

ANALISIS SCHEDULE INSTABILITY PADA SISTEM RANTAI PASOK MULTI ESELON MELALUI PENDEKATAN EKSPERIMENTAL

Bilal Ahmadi

*Manajemen Logistik Industri Elektronika, Politeknik APP Jakarta
Jl. Timbul No. 34, Cipedak, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630
Email : bill.ahmadi@gmail.com*

Abstrak. *Perubahan pada jadwal produksi yang menyebabkan timbulnya ketidakstabilan, baik di internal perusahaan maupun dalam sistem rantai pasok, umumnya disebut dengan schedule instability. Permasalahan ini telah banyak dikaji dimana mayoritas berpusat pada satu entitas perusahaan dan belum banyak yang mempertimbangkan dalam kaitan sistem rantai pasok. Penelitian ini mensimulasikan suatu schedule instability yang terjadi pada sistem rantai pasok multi eselon, yang terdiri dari entitas pemasok tingkat 2, pemasok tingkat 1, dan pamanufaktur. Eksperimen dilakukan dengan mempertimbangkan kombinasi dari lingkungan operasional yang berbeda seperti ketidakpastian permintaan, cost structure, safety stock dan penggunaan common components untuk melihat tingkat instability yang berbeda. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa entitas rantai pasok yang berada di hulu (upstream) mengalami tingkat instability yang lebih besar. Salah satu penyebab dari hal ini adalah ketidakpastian permintaan dari end customer. Kebijakan pamanufaktur dalam hal penggunaan safety stock dan common components juga berpengaruh terhadap instability yang dialami oleh para pemasoknya.*

Kata kunci: *schedule instabiliy, rantai pasok multi eselon, simulasi, safety stock, common components.*

1. Pendahuluan

Terminologi *schedule instability* merupakan istilah untuk menjelaskan efek perubahan jadwal produksi pada sistem produksi yang mengaplikasikan logika *Material Requirements Planning* (MRP) pada struktur produk bertingkat. Perubahan tersebut akan menyebabkan terjadinya ketidakstabilan kebutuhan material dan komponen di tingkat bawah pada struktur produk seiring dengan berjalannya horison perencanaan (*rolling horizon*). Fenomena *schedule instability* ini telah dibahas oleh banyak peneliti kurang lebih selama 40 tahun dan masih terus mengalami perkembangan. Salah satu tinjauan baru dari *schedule instability* adalah pergeseran fokus dari semula hanya melingkupi sistem produksi tunggal di suatu perusahaan menjadi lebih luas yakni dalam konteks jaringan rantai pasok [1].

Diantara para peneliti awal tentang topik *schedule instability* adalah Steele [2] dengan mengidentifikasi beberapa penyebab dari ketidakstabilan pada suatu sistem MRP sehingga membuat sistem menjadi *nervous* (gugup). Perubahan pada *Master Production Schedule* (MPS), pesanan pelanggan (jenis, jumlah maupun pergeseran waktu) dan kesalahan peramalan permintaan adalah sebagian penyebab paling utama yang dibahas. Baker [3] kemudian melakukan simulasi *rolling schedules* (nilai peramalan permintaan diperbarui secara berkala) menggunakan algoritma Wagner Whitin. Hasil percobaan menunjukkan solusi mendekati nilai optimal untuk permintaan yang bersifat pasti dan tidak ada biaya terkait dengan *nervousness*. Carlson dkk. [4] memperhitungkan biaya perubahan jadwal dan menyisipkannya pada model Wagner Whitin sehingga dapat diaplikasikan pada permasalahan yang dibahas oleh Baker [3] sebelumnya.

Beragam metode telah diajukan untuk mengurangi dampak negatif dari *schedule instability*. Blackburn dkk. [5] mengevaluasi lima strategi berbeda melalui eksperimentasi untuk menangani *nervousness* pada sistem produksi. Hasil simulasi mengindikasikan bahwa adanya biaya tambahan terkait perubahan jadwal dan pembekuan sebagian periode dalam horison perencanaan mampu mengurangi efek negatif dari *schedule instability* secara lebih dominan. Sridharan dan La Forge [6] mempelajari dampak penggunaan *safety stock* (persediaan pengaman) terhadap *schedule instability*, biaya dan tingkat pelayanan. Kesimpulan yang didapat adalah bahwa penggunaan *safety stock* tidak selalu dapat mengurangi *schedule instability*. Temuan tersebut menjadi penting mengingat secara teoritis penggunaan *safety stock* dapat secara efektif mengurangi perbedaan antara peramalan dengan permintaan aktual. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan tingkat *safety stock* perlu kehati-hatian apabila tidak ingin berbalik menjadi penyebab *instabilitiy*. Metters dan Vargas [7] memperkenalkan *dual-buffer stock systems*, yaitu nilai persediaan pengaman memiliki dua tingkat yang berbeda

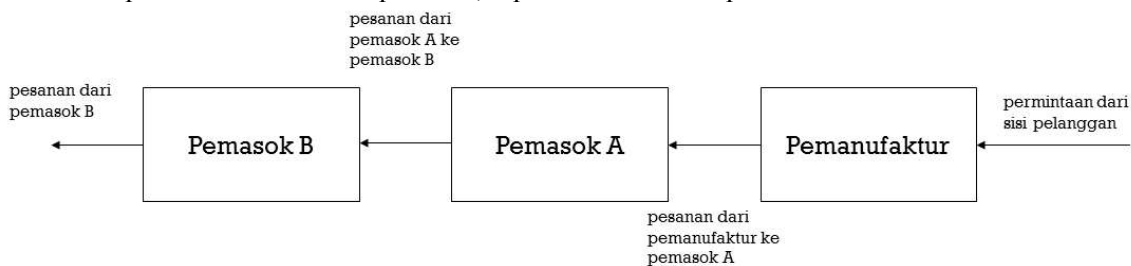
penggunaannya. Hasil akhir simulasi menunjukkan strategi ini melampaui kinerja *single buffer stock system* meskipun tidak selalu menghasilkan solusi optimal. Sedangkan Kazan dkk. [8] menyusun sejumlah model *lot-sizing* untuk mengurangi *nervousness* jadwal produksi, dimana model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) pada beberapa kasus mampu mengungguli model lain seperti Wagner Whitin, Silver Meal ataupun modifikasi dari keduanya. Penggunaan *common components* (komponen yang sama di struktur produk yang berbeda) dan akibatnya terhadap *schedule instability* juga telah diteliti sebelumnya [9,10]. Kelebihan strategi ini adalah perusahaan manufaktur dapat mencapai tingkat variasi yang tinggi dengan biaya yang rasional [10].

Mayoritas studi mengenai *schedule instability* yang telah disampaikan sebelumnya tidak membahas dalam konteks rantai pasok. Beberapa riset terakhir yang mulai mempertimbangkan *schedule instability* dalam konteks jaringan rantai pasok diantaranya adalah [1,11]. Pujawan [1] melakukan studi eksperimental pada sistem rantai pasok sederhana yang terdiri dari satu *buyer* dan satu *supplier*. Simulasi dilakukan dengan beragam kondisi operasional yang berbeda dan menghasilkan kesimpulan penting yakni pihak *supplier* mengalami tingkat *instability* yang lebih parah dibandingkan dengan pihak *buyer*. Sedangkan Pujawan dan Smart [11] memilih metodologi survei kepada praktisi industri di Indonesia untuk mengetahui fenomena *schedule instability* di dunia nyata. Hasil yang diperoleh menguatkan studi sebelumnya, bahwa faktor hubungan antara *buyer* dan *supplier* adalah signifikan berpengaruh terhadap *instability* dalam jaringan rantai pasok. Hal ini menegaskan bahwa permasalahan *schedule instability* tidak sekedar melibatkan faktor internal perusahaan.

Berangkat dari studi sebelumnya, penelitian ini menganalisis fenomena *schedule instability* pada sistem rantai pasok. Perbedaan dari studi sebelumnya [1,11] adalah pada jumlah entitas yang dipertimbangkan. Pada penelitian ini terdapat tiga entitas yakni satu pamanufaktur dan dua pemasok dimana mereka terangkai dalam satu jaringan rantai pasok multi eselon, yang pada penelitian sebelumnya hanya dua entitas saja. Selain itu efek dari penggunaan *safety stock* dan *common components* diamati dalam studi eksperimen untuk melihat perbedaan dampak pada masing-masing entitas.

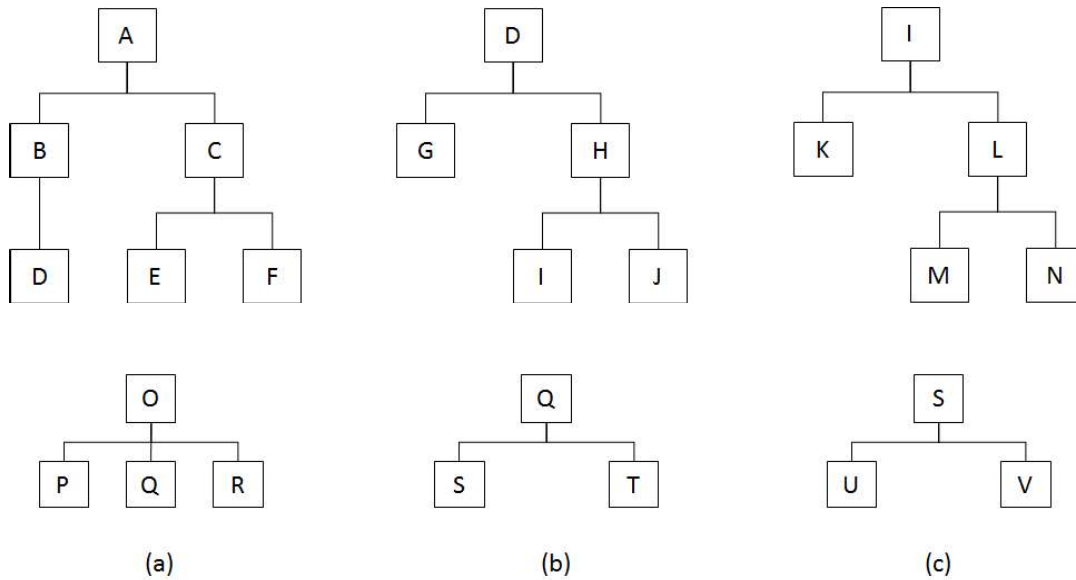
2. Pembahasan

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai desain eksperimen yang disimulasikan beserta analisis dari hasil simulasi. Pertama, konfigurasi rantai pasok yang diamati dalam penelitian ini adalah hubungan antara satu pamanufaktur dan dua pemasok, seperti diilustrasikan pada Gambar 1 di bawah ini:



Gambar 1. Konfigurasi Rantai Pasok yang Diamati

Kedua, deskripsi proses simulasi dalam rantai pasok multi eselon dijelaskan sebagai berikut. Pemanufaktur melakukan peramalan permintaan pelanggan yang nilainya dibangkitkan secara acak dalam distribusi normal ($\mu=100, \sigma=10$). Ketidakpastian permintaan diwujudkan dengan menambahkan nilai *error* yang juga berdistribusi normal ($\mu=0, \sigma=10$) pada hasil peramalan. Kemudian pamanufaktur mengkalkulasi kebutuhan komponen di tingkat bawah hingga menghasilkan rencana pemesanan yang dikirimkan kepada pemasok A. Selanjutnya pemasok A melakukan kalkulasi kebutuhan komponen di tingkat bawah struktur produk hingga menghasilkan rencana pemesanan yang dikirimkan kepada pemasok B. Tidak jauh berbeda, pemasok B juga menghitung kebutuhan komponen berdasarkan permintaan dari pemasok A hingga tingkat terbawah dari struktur produk. Pemanufaktur memproduksi *end item* A dan O, pemasok A menyuplai komponen D dan Q untuk pamanufaktur, dan pemasok B menyuplai komponen I dan S untuk pemasok A. Rasio penggunaan komponen terhadap produk akhir adalah 1:1. *Lead time* produk akhir adalah 2 periode, sedangkan untuk komponen 1 periode. Struktur produk secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Struktur Produk pada (a) Pemanufaktur, (b) Pemasok A, dan (c) Pemasok B

2.1. Faktor-faktor Eksperimental dan Skenario Simulasi

Untuk mengakomodir kondisi operasional yang berbeda, maka dipertimbangkan faktor-faktor eksperimental yaitu: ketidakpastian permintaan (berupa *error* dalam peramalan) dan struktur biaya (*time between order/TBO*) dari masing-masing pemanufaktur dan pemasok. TBO merupakan rasio dari *setup cost* dan *holding cost* yang menggambarkan banyaknya periode permintaan yang dapat dipenuhi melalui satu kali pemesanan. TBO sering diistilahkan sebagai *natural order cycle* dari suatu *item* produk.

Simulasi terdiri dari tiga skenario yaitu: (1) Skenario Normal, yaitu tidak adanya *common components* maupun *safety stock*; (2) Skenario *Commonality*, yaitu adanya *common components* yang digunakan pada struktur produk baik oleh pemanufaktur maupun pemasok; dan (3) Skenario *Safety Stock*, yaitu penggunaan persediaan pengaman pada *end item* yang dimiliki oleh pemanufaktur dan pemasok. Eksperimen faktorial penuh dilakukan dengan mempertimbangkan seluruh faktor dan direplikasi sebanyak 20 kali (hasil yang digunakan adalah nilai rata-rata), sehingga total menghasilkan 1080 sel eksperimen. Informasi lengkap ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Faktor-faktor Eksperimental yang Disimulasikan

Faktor	Level	Jumlah Level
Ketidakpastian permintaan	Standar Deviasi = 0.1	1
Skenario	<i>Normal, Commonality, Safety Stock</i>	3
TBO pemanufaktur (Tm)	Tm = 1, 3, 5	3
TBO pemasok (Ts)	Ts = 3, 6	2
Jumlah entitas	3	3
Jumlah <i>experimental cell</i>		54
Replikasi		20
Jumlah Eksperimental		1080

2.2. Indeks Schedule Instability

Nilai *schedule instability* (SI) dihitung dengan menggunakan persamaan yang diadaptasi dari Kadipasaoglu dan Sridharan [12], namun dengan modifikasi pada faktor pembagi menjadi sebagai berikut:

$$SI = \frac{\sum_{\forall k > 1} \sum_{j=0}^m \left| \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{t=M_k}^{M_{k-1}+N-1} |Q_{ijt}^k - Q_{ijt}^{k-1}| \right|}{\sum_{\forall k > 1} \sum_{j=0}^m \left[\sum_{i=1}^{n_j} \sum_t^{T-1} Q_{ijt}^{k-1} \right]} \tag{2}$$

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

2.3. Analisis Hasil Simulasi

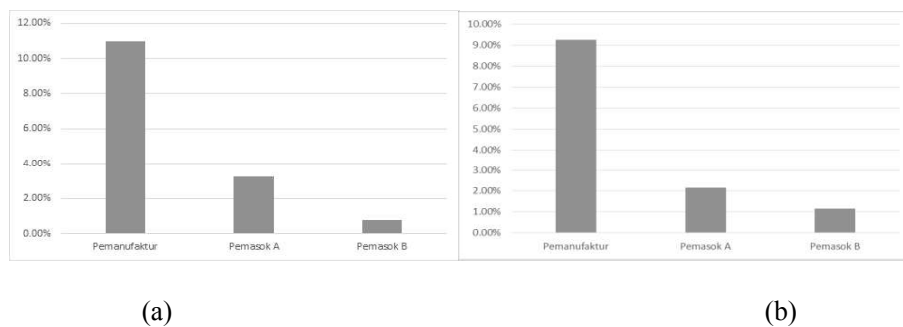
Simulasi dilakukan dengan menggunakan *rolling horizon* sebanyak 100 periode dengan panjang horison perencanaan adalah 8 periode. Nilai rata-rata SI untuk ketiga skenario dari 20 replikasi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Hasil Simulasi Model Berdasarkan Skenario

TBO		Skenario 1			Skenario 2			Skenario 3		
T_m	T_s	M	SA	SB	M	SA	SB	M	SA	SB
1	3	0.9892	4.0650	5.7650	0.9187	3.8011	5.6857	1.0297	4.1913	5.8556
3	3	1.6125	4.2213	5.6447	1.4118	3.9786	5.6103	1.7003	4.3959	5.7991
5	3	2.2700	4.7269	5.8807	1.9134	4.5233	5.8037	2.5434	4.8289	5.9512
1	6	0.9853	5.0835	6.1894	0.9206	5.0561	6.1551	1.0427	5.1399	6.2049
3	6	1.5737	5.1183	6.1205	1.4096	5.0799	6.1039	1.6912	5.1731	6.1680
5	6	2.2005	5.6090	6.3461	1.9027	5.5221	6.3124	2.6568	5.6893	6.3685

***Keterangan:** M (Pemanufaktur), SA (Pemasok A), SB (Pemasok B)

Terdapat beberapa hal yang dapat dibahas dari hasil simulasi tersebut. Pertama, pada seluruh skenario dan nilai kombinasi TBO, pemasok mengalami *schedule instability* yang lebih besar dibandingkan dengan pemanufaktur. Situasi ini menandakan bahwa ketidakpastian permintaan yang dialami oleh pemasok, pada akhirnya akan merambat ke entitas yang berada di hulu (*upstream*) jaringan rantai pasok. Hal ini mengkonfirmasi hasil pada penelitian sebelumnya [1]. Sehingga apabila ingin dicapai tingkat stabilitas pada rantai pasok, maka perlu ada koordinasi antara pemanufaktur dan pemasok dalam rangka meminimalisir ketidakpastian permintaan. Peramalan permintaan seharusnya tidak hanya menjadi beban pemanufaktur tapi dapat dilakukan kolaborasi yang sesuai dengan hak dan kewajiban masing-masing entitas. Kedua, penggunaan *common components* terbukti mampu mengurangi tingkat *schedule instability* pada semua entitas, meskipun efek terbesar dinikmati oleh pemanufaktur seperti yang tersaji pada Gambar 3. Hasil tersebut tidak berbeda dengan apa yang dicapai oleh penelitian sebelumnya [10]. Temuan ini dapat menjadi pendorong bagi manajemen perusahaan untuk merancang struktur produk yang mengakomodir adanya *common components*.



Gambar 3. (a) Persentase Reduksi *Schedule Instability* dengan *Commonality* dan (b) Persentase Peningkatan *Schedule Instability* akibat Penggunaan *Safety Stock*

Ketiga, penggunaan *safety stock* yang diharapkan mampu mengatasi ketidakpastian permintaan namun justru menyebabkan peningkatan *schedule instability*. Kondisi ini sesuai dengan apa yang dituliskan Sridharan dan La Forge [6] dimana perlu kehati-hatian dalam menentukan tingkat *safety stock* apabila tidak ingin berdampak negatif terhadap jadwal produksi.

3. Simpulan

Penelitian ini menganalisis fenomena *schedule instability* melalui studi eksperimental dengan mempertimbangkan faktor-faktor operasional dan strategi yang diharapkan mampu mengurangi dampak ketidakstabilan jadwal produksi. Hasil dari simulasi dapat disarikan pada poin-poin simpulan berikut ini:

1. Ketidakpastian permintaan dari hilir (*downstream*) rantai pasok, dalam hal ini pemanufaktur, akan turut dialami oleh entitas yang ada di hulu (*upstream*) yakni pemasok
2. Penggunaan *common components* dapat mereduksi tingkat *schedule instability* yang dialami oleh entitas dalam jaringan rantai pasok
3. Pemilihan tingkat *safety stock* perlu diperhitungkan secara cermat supaya tidak berakibat negatif terhadap kestabilan jadwal produksi

Daftar Pustaka

- [1]. I Nyoman Pujawan, 2008. "Schedule instability in a supply chain: an experimental study", *International Journal of Inventory Research*, Vol. 1, No. 1, pp.53-66.
- [2]. D.C. Steele, 1975. "The nervous MRP system: how to do battle", *Production and Inventory Management*, Vol. 16, No. 4, pp.83-89.
- [3]. Kenneth R. Baker, 1977. "An experimental study of the effectiveness of rolling schedules in production planning", *Decision Science*, Vol. 8, No. 1, pp.19-27.
- [4]. Robert C. Carlson, James V. Jucker, Dean H. Kropp, 1979. "Less nervous MRP systems: a dynamic economic lot-sizing approach", *Management Science*, Vol. 25, No. 8, pp.754-761.
- [5]. Joseph D. Blackburn, Dean H. Kropp, Robert A. Millen, 1986. "A comparison of strategies to dampen nervousness in MRP systems", *Management Science*, Vol. 32, No. 4, pp.413-429.
- [6]. V. Sridharan, R. Lawrence La Forge, 1989. "The impact of safety stock on schedule instability, cost and service", *Journal of Operations Management*, Vol. 8, No. 4, pp.327-347.
- [7]. Richard Metters, Vicente Vargas, 1999. "A comparison of production scheduling policies on costs, service level, and schedule changes", *Productions and Operations Management*, Vol. 8, No. 1, pp.76-91
- [8]. O. Kazan, R. Nagi, C.M. Rump, 2000. "New lot-sizing formulations for less nervous production schedules", *Computers & Operations Research*, Vol. 27, pp.1325-1345
- [9]. J.P. Su, Y.L. Chang, J.C. Ho, 2004. "Evaluation of component commonality strategies in supply chain environment", *Asia Pacific Management Review*, Vol. 9, No. 5, pp.801-821.
- [10]. Mary J. Meixell, 2005. "The impact of setup costs, commonality, and capacity on schedule stability: An exploratory study", *International Journal of Production Economics*, Vol. 95, pp.95-107
- [11]. I Nyoman Pujawan, Alison U. Smart, 2012. "Factors affecting schedule instability in manufacturing companies", *International Journal of Production Research*, Vol. 50, No. 8, pp.2252-2266
- [12]. S.N. Kadipasaouglu, V. Sridharan, 1995. "Alternative approaches for reducing schedule instability in multistage manufacturing under demand uncertainty", *Journal of Operations Management*, Vol. 13, pp.193-211.