perhitungan persediaan dan *net requirement* masing-masing komponen untuk ditentukan kuantitas dan periode pemesanan dengan menggunakan kebijakan persediaan tertentu. Hasil dari perhitungan tersebut akan didapatkan *planned order release* kepada pemasok.



Gambar 2. Tahapan dalam mekanisme simulasi

Setelah pemasok menerima *planned order release* dari manufaktur, pemasok akan melakukan hal yang serupa yakni melakukan perhitungan persediaan dan *net requirement* masing-masing komponen. Selanjutnya ditentukan kuantitas dan periode pemesanan dengan menggunakan kebijakan persediaan yang sama dengan Manufaktur untuk pemenuhan permintaan manufaktur. Tahapan dari mekanisme tersebut dapat ditampilkan pada gambar 2.

2.3 Tahap Merancang Faktor

Eksperimental dan Ukuran Kinerja

Pada tahapan ini akan coba dipaparkan berkaitan dengan faktor eksperimental dan ukuran kinerja yang dipertimbangkan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini diberikan kondisi yang berbeda pada tiap-tiap faktor eksperimental yakni kondisi adanya kordinasi pada sistem integrasi supply chain (fokus dari penelitian ini) dan juga kondisi tidak adanya kordinasi dalam sistem integrasi supply chain (sebagai pembanding).

2.4 Variabilitas Permintaan

Variabilitas yang dimaksud adalah berkaitan dengan permintaan pelanggan yang fluktuatif dan direpresentasikan oleh peramalan permintaan yang fluktuatif. Ramalan permintaan dibangkitkan melalui pola distribusi normal dengan rata-rata sebesar 200 unit. Variasi dari ramalan permintaan diperhitungkan dengan mengatur nilai *coefficient of variation* (perbandingan antara standar deviasi dengan rata-rata permintaan). Dalam penelitian ini hanya mencoba pada dua tingkat yang berbeda yakni 0.1, yang menggambarkan permintaan yang relatif stabil, dan 0.4 yang dijadikan gambaran dari fluktuasi permintaan yang relatif lebih besar dan kurang stabil. Dua tingkat fluktuatif permintaan diambil dirasa cukup untuk

mewakili kondisi yang akan menjadi tujuan penelitian

2.5 Kebijakan Pemesanan

Dalam hal faktor eksperimen kebijakan pemesanan yang dipertimbangkan dalam penelitian ini yakni menggunakan kebijakan pemesanan *lot for lot*. Mekanisme kebijakan ini adalah ketika jumlah persediaan tidak memenuhi kebutuhan pada periode berikutnya, maka persediaan akan dipesan sama dengan jumlah yang ada pada *net requirement* untuk membangkitkan persediaan pada periode yang kekurangan tersebut.

2.6 Struktur Biaya

Dalam penelitian ini juga mengangkat berkaitan dengan struktur biaya. Struktur biaya merupakan rasio yang menghasilkan jumlah periode permintaan yang akan dipenuhi melalui satu kali pesanan, umumnya diistilahkan *time between order* (TBO). Dalam penelitian ini akan timbul dua mekanisme TBO, dimana untuk kondisi adanya kordinasi TBO akan terjadi pada manufaktur saja dengan adanya nilai T_M (TBO dari manufaktur). Hal itu terjadi akibat mekanisme kordinasi yang akan membuat struktur biaya dari pemasok akan mengikuti struktur biaya manufaktur. Sedangkan untuk kondisi mekanisme tanpa adanya kordinasi maka struktur biaya juga terjadi struktur biaya pada pemasok dengan adanya nilai T_s (TBO dari pemasok). Terdapat 2 skenario struktur biaya T_M yang dipertimbangkan yakni dua, 1, dan 3 periode. dan untuk struktur biaya T_s adalah 2 dan 4 periode.

2.7 Ukuran-ukuran kinerja

Di dalam penelitian ini, ukuran-ukuran kinerja yang dirancang dalam rangka mengevaluasi pengaruh mekanisme kordinasi

terhadap tingkat *schedule instability*, dan total biaya di masing-masing entitas dengan berbagai macam kondisi yang berbeda.

2.8 Schedule Instability

Penelitian ini menggunakan acuan yang diutarakan dalam penelitian Sridharan dan Kadipasaoglu (1995) yang mengukur *schedule instability* untuk *multi level MRP*. Dimana *Instability (I)* didefinisikan sebagai rata-rata perubahan kuantitas pesanan pada multi siklus perencanaan untuk semua item pada semua level terhadap jumlah komponen dalam struktur produk. Dapat dirumuskan persamaan dari ukuran kinerja *instability* adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{\sum_{\forall k \geq 1} \sum_{j=0}^m \left| \sum_{i=1}^{n_j^i} \sum_{t=M_k}^{M_{k-1}+N-1} |Q_{ijt}^k - Q_{ijt}^{k-1}| \right|}{\sum_{\forall k \geq 1} \sum_{j=0}^m \left[\sum_{i=1}^{n_j^i} \sum_t^{T-1} Q_{ijt}^{k-1} \right]}$$

dimana :

- j : indeks untuk level ke j dari suatu struktur produk
- i : indeks untuk item ke i pada level j dari suatu struktur produk
- T : periode waktu
- N : panjang horison perencanaan
- K : siklus perencanaan
- M_K : periode awal dari siklus perencanaan
- Q_{ijt}^k : kuantitas pemesanan untuk item i pada level j ketika periode t dan siklus Perencanaan k

2.9 Total Cost

Ukuran kinerja yang berkaitan dengan total biaya dibatasi hanya menggunakan pertimbangan elemen biaya *holding cost*, dan *setup/order cost*. Ukuran kinerja ini cukup umum digunakan dan sering dipakai peneliti-peneliti terdahulu untuk mengidentifikasi permasalahan berkaitan dengan biaya.

2.10 Mekanisme Eksperimen

Kondisi integrasi *supply chain* yang diamati dalam penelitian ini adalah kondisi dengan adanya kordinasi antara manufaktur dan pemasok berkaitan dengan informasi pemesanan yang dilakukan (atau dikenal dengan *advanced order commitment*). Selain itu, penelitian ini juga melakukan perbandingan dengan kondisi integrasi *supply chain* tanpa kordinasi untuk mendapatkan suatu hasil yang baik dan mampu mengaplikasikan dalam kondisi nyata.

Tabel 1. Faktor Eksperimental Kondisi kordinasi

Faktor	Level	Jumlah Level
Variabilitas permintaan konsumen	CV = 0,1; 0,4	2
Ketidakpastian permintaan manufaktur	STD = 0,1; 0,4	2
TBO Manufaktur (T _M)	T _M = 1, 3	2
Jumlah <i>experimental cell</i>		8
Replikasi		30
Jumlah Eksperimental		240

Tabel 2. Faktor Eksperimental Kondisi non kordinasi

Faktor	Level	Jumlah Level
Variabilitas permintaan konsumen	CV = 0,1; 0,4	2
Ketidakpastian permintaan manufaktur	STD = 0,1; 0,4	2
TBO Manufaktur (T _M)	T _M = 1, 3	2
TBO Pemasok (T _S)	T _S = 2, 4	2
Ketidakpastian permintaan pemasok	STD = 0,1; 0,4	2
Jumlah <i>experimental cell</i>		32
Replikasi		30
Jumlah Eksperimental		960

Keseluruhan faktor eksperimental yang telah dijelaskan sebelumnya, untuk kondisi adanya kordinasi menghasilkan *experimental cell* sebanyak 8 buah. Setelah itu, dilakukan 30 replikasi untuk menghasilkan jumlah percobaan sebanyak 240 *cell*. Sedangkan untuk kondisi tidak ada kordinasi menghasilkan *experimental cell* sebanyak 32 buah. Dari *experimental cell* tersebut dilakukan 30 replikasi dan menghasilkan

percobaan sebanyak 960 buah. Rangkuman dari faktor eksperimental dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 dan 2.

2.11 Desain Eksperimen

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya, pada penelitian ini bertujuan untuk mengamati pengaruh mekanisme koordinasi terhadap tingkat *schedule instability* dan total biaya pada sistem integrasi supply chain (manufaktur dan pemasok). Tahapan awal dari penelitian ini berfokus pada penentuan produk yang dijadikan objek dalam penelitian. Dalam penelitian ini, mengambil objek dengan perencanaan produksi hanya sebatas perhitungan di level MPS. Selain itu, dalam penelitian ini juga mempertimbangkan adanya *lead time*, dan juga adanya *safety stock*. Pada penelitian ini *lead time* berlangsung secara tetap yakni 1 hari dan untuk *safety stock* diasumsikan untuk 1 periode awal dan juga kebijakan minimum *stock* yang diberlakukan oleh perusahaan.

Setelah menentukan produk yang dijadikan objek penelitian, selanjutnya bisa dilakukan percobaan simulasi yang dimulai dari entitas manufaktur. Simulasi dimulai dengan membangkitkan permintaan aktual yang diterima oleh manufaktur pada periode T, selanjutnya untuk periode T+1 hingga akhir horison perencanaan dilakukan peramalan permintaan yang memiliki tingkat kesalahan terhadap permintaan aktual dengan rata-rata dan standar deviasi tertentu sesuai dengan yang telah dijelaskan sebelumnya. Untuk *safety stock*, dibangkitkan untuk memenuhi pada periode T sebagai cadangan adanya *lead time*. Setelah itu akan dilakukan perhitungan kuantitas dan periode pemesanan sebagai proyeksi pemesanan kepada pemasok. Sebagai contoh hasil pembangkitan secara acak dari ramalan permintaan yang berdistribusi normal dan proyeksi pemesanan

dapat terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Proyeksi pemesanan MPS Manufaktur pada T = 1

MPS Manufaktur (T = 1)	Periode (T)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Gross Requirement		207						
Forecast Manufacturer			223	187	210	192	200	185
Inventory On Hand	207	0	0	0	0	0	0	0
Nett Requirement		0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Receipt		0	223	187	210	192	200	185
Planned Order Release		223	187	210	192	200	185	0

Terlihat pada tabel tersebut bahwa kondisi yang terjadi yakni untuk *safety stock* hanya untuk memenuhi permintaan pada periode 1 saja untuk periode berikutnya hingga akhir perencanaan menggunakan pemesanan dengan kebijakan *lot for lot* dan *lead time* 1 hari. Selanjutnya akan dilakukan proses proyeksi pemesanan kepada pemasok berdasarkan perhitungan kuantitas dan periode pemesanan yang dilakukan oleh manufaktur. Berikut dapat terlihat pada tabel di bawah ini proses mekanisme pemesanan yang dilakukan oleh manufaktur pada pemasok dengan adanya koordinasi.

Tabel 4. Mekanisme Perhitungan Pemesanan Manufaktur ke Pemasok Adanya Koordinasi

Manufaktur (T = 1)	Periode (T)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Gross Requirement		207	223	187	210	192	200	185
Inventory On Hand	207	0	0	0	0	0	0	0
Nett Requirement		0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Receipt		0	223	187	210	192	200	185
Planned Order Release		223	187	210	192	200	185	0
PEMASOK								
		↓	↓	↓	↓	↓	↓	
Pemasok (T = 1)	Periode (T)							
								6
Gross Requirement		213	187	210	192	200	185	0
Inventory On Hand	223	0	0	0	0	0	0	0
Nett Requirement		0	187	210	192	200	185	0

Selanjutnya dilakukan mekanisme yang sama hingga mendapatkan rencana kebutuhan dan proyeksi pemesanan pada pemasok untuk periode T+1 (T=2). Gambaran rencana dan proyeksi pemesanan pada pemasok dapat terlihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Mekanisme perhitungan pemesanan manufaktur ke pemasok (T=2)

Manufaktur (T = 2)	Periode (T)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Gross Requirement		198	216	202	206	183	192	193
Inventory On Hand	198	0	0	0	0	0	0	0
Nett Requirement		0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Receipt		0	216	202	206	183	192	193
Planned Order Release		216	202	206	183	192	183	0
PEMASOK								
Pemasok (T = 2)	Periode (T)							
Gross Requirement		216	202	206	183	192	183	0
Inventory On Hand	216	0	0	0	0	0	0	0
Nett Requirement		0	202	206	183	192	183	0

Tabel 6. Ringkasan pemesanan Manufaktur ke pemasok periode T = 1 dan T = 2

Rencana Pemesanan	Periode (T)						
	1	2	3	4	5	6	7
MPS (T = 1)	223	187	210	192	200	185	0
MPS (T = 2)	216	202	206	183	192	183	0

Dari ringkasan pada tabel di atas, terlihat jelas terdapat perbedaan pada jumlah kuantitas pemesanan antara periode T = 1 dan T = 2. Hal inilah yang dapat menimbulkan ketidakstabilan pada aktivitas penjadwalan produksi, baik pada manufaktur ataupun pemasok. Seperti yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya bahwa *schedule instability* tidak hanya berkaitan dengan perubahan kuantitas pemesanan, pergeseran periode pemesanan juga terjadi setelah dilakukan perhitungan ulang terhadap rencana kebutuhan pada periode baru. Namun, penelitian ini hanya berfokus pada *schedule instability* yang berkaitan dengan perubahan kuantitas pemesanan.

Di dalam penelitian ini juga akan dilakukan mekanisme tanpa adanya koordinasi dalam sistem supply chain. Hal itu dilakukan untuk membandingkan posisi kondisi *schedule instability* dan total biaya yang akan terjadi ketika adanya mekanisme koordinasi dan tidak. Mekanisme tidak adanya koordinasi adalah pemasok tidak mengetahui berapa pesanan yang dilakukan oleh manufaktur. Selain itu juga akan dilakukan simulasi untuk melihat adanya pengaruh kebijakan

penggunaan *safety stock* pada *schedule instability* dan juga total biaya yang ada pada entitas manufaktur dan pemasok. Perhitungan *safety stock* disesuaikan dengan rata-rata dan standar deviasi yang terjadi dalam satu rencana produksi dengan mempertimbangkan *lead time* 1 hari. Berikut akan diberikan gambaran tentang simulasi yang akan dijalankan.

Tabel 7. Mekanisme Perhitungan Pemesanan Tanpa Adanya Koordinasi

Manufaktur (T = 1)	Periode (T)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Gross Requirement		196	210	206	205	194	198	196
Inventory On Hand	196	0	0	0	0	0	0	0
Nett Requirement		0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Receipt		0	210	206	205	194	198	196
Planned Order Release		210	206	205	194	198	196	0
PEMASOK								
Pemasok (T = 1)	Periode (T)							
Gross Requirement		210	195	194	193	201	199	194
Inventory On Hand	210	0	194	0	201	0	194	0
Nett Requirement		0	389	0	394	0	393	0

Tabel 8. Mekanisme pemesanan manufaktur ke pemasok dengan adanya *safety stock*

Manufaktur (T = 1)	Periode (T)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Gross Requirement		201	194	191	204	193	199	198
Inventory On Hand	452	251	251	251	251	251	251	251
Nett Requirement		0	0	0	0	0	0	0
Planned Order Receipt		0	194	191	204	193	199	198
Planned Order Release		194	191	204	193	199	198	0
PEMASOK								
Pemasok (T = 1)	Periode (T)							
Gross Requirement		194	191	204	193	199	198	0
Inventory On Hand	366	366	366	366	366	366	366	366
Nett Requirement		194	191	204	193	199	198	0

Dalam mekanisme tidak ada koordinasi untuk posisi TBO (*Time Between Order*) pemasok dilakukan 2 periode dan 4 periode. karena dalam penelitian ini juga ingin melihat pengaruh TBO dalam meminimalkan *schedule instability* dan total biaya. Untuk simulasi penggunaan *safety stock* diharapkan mampu melihat juga tren penggunaan *safety stock* dalam meminimalkan *schedule instability* dan total biaya. Simulasi yang digunakan sama dengan perlakuan yang telah

dipaparkan sebelumnya, hanya saja ada kebijakan berkaitan dengan minimum persediaan yang diinginkan oleh perusahaan. Berikut ini gambaran simulasi berkaitan dengan adanya kebijakan *safety stock* melalui mekanisme kordinasi.

Terlihat pada tabel tersebut perusahaan menggunakan kebijakan adanya *safety stock* dengan terlihat bahwa untuk manufaktur pada kondisi permintaan seperti itu menggunakan *safety stock* sebesar 251 dan untuk pemasok juga melakukan hal yang sama yakni menggunakan *safety stock* sebesar 366 sebagai pengaman. Dari keseluruhan simulasi yang dilakukan akan diamati bagaimana pengaruhnya terhadap *schedule instability* dan total biaya yang terjadi dengan adanya kriteria-kriteria tersebut.

3. HASIL DAN DISKUSI

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya bahwa hasil dari simulasi ini berkaitan dengan dua hasil kinerja yang diamati yakni *schedule instability*, dan total biaya dari entitas manufaktur dan pemasok pada mekanisme adanya kordinasi dan tidak ada kordinasi. Selain itu juga melihat dampak kebijakan *safety stock* terhadap kinerja yang sama. Berikut ini akan ditampilkan hasil dari tiap-tiap kinerja pada simulasi ini.

3.1 Schedule Instability

Hasil dari ukuran kinerja *schedule instability* adalah berupa nilai tingkat *instability*. Semakin besar nilai dari *schedule instability* maka menunjukkan tingkat *schedule instability* yang tinggi pula. Parameter yang digunakan untuk kinerja ini berdasarkan pada tingkat T_M (TBO Manufaktur), variabilitas permintaan, dan standar deviasi dari peramalan yang dilakukan manufaktur.

Tabel 9. Nilai *schedule instability* untuk manufaktur dalam kondisi kordinasi

TBO	CV = 0.1		CV = 0.4	
	STD = 0.1	STD = 0.4	STD = 0.1	STD = 0.4
1	1,0344	1,0719	1,1066	1,0476
3	1,0322	1,1233	1,0946	1,0819

Tabel 10. Nilai *schedule instability* untuk pemasok dalam kondisi kordinasi

TBO	CV = 0.1		CV = 0.4	
	STD = 0.1	STD = 0.4	STD = 0.1	STD = 0.4
1	0,0465	0,1589	0,0446	0,1467
3	0,0250	0,0941	0,0263	0,0999

Berdasarkan hasil eksperimen yang telah ditampilkan terdapat beberapa hal menarik berkaitan dengan kinerja *schedule instability*. Pertama, terlihat bahwa dengan adanya mekanisme kordinasi yang digunakan dengan adanya pemberian informasi berkaitan dengan pemesanan permintaan mampu membuat penurunan persentase *schedule instability* antara manufaktur dan pemasok dalam bagian sistem supply chain. Selain itu, adanya parameter struktur biaya yang dilakukan ternyata juga berdampak positif pada penurunan persentase *schedule instability*. Hal tersebut terlihat, semakin besar nilai TBO (T_M) maka terjadi penurunan yang cukup signifikan pada kinerja *schedule instability*.

Tabel 11. Nilai *schedule instability* untuk manufaktur dalam kondisi tidak ada kordinasi

TBO	T_s	CV = 0.1				CV = 0.4			
		STD = 0.1		STD = 0.4		STD = 0.1		STD = 0.4	
		STDP = 0.1	STDP = 0.4	STDP = 0.1	STDP = 0.4	STDP = 0.1	STDP = 0.4	STDP = 0.1	STDP = 0.4
1	2	0,0767	0,0721	0,0702	0,0769	0,0761	0,0768	0,2110	0,1877
3	2	0,0410	0,0425	0,0435	0,0400	0,0456	0,0451	0,1125	0,1321
1	4	0,0754	0,0804	0,0758	0,0776	0,0749	0,0762	0,2053	0,2048
3	4	0,0401	0,0375	0,0458	0,0498	0,0405	0,0448	0,1341	0,1208

Keterangan : STD = Peramalan Manufaktur, STDP = Peramalan Pemasok

Hal ini berbanding terbalik pada kondisi tidak adanya kordinasi, dimana *schedule instability* yang terjadi pada entitas pemasok cukup tinggi akibat tidak adanya kordinasi

antara manufaktur dan pemasok. Hal ini memang disadari bahwa dengan tidak adanya koordinasi maka pemasok akan melakukan peramalan sendiri sehingga akan terjadi pelimpahan *instability* di sisi pemasok. Itu terlihat jelas pada tabel 11.

Tabel 12. Nilai *schedule instability* untuk pemasok dalam kondisi tidak ada koordinasi

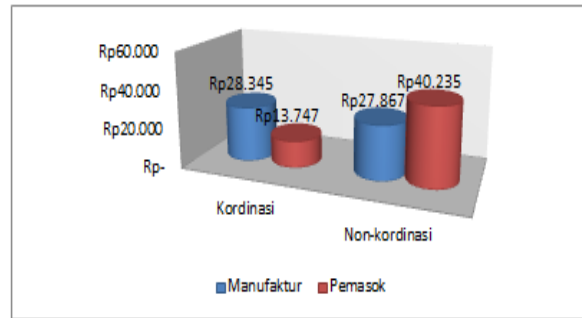
TBO		CV = 0.1				CV = 0.4			
		STD _M = 0.1		STD _M = 0.4		STD _M = 0.1		STD _M = 0.4	
T _m	T _s	STD _P = 0.1	STD _P = 0.4	STD _P = 0.1	STD _P = 0.4	STD _P = 0.1	STD _P = 0.4	STD _P = 0.1	STD _P = 0.4
1	2	0,1126	0,2290	0,1156	0,2265	0,1143	0,1732	0,1051	0,2136
3	2	0,0847	0,1797	0,0942	0,1634	0,0957	0,1400	0,1083	0,2057
1	4	0,1061	0,2173	0,1189	0,2155	0,1151	0,1721	0,1071	0,2260
3	4	0,0878	0,1731	0,0891	0,1695	0,0954	0,1529	0,1074	0,2146

Keterangan : STD_M=Peramalan Manufaktur, STD_P=Peramalan Pemasok

Pada hasil simulasi yang telah dilakukan, terlihat bahwa terjadi kenaikan signifikan pada sisi pemasok ketika tidak adanya mekanisme koordinasi. Adanya pemakaian struktur biaya yakni nilai TBO pada manufaktur (T_M) juga tidak mampu untuk meminimalisasi adanya peningkatan pada persentase nilai dari *schedule instability*. Pengaruh mekanisme sangatlah signifikan atas penurunan nilai *instability* pada masing-masing entitas baik manufaktur, pemasok, dan sistem *supply chain* secara keseluruhan.

3.2 Total Biaya

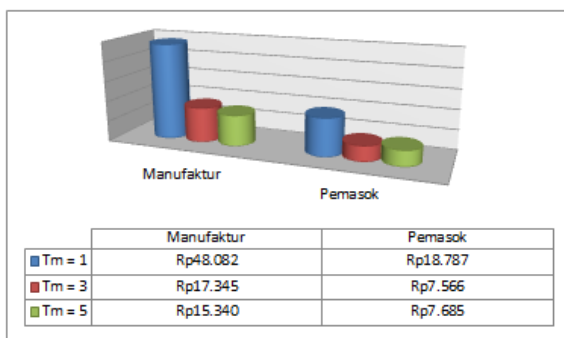
Berkaitan dengan elemen biaya yang diperhitungkan dalam penelitian ini berdasarkan pada dua elemen biaya yang umum yakni terdiri dari *holding cost*, dan *setup/order cost*. Kedua elemen biaya ini dirasa cukup mewakili karena elemen biaya ini yang biasa digunakan pada perusahaan. Dalam posisi sistem *supply chain* integrasi (*two-stage*) dengan adanya koordinasi terjadi penurunan total biaya pada entitas pemasok. Posisi dari biaya dari masing-masing entitas dalam posisi koordinasi dapat terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3. Besaran Nilai Total Biaya bagi Manufaktur dan Pemasok pada Sistem *Supply Chain* yang Berbeda

Terlihat pada gambar 3 posisi sistem integrasi (*two-stage*) dengan adanya koordinasi dalam sistem *supply chain* dapat mereduksi biaya yang terjadi pada entitas pemasok hingga 51%. Sebaliknya dalam sistem *supply chain* tanpa ada koordinasi pihak pemasok menanggung biaya lebih besar hingga beda biaya hampir mengalami kenaikan sebesar 30%. Hal ini mengindikasikan dalam sistem *supply chain* masing-masing entitas berupaya untuk meminimalkan biaya, namun ketika tidak adanya koordinasi maka ketika contohnya manufaktur melakukan kebijakan meminimalisasi biaya efek yang ditimbulkan adalah di level upstream atau dalam penelitian ini adalah pemasok akan terkena imbas kenaikan biaya yang tak terduga. Seperti diketahui bahwa penjawalan produksi senantiasa dikendalikan oleh variabilitas dan ketidakpastian permintaan. Oleh karena itu, perlu adanya koordinasi dalam sistem *supply chain* dalam mereduksi biaya yang ditimbulkan.

Dari sisi TBO dan adanya kebijakan *safety stock* pun mengindikasikan hal yang sama yakni adanya penurunan di level TBO yang berbeda. Berikut ini coba ditampilkan berkaitan dengan total biaya yang terjadi pada sudut pandang nilai TBO dan adanya kebijakan *safety stock*:



Gambar 4. Persentase besaran total biaya untuk manufaktur dan pemasok pada Nilai TBO yang berbeda dan kebijakan *safety stock* dalam sistem *supply chain* integrasi

Secara garis besar dalam penelitian ini faktor yang berpengaruh diantaranya adanya koordinasi dalam sistem. Kemudian tentu tidak luput dari adanya variabilitas permintaan dan juga ketidakpastiaan permintaan sekaligus adanya nilai *safety stock* ataupun nilai TBO yang mempengaruhi segala ukuran kinerja dalam penelitian ini yaitu *schedule instability* dan total biaya. Dalam penelitian ini nilai TBO pada manufaktur (Tm) lebih berperan sekali pengaruhnya dalam mempengaruhi hasil dari ukuran kinerja.

Jika dibandingkan dengan posisi sistem yang tidak ada koordinasi beberapa kejadian dalam ukuran kinerja interaksi antara TBO manufaktur (Tm) dan TBO pemasok (Ts) berdampak positif dalam ukuran kinerja dalam penelitian ini. Namun tentunya dari sisi manufaktur nilai Ts tidak terlalu berpengaruh seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Nilai Ts lebih berpengaruh pada entitas pemasok.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen dan hasil pengolahan data serta analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa poin kesimpulan dalam penelitian ini yakni:

1. Variabilitas permintaan konsumen dan ketidakpastiaan peramalan manufaktur berdampak positif dalam mempengaruhi tingkat *schedule instability*
2. Mekanisme koordinasi mampu mereduksi tingkat *instability* pada masing-masing entitas yang ada di sistem *supply chain*.
3. Nilai TBO dan kebijakan *safety stock* juga berdampak positif dalam mereduksi *schedule instability* pada masing-masing entitas.
4. Penggunaan mekanisme koordinasi, adanya struktur biaya, dan kebijakan *safety stock* yang mampu mereduksi *instability* berdampak pula pada total biaya yang terjadi pada masing-masing entitas menjadi turun. elemen biaya yang berkurang pada tiap-tiap entitas yakni akumulasi dari biaya pemesanan dan biaya persediaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, K., Safety Stocks and Component Commonality. *Journal of Operations Management*, 6, 1985. pp. 13-22.
- Blackburn, J.D., Kropp, D.H., dan Millen, R.A., MRP System Nervousness: Causes and Cures. *Engineering Costs and Production Economics*, 9, 1985, pp. 141-146.
- Carlson, R.C., Jucker J.V., Kropp, D.H., Less Nervous MRP Systems: A Dynamic Economic Lot-Sizing Approach. *Management Science*, 25(8), 1979, pp. 754-761.
- Collier, D.A., The Measurement and Operating Benefits of Component Part Commonality. *Decision Sciences*, 12, 1981, pp. 85-96.
- De Kok, Ton., Inderfurth, Karl., Nervousness in Inventory Management: Comparison of Basic Control Rules. *European Journal of Operational*

- Research*, 103, 1997, pp. 55-82.
- Etienne, E.C., Choosing Optimal Buffering Strategies for Dealing with Uncertainty in MRP. *Journal of Operations Management*, 7, 1987, pp. 107-120.
- Grubbstrom, R. W., Tang, O., Modelling Rescheduling Activities in a Multi Period Production-Inventory System. *International Journal of Production Economics*, 68, 2000, pp. 123-135.
- Heisig, Gerald., Comparison of (s, S) and (s, nQ) Inventory Control Rules with Respect to Planning Stability. *International Journal of Production Economics*, 73, 2001, pp. 59-82.
- Jensen, Thomas, Measuring and Improving Planning Stability of Reorder-Point Lot-Sizing Policies. *International Journal of Production Economics*, 30(31), 1993, pp. 167-178.
- Jeunet, Jully., and Jonard, Nicolas., Measuring The Performance of Lot-Sizing Techniques in Uncertain Environments. *International Journal of Production Economics*, 64, 2000, pp. 197-208.
- Jiao, Jianxin., Tseng, M.M., Understanding Product Family for Mass Customization by Developing Commonality Indices. *Journal of Engineering Design*, 11(3), 2000, pp.225-243.
- Kazan, Osman., Nagi, Rakesh., Rump, C.M., New Lot Sizing Formulations for Less Nervous Production Schedule. *Computers and Operations Research*, 27, 2002, pp. 1325-1345.
- Kropp, D.H. Carlson, R.C. Jucker, J.V., Concepts, Theories, and Techniques: Heuristic Lot-Sizing Approaches for Dealing with MRP System Nervousness. *Decision Sciences*, 14, 1983, pp. 156-169.
- Meixell, M. J., The Impact of Setup Costs, Commonality, and Capacity on Schedule Stability: An Exploratory Study. *International Journal of Production Economics*, 95, 2005, pp. 95-107.
- Metters, R.D., A Method for Achieving Better Customer Service, Lower Costs, and Less Instability in Master Production Schedules. *Production and Inventory Management Journal*, 34(4), 1993, pp. 61–66.
- Metters, R.D., A Method for Achieving Better Customer Service, Lower Costs, and Less Instability in Master Production Schedules. *Production and Inventory Management Journal*, 34(4), 1993, pp. 61–66.
- Murthy, D.N.P., Ma, L., MRP with Uncertainty: a Review and Some Extensions. *International Journal of Production Economics*, 25, 1991, pp. 51-64.
- Pujawan, I N. and Smart, A. U., Factors Affecting Schedule Instability in Manufacturing Companies. *International Journal of Production Research*, 50(8), 2012, pp. 2252-2266.
- Pujawan, I. N., Schedule Instability in a Supply Chain: An Experimental Study, *International Journal of Inventory Research*, 1(1), 2008, pp. 53-66.
- Sahin, Funda, and Robinson, E. Powell, Flow Coordination and Information Sharing in Supply Chains: Review, Implication and Directions for Future Research. *Decision Science*, 33(4), pp. 505-536.
- Sahin, Funda, Robinson, E. Powell, Li-Lian Gao, Master Production Scheduling Policy and Rolling Schedules in a Two-Stage Make-to-Order Supply Chain. *International Journal of Production Research*, 115, 2008, pp.

- 528-541.
- Song, J. S., and Zhao, Yao, The Value of Component Commonality in a Dynamic Inventory System with Lead Time. *Manufacturing and Services Operations Management*. 11(3), 2009, pp. 493-508.
- Sridharan, V., and W.L. Berry. *Freezing Methods for Master Production Scheduling: A Framework for Design and Analysis*. Decision Sciences Institute. Boston, 1987.
- Sridharan, V., and Sukran Kadipasaoglu, Alternative Approaches for Reducing Schedule Instability in Multistage Manufacturing Under Demand Uncertainty. *Journal of Operations Management*, 13, 1995, pp. 193-211
- Sridharan, V., dan LaForge, R.L., The Impact of Safety Stock on Schedule Instability, Cost and Service. *Journal of Operations Management*, 8, 1989, pp. 327-347.
- Sridharan, V., dan LaForge, R.L., The Impact of Safety Stock on Schedule Instability, Cost and Service. *Journal of Operations Management*, 8, 1989, pp. 327-347.
- Su, J.P., Chang, Y.L., Ho, J.C., Evaluation of Component Commonality Strategies in Supply Chain Environment. *Asia Pacific Management Review*, 9(5), 2004, pp. 801-821.
- Sugiyono, *Metode Penelitian Administrasi / Oleh Sugiyono*, 2004, Bandung: Alfabeta.
- Vieira, G.E., Herrmann, J.W., Lin, Edward, Rescheduling Manufacturing Systems: A Framework of Strategies, Policies and Methods. *Journal of Scheduling*, 6, 2003, pp. 39-62.
- Wacker, J.G., and Treleven, M., Component Part Standardization: An Analysis of Commonality Sources and Indices. *Journal of Operations Management*, 6, 1986, pp. 219-244.
- Xie, Jinxing., Zhao, Xiande., Lee, T.S., Freezing the Master Production Schedule under Single Resource Constrain and Demand Uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 83, 2003, pp. 65-84.
- Xu, L., and Beamon, B., Supply Chain Coordination and Cooperation Mechanism: An Attribute-Based Approach. *The Journal of Supply Chain Management*, 42(1), 2006, pp. 4-21.
- Zhao, X., Goodale, J.C. and Lee, T.S., Lot Sizing Rules and Freezing the Master Production Schedule in Material Requirements Planning Systems under Demand Uncertainty. *International Journal of Production Research*, 33(8), 1995, pp. 2241–2276.
- Zhao, X., Goodale, J.C. dan Lee, T.S, Freezing the Master Production Schedule in Material Requirement Planning Systems Under Demand Uncertainty. *International Journal of Production Research*, 33(8), 2003, pp. 2241-2276.
- Zhao, X., Lai, F. dan Lee, T.S., Evaluation of Safety Stock Methods in Multilevel Materials Requirements Planning (MRP) Systems. *Production Planning and Control*, 12(8), 2001, pp. 798–803.
- Zhao, Xiande., and Lee, T.S., Freezing the Master Production Schedule for Material Requirements Planning Systems under Demand Uncertainty, *Journal of Operations Management*, 11, 1993, pp. 185-205.
- Zhao, Xiande., and Lee, T.S., Freezing The Master Production Schedule for Material Requirements Planning

- Systems Under Demand Uncertainty. *Journal of Operations Management*, 11, 1993, pp. 185-205.
- Zhou, Xiande., dan Lam, Kokin, Lot-sizing Rules and Freezing The Master Production Schedule in Material Requirements Planning Systems. *International Journal of Production Economics*, 53, 1997, pp. 281-305.
- Zhou, Li., and Grubbstrom, R.W., Analysis of The Effect of Commonality in Multi-Level Inventory Systems Applying MRP Theory. *International Journal of Production Economics*. 90, 2004, pp. 251-263.