

Simulasi Perbandingan Efek Penerapan Metode Kanban dan ConWIP pada Manufaktur

T. Yuri M. Zagloel, Dyah Ariningtyas H. P., Romadhani Ardi
Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok, 16424, Indonesia
E-mail : yuriza@indosat.net.id, dyaharin_ti03@yahoo.com, romadhani_ardi@yahoo.com

Intisari

Persaingan global telah menyebabkan bertambahnya jumlah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur maupun jasa. Hal ini menuntut setiap perusahaan untuk mengembangkan strategi dan memberikan keunggulan kompetitif (competitive advantage) bagi pelanggannya. Cara untuk mendapatkan kedua hal tersebut adalah dengan meningkatkan efisiensi dan efektivitas produksi. Masalah umum yang sering terjadi dalam perusahaan manufaktur adalah terjadinya variasi antara master production schedule (MPS) dengan jumlah produksi sebenarnya dan penumpukan work-in-process (WIP) dalam jumlah yang besar (bottleneck) akibat kurang baiknya sistem pengontrolan produksi. Permasalahan yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah terjadinya penumpukan WIP yang diakibatkan banyaknya variasi dari lead-time. Hal ini juga dapat mengakibatkan penambahan jumlah WIP dalam volume yang cukup besar sehingga dapat mengurangi fleksibilitas sistem produksi. Penelitian ini bertujuan mengukur performa dari metode Kanban dan ConWIP, kemudian melakukan perbandingan di antara keduanya, pada sistem manufaktur dengan software Promodel. Hasilnya, metode ConWIP lebih unggul dalam mencapai level pengerjaan (throughput) yang maksimal dengan WIP yang minimal.

Kata kunci: Kanban, Conwip, Sistem Produksi, Simulasi Promodel

Pendahuluan

Masalah umum yang biasa terjadi dalam perusahaan manufaktur adalah terjadinya perbedaan antara *master production schedule* (MPS) dengan jumlah produksi sebenarnya. Hal ini terjadi karena adanya kejadian-kejadian tak terduga yang menyebabkan tidak tercapainya target produksi dari MPS. Kejadian-kejadian tersebut antara lain adalah mesin *breakdown*, kerusakan alat, ketidakhadiran pekerja, kelangkaan material, *scrap*, *rework*, dan sebagainya.

Kejadian-kejadian tak terduga tersebut memang tidak dapat dicegah, namun demikian dapat diantisipasi dengan adanya kompensasi. Dalam manufaktur, bentuk kompensasi guna menjaga agar proses produksi dapat terus berlangsung adalah dengan menggunakan *work in process* (WIP). WIP dapat berupa *part*, kanban, atau waktu. Dengan tersedianya material untuk diproses maka mesin dapat terus beroperasi sehingga tidak terjadi *idle* dan utilitas mesin secara keseluruhan akan optimal.

Selain itu, permasalahan yang seringkali timbul di lantai pabrik akibat kurang baiknya sistem pengontrolan produksi adalah: *lead-time* proses tidak selalu sesuai dengan alokasi waktu pengerjaan dan waktu tunggu yang lebih lama daripada waktu prosesnya sehingga terjadi penumpukan WIP dalam jumlah besar (*bottleneck*).

Dengan banyaknya proses yang berlangsung dalam lini produksi tersebut, akan semakin banyak variasi *lead time* yang akan mengakibatkan bertambah lamanya *cycle time*, sehingga rata-rata waktu pengerjaan (*throughput time*) menjadi tidak efisien. Hal ini juga dapat mengakibatkan penambahan jumlah WIP dalam volume yang cukup besar sehingga dapat mengurangi fleksibilitas sistem produksi.

Penentuan WIP sangat tergantung dari sistem kontrol *buffer* yang digunakan perusahaan. Beberapa sistem pengontrolan produksi jenis tarik sudah dilakukan untuk mencapai efektifitas dalam lini produksi yang mengontrol sistem buffer, yaitu Kanban dan ConWIP.

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah keinginan untuk mengetahui keefektifan penerapan metode Kanban dan ConWIP pada sistem manufaktur untuk mencapai *throughput* yang maksimum dengan WIP yang minimum menggunakan software simulasi Promodel 6.

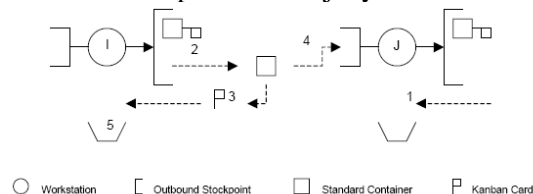


Metodologi

1. Sistem Kanban

Dalam sistem kanban, proses produksi dipicu oleh permintaan. Ketika komponen rakit dipindahkan dari titik tempat penyimpanan akhir, stasiun kerja terakhir dalam lini diberikan wewenang untuk menggantikan dengan komponen baru. Stasiun kerja ini kemudian mengirimkan sinyal otorisasi ke stasiun kerja sebelumnya untuk menggantikan komponen yang baru saja digunakan. Proses ini berkelanjutan hingga hulu dari lini produksi untuk mengisi kembali kekurangan/kekosongan dengan meminta material dari stasiun kerja sebelumnya. Untuk mengontrol perpindahan informasi, operator membutuhkan komponen dan juga sinyal otorisasi, yang berupa kartu untuk dapat bekerja.

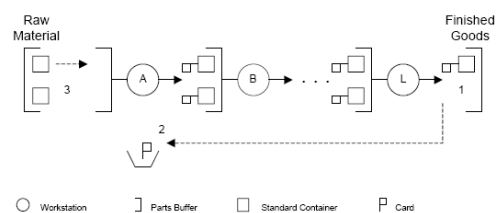
Gambar 1 menunjukkan sistem kanban yang menggunakan satu titik tempat penyimpanan dan hanya membutuhkan satu kartu untuk setiap stasiun kerjanya.



Gambar 1. Lini produksi menggunakan Kanban satu/single-kartu (Sumber:Hochreiter,1999)

2. Sistem ConWIP

ConWIP merupakan singkatan dari *Constant of WIP*, dimana metode ini merupakan gabungan dari sistem tarik dan dorong. ConWIP mempunyai aliran proses ganda seperti pada Kanban, namun ConWIP hanya menggunakan satu set kartu global yang mengontrol total WIP dimanapun di dalam sistem. Material dapat memasuki sistem ConWIP hanya jika ada permintaan, dan material bahan baku akan menerima kartu otorisasi yang memungkinkan untuk dapat memasuki sistem; kartu otorisasi yang sama untuk penarikan material sehingga produksi selesai. Ketika produk final yang sudah jadi meninggalkan sistem, kartu tersebut akan dipindah untuk mengizinkan masuknya material yang baru ke dalam sistem. Total WIP sistem adalah konstan dengan jumlah kartu yang membatasi jumlah pekerjaan dimanapun di dalam sistem. Ketika material bahan baku sudah diizinkan untuk memasuki ConWIP “black box”, aliran material akan bergerak bebas seperti pada sistem dorong. Gambar 2 menunjukkan lini produksi dengan menggunakan sistem ConWIP.



Gambar 2. Lini produksi menggunakan sistem conWIP (Sumber:Hochreiter,1999)

3. Asumsi

Beberapa variabel yang diasumsikan untuk kedua model ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem manufaktur

Terdiri dari 4 stasiun kerja yang mempunyai waktu proses yang sama berdasarkan distribusi lognormal dengan FIFO

2. Demand Constant Rate

Permintaan merupakan konstan yang terdistribusi secara normal dimana akan selalu ada permintaan

3. Downtimes

Merupakan waktu dimana mesin atau operator tidak dapat beroperasi akibat adanya *setup time*, *failure* dan *repair time*. Downtimes pada model ini terdistribusi secara Triangular



4. Jenis kontrol kartu (*single-card*)
 Dengan menggunakan sistem *single-card*, akan dapat lebih mudah untuk dimengerti dan diaplikasikan, dimana kartu yang sama digunakan sebagai penggerak aliran material dan juga sebagai perintah produksi.
5. Jumlah Kartu yang dibutuhkan untuk mengontrol WIP
 Jumlah kartu ditentukan dengan rumus :

Kanban

$$kartu = \frac{\bar{D} \times L + W}{2a} \dots\dots\dots(1)$$

\bar{D} = permintaan tiap menitnya (4,5 buah/menit)
 L = *lead time* (10 menit)
 W = *bufferstock* yang diasumsikan merupakan 10% dari $\bar{D} \times L$
 a = kapasitas kontener (1)

ConWIP

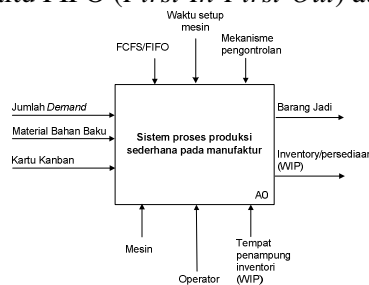
$$TH(w) = \frac{w r_b}{w + w_0 - 1} \dots\dots\dots(2)$$

r_b = rata-rata *bottleneck* pada stasiun kerja setiap menitnya.
 w_0 = level WIP untuk lini dengan *throughput* yang maksimum
 Jumlah kartu kanban yang beredar dalam sistem kedua metode proses produksi adalah sebanyak 25 buah, dengan alokasi *buffer* yang berbeda-beda pada setiap lokasinya.

6. *Arrival Rate*
Arrival rate atau rata-rata kedatangan akan pemesanan pesanan tiap menitnya yang terdistribusi secara log normal dengan rata-rata 0.98 menit dan standar deviasi sebesar 0.02 menit.
7. Waktu proses
 Untuk dapat menyamakan kondisi kedua metode menggunakan CRN dan juga distribusi log normal dengan rata-rata 0.98 menit dan standar deviasi sebesar 0.02 menit.
8. Dalam keadaan *steady-state*
 Simulasi yang dilakukan sudah dalam keadaan *steady-state*, dimana variabel yang ada sudah konstan, sehingga layak dalam pengambilan keputusan

4. Peta Konsep Model

Input terdiri atas material bahan baku, jumlah permintaan, dan juga kartu kanban. *Output* terdiri atas barang jadi dan juga *inventory*/persediaan (bisa berupa WIP maupun inventori barang jadi). Sedangkan mekanisme yang ada di dalam sistem ini adalah mesin, operator dan juga tempat penampung inventori ataupun WIP. Yang menjadi pengontrol dalam sistem ini adalah mekanisme pengontrolan, yaitu mekanisme kanban dan conWIP, waktu *setup* dan *downtime* mesin dan juga mekanisme pengantaran barang, yaitu FIFO (*First-In-First-Out*) atau FCFS (*First-Come-First-Serve*).



Gambar 3. IDEFO proses produksi sederhana

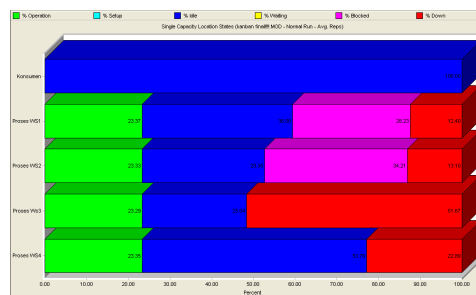
Model akan dijalankan dalam 10 replikasi. Hasilnya yang akan diukur adalah nilai maksimum dari variabel *throughput* dan nilai minimal dari total dari WIP pada setiap stasiun kerja. Waktu *warm*

up sebagai waktu berjalannya simulasi sebelum simulasi mulai dihitung ditetapkan 100 menit. Waktu simulasinya adalah selama 8 jam. Kemudian selama model dicobakan dan di-update, dilakukan uji kecukupan data pada nilai-nilai yang menjadi faktor pengukuran. Uji kecukupan data yang digunakan adalah uji kecukupan data sampel dengan tingkat presisi $\pm 10\%$ dan *confidence level* 95%.

Hasil dan Analisis

1. Analisis Model Awal Sistem Kanban

Dari hasil simulasi didapatkan *throughput* sebesar 147.97 unit dengan jumlah maksimum *buffer* pada WIP1 dan WIP2 sebanyak 5 unit dan 6 unit untuk WIP3. Sedangkan rata-rata jumlah *buffer* pada WIP1, WIP2, WIP3, dan persediaan barang jadi adalah 5, 4, 2, dan 1 unit. Jumlah *buffer* yang berada di dalam sistem tersebut pada saat simulasi dihentikan berjumlah 10, dimana WIP1 dan WIP2 berjumlah 4 unit, sedangkan WIP3 berjumlah 2 unit. Berikut ini adalah grafik penggunaan lokasi dengan kapasitas satu atau *single*, yaitu pada proses WS1, proses WS2, proses WS3 dan juga proses WS4.



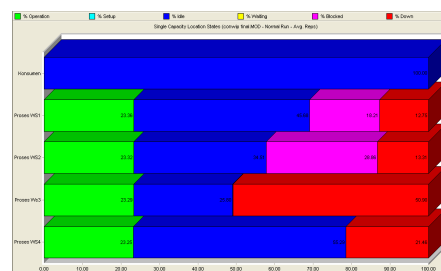
Gambar 4. Persentase kondisi penggunaan lokasi dengan kapasitas satu metode kanban

Dari grafik dapat dilihat bahwa waktu yang terpakai akibat adanya *downtime* pada WS3 adalah sebesar 51.67%, sehingga mengakibatkan adanya *linestop* atau proses yang terhambat atau terjadi *bottleneck*. *Bottleneck* tersebut mengakibatkan persentase waktu menganggur pada WS2 lebih besar jika dibandingkan dengan waktu penyumbatannya. Hal ini akan mengakibatkan adanya penyumbatan pada mesin WS1 yang melakukan proses sebelum proses WS2 sebesar 28.23% dan ini terbukti mempengaruhi performa atau kinerja dari lini produksi tersebut.

2. Analisis Model Awal Sistem ConWIP

Throughput yang dihasilkan pada model awal ConWIP sebesar 146.90 unit dengan jumlah maksimum *buffer* pada WIP1 sebanyak 6, WIP2 sebanyak 5 unit, 6 unit untuk WIP3 dan 1 unit untuk jumlah pada gudang barang jadi. Sedangkan rata-rata jumlah *buffer* pada WIP1, WIP2 dan WIP3 adalah sebesar 4, 4 unit, 1 unit dan 1 untuk *buffer finish good* atau persediaan barang jadi. Untuk total jumlah *buffer* yang berada di dalam sistem tersebut pada saat simulasi dihentikan berjumlah 9, dimana WIP1 adalah 4 dan WIP2 berjumlah 4 unit, sedangkan WIP3 berjumlah 1 unit.

Berikut ini adalah grafik penggunaan lokasi dengan kapasitas satu *single*, yaitu pada proses WS1, proses WS2, proses WS3 dan juga proses WS4.



Gambar 5. Persentase kondisi penggunaan lokasi dengan kapasitas satu metode conwip

Dari grafik dapat dilihat bahwa waktu yang terpakai akibat adanya *downtime* pada WS3 adalah sebesar 50.90%. sehingga mengakibatkan adanya. Kemudian, persentase waktu menganggur

pada WS2 lebih besar jika dibandingkan dengan waktu penyumbatannya. Hal ini akan mengakibatkan adanya penyumbatan pada mesin WS1 yang melakukan proses sebelum proses WS2 sebesar 28.86% dan sama seperti pada metode kanban, hal ini terbukti mempengaruhi performa atau kinerja dari lini produksi tersebut.

3. Eksperimen 1: ConWIP Dengan Perbaikan Tata Letak

Pada tahap ini diasumsikan bahwa jarak jalur aliran informasi berupa kartu kanban dari gudang barang jadi menuju proses stasiun kerja 1 (WS1) untuk dapat menarik bahan baku dan memulai prosesnya berkurang menjadi hanya 11.71 m dari 46.84 m. Diasumsikan pada sistem ini bahwa tata letak mesin diubah sedemikian rupa sehingga jarak pengantaran kartu yang berasal dari *kanban storage* 1 menuju *kanban storage* 2 sama dengan jarak gudang barang jadi dengan stasiun kerja 4 pada metode Kanban, yaitu menjadi hanya 11.72 m. Sedangkan untuk kecepatan aliran kartu kanban baik pada metode kanban maupun conwip yang belum mengalami perubahan tata letak adalah sama, yaitu 100 m tiap menitnya. Tujuan dari perubahan tata letak ini adalah untuk mengetahui dampak kecepatan aliran informasi terhadap produktivitas secara keseluruhan. Hasil eksperimen 1 tertuang pada tabel 1.

4. Eksperimen 2: Mengubah Waktu *Downtime* pada WS3

Setelah melakukan pengujian pada model tahap awal, diketahui bahwa lama waktu *downtime* mesin pada stasiun kerja 3 terlalu lama, yaitu sebesar 51.67% untuk metode kanban dan 50,90% untuk metode conWIP. Oleh karena itu, pada eksperimen ini, waktu *downtime* pada mesin stasiun kerja 3 diubah dari 20 menit menjadi 10 menit.

Selain itu, *arrival rate*, dan waktu proses pada setiap mesin pada model sebelumnya hanya menggunakan distribusi lognormal tanpa memperhatikan *stream* pada saat membuat *random number* sebagai *input* dari distribusi tersebut. Hal ini menyebabkan kesamaan pada data yang dihasilkan pada setiap replikasi dan data menjadi sangat tergantung (*dependent*) dengan variabel input dan juga hasil pada replikasi sebelumnya. Untuk mengeliminir hal tersebut, digunakanlah *random stream* yang bertujuan untuk dapat menghasilkan data yang *independent* dan tidak terlalu terpengaruh pada hasil replikasi sebelumnya. Setelah mengidentifikasi nilai dari *stream*, diperlukan juga identifikasi nilai dari *seed* yang berfungsi untuk menentukan nilai awal *stream* sebelum melakukan *random number*. Pada model ini terdapat 5 *stream* dengan nilai 10, 15, 20, 30 dan 5. *Stream* 5 dengan nilai *seed* 5 digunakan untuk kedatangan permintaan, *stream* 1, 2, 3 dan 4 dengan nilai *seed* 10, 15, 20 dan 30 digunakan untuk waktu proses pada setiap stasiun kerja.

5. Eksperimen 3: Mengubah Waktu *Downtime* pada WS2

Dalam eksperimen ini, perubahan waktu *downtime* pada setiap proses pada stasiun kerja disamakan, yaitu satu menit. Kecuali pada stasiun kerja 2, dengan waktu *down* selama 5 menit. Hal ini mengakibatkan *bottleneck* hanya terjadi pada proses WS1. Hasil eksperimen 3 tertuang pada tabel 1.

6. Eksperimen 4: Menggunakan SimRunner

Setelah melakukan simulasi pada metode Kanban dan conWIP dengan menggunakan kartu kanban yang sesuai dengan perhitungan sejumlah 25 buah, dilakukanlah optimasi menggunakan aplikasi tambahan bagi Promodel yang dinamakan SimRunner, yang bertujuan untuk mencari jumlah WIP yang sesuai dengan memaksimalkan *throughput*. Fungsi aplikasi ini adalah melakukan eksperimen mencari keadaan optimal bagi *variable*, *location*, atau lainnya dalam model yang dibuat melalui beberapa kali eksperimen dengan mengubah-ubah satu atau lebih faktor dalam model.

Nilai *throughput* pada metode 4 (pengolahan data menggunakan simRunner) didapatkan dengan mengalikan objective value dengan rata-rata *throughput*, yaitu 3.2 menit/unit untuk Kanban dan 3.14 menit/unit untuk conWIP.



Tabel I. Hasil perbandingan Kanban dan ConWIP

		Kanban			ConWIP					Kanban			ConWIP		
Eksperimen		1 : model aw al			1 : model aw al			Eksperimen		2			2		
Proses + downtime :		proses	dow ntime	bottleneck	proses	dow ntime	bottleneck	Proses + downtime :		proses	dow ntime	bottleneck	proses	dow ntime	bottleneck
WS1		23,37%	12,40%	28,23%	23,36%	12,75%	18,21%	WS1		30,00%	18,46%	7,28%	31,37%	16,67%	2,15%
WS2		23,33%	13,01%	34,21%	23,32%	13,31%	28,86%	WS2		30,11%	17,71%	12,34%	31,44%	17,71%	7,21%
WS3		23,39%	51,67%	0,00%	23,29%	50,90%	0,00%	WS3		28,89%	34,75%	0,00%	30,88%	31,25%	0,00%
WS4		23,35%	22,89%	0,00%	23,25%	21,46%	0,00%	WS4		29,55%	31,46%	0,00%	30,94%	31,04%	0,00%
Inventory:								Inventory:							
WP 1		5			4			WP 1		5			6		
WP 2		4			4			WP 2		5			2		
WP 3		2			1			WP 3		9			2		
Buffer FG		1			1			Buffer FG		1			1		
Total WIP		12			10			Total WIP		20			11		
Throughput rate (menit)		2,94			2,97			Throughput rate (menit)		3,14			3,2		
Throughput(unit)		148			147			Throughput(unit)		190			188		
		Kanban			ConWIP					Kanban			ConWIP		
Eksperimen		3			3			Eksperimen		4 : sinrunner			4 : sinrunner		
Proses + downtime :		proses	dow ntime	bottleneck	proses	dow ntime	bottleneck	Proses + downtime :		proses	dow ntime	bottleneck	proses	dow ntime	bottleneck
WS1		35,54%	3,90%	9,38%	35,51%	3,71%	2,85%	WS1		30,00%	18,46%	7,28%	31,37%	16,67%	2,15%
WS2		35,44%	20,10%	0,00%	35,53%	19,80%	0,00%	WS2		30,11%	17,71%	12,34%	31,44%	17,71%	7,21%
WS3		35,44%	4,00%	0,00%	35,46%	3,96%	0,00%	WS3		28,89%	34,75%	0,00%	30,88%	31,25%	0,00%
WS4		35,47%	3,79%	0,00%	35,34%	3,94%	0,00%	WS4		29,55%	31,46%	0,00%	30,94%	31,04%	0,00%
Inventory:								Inventory:							
WP 1		6			6			WP 1		13			13		
WP 2		2			2			WP 2		13			13		
WP 3		2			2			WP 3		7			7		
Buffer FG		1			1			Buffer FG		1			1		
Total WIP		11			11			Total WIP		34			34		
Throughput rate (menit)		0,05			2,75			Throughput rate (menit)		3,14			3,2		
Throughput(unit)		221,6			223,6			Throughput(unit)		54			144		

Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa, pada kondisi awal maupun ketika sudah menggunakan mengalami perubahan pada *downtime* hanya pada WS3 saja, ataupun perubahan *downtime* pada WS2, metode Kanban dan conWIP tidak memberikan hasil yang berbeda jauh, baik dari segi *throughput* maupun jumlah total WIP pada setiap stasiun kerjanya. Jika dilihat dari jumlah keseluruhan WIP pada model awal dapat disimpulkan bahwa metode ConWIP lebih unggul jika dibandingkan Kanban, dimana jumlah total *inventory* pada *buffer*-nya lebih kecil. Namun perbandingan *throughput* pada model awal hanya mempunyai satu hingga dua unit selisih saja, sehingga tidak terlalu signifikan perbedaannya.

Sedangkan pada penggunaan fungsi SimRunner, dapat disimpulkan bahwa metode ConWIP lebih unggul jika dilihat dari segi *throughput* yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Berkley, B. J. 1991. Tandem Queues and Kanban-Controlled Lines. *International Journal of Production Research*, vol.29, no.10.
- Gstettner, S., Kuhn, H. 1996. Analysis of production control systems Kanban and CONWIP. *International Journal of Production Research*, vol.34, no.11.
- Hochreiter, T. Alfons. 1999. *A Comparative Simulation Study of Kanban, ConWIP, and MRP Manufacturing control systems in a Flowshop*. Thesis, The University of Florida, Florida.
- Lloyd, J. Taylor. 2002. A comparison of buffer management system and associated equipment utilizations, Volume 51, Number 6.
- Peters, Smith, Medeiros, Rohrer, eds. Understanding the Fundamentals of Kanban and ConWIP pull system using simulation, *Winter Simulation Conference*, 2001.
- Spearman, M.L., Woodruff, D.L. and Hopp, W.J. 1990. CONWIP: a pull alternative to Kanban. *International Journal of Production Research*, 28(5), page 147-171.
- Takahashi, K., Morikawa, K., and Chen, Y. 2007. Comparing Kanban Control with Theory of Constraints using Markov Chains. *International Journal of Production Research*.
- Takahashi, K., and Nakamura, N. 2004. Push, Pull, or hybrid Control in Supply Chain Management. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, vol. 17, no.2, 126-140.

