

KOMPARASI SISTEM MANUFAKTUR *PUSH* DAN *PULL* MELALUI PENDEKATAN SIMULASI

Eric Wibisono

Laboratorium Sistem Produksi
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Surabaya
E-mail: ewibisono@ia.ubaya.ac.id

ABSTRAK

Sistem manufaktur yang umumnya dikategorikan menjadi sistem *push* dan *pull* sering mengundang pertanyaan: “Seberapa jauh perbedaan dari kedua sistem tersebut ada?” Banyak penelitian telah dilakukan namun jawaban yang lugas atas pertanyaan tersebut sulit diperoleh. Kesulitan ini umumnya berakar dari beragamnya definisi sistem *push* dan *pull* itu sendiri serta variasi dari kompleksitas suatu sistem manufaktur.

Makalah ini mencoba melihat perbedaan antara kinerja sistem *push* dan *pull* dalam suatu model sederhana yang terdiri dari 4 prosesor serial dengan buffer yang diletakkan di antara masing-masing prosesor tersebut. Variasi yang dilakukan adalah pada setting beban kerja sistem (padat dan ringan) dan ukuran buffer dengan kinerja yang diukur adalah utilisasi mesin, jumlah output dan rata-rata waktu tinggal job. Pendekatan yang dipakai adalah simulasi dengan alat bantu software ProModel. Dari eksperimen yang dilakukan didapatkan hasil bahwa ukuran buffer sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem. Secara khusus juga dibuktikan bahwa pada ukuran buffer besar, ternyata antara sistem *push* dan *pull* tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

Kata kunci: sistem *push-pull*, simulasi, *buffer*.

ABSTRACT

Manufacturing systems that are often classified as push and pull often invite question: “How far do the differences between those two systems exist?” Many researches have been carried out but succinct answer to the above question is always difficult to reach. The difficulty roots from the variety of definition of the push and pull systems itself and also from the variety of complexity of a manufacturing system.

This paper attempts to study the differences in performance between push and pull systems in a relatively simple model that consists of 4 serial processors with buffers located between these processors. Variations being modelled is on the setting of the system’s load (high and low) and the buffer size with performance being measured include machine utilization, number of outputs and mean flow time of jobs. The approach used is simulation using ProModel software as the tool. From the experiments it can be derived that buffer size turns out to be a very critical factor in system performance. Moreover, it is also proved that when the buffer size is large, push and pull systems do not differ significantly.

Keywords: *push-pull systems, simulation, buffer.*

1. PENDAHULUAN

Sejak kemunculan konsep *just-in-time* (JIT) *production* di Jepang, sistem manufaktur kemudian seringkali dikategorikan menjadi 2 kutub yaitu *push* dan *pull*. JIT yang dianggap sebagai representasi dari sistem manufaktur *pull* umumnya dikontradiksikan dengan sistem manufaktur *push* yang sering diasosiasikan dengan sistem *material requirements planning* (MRP). Kedua kutub ini dianggap bertolak belakang karena satu perbedaan mendasar yaitu bahwa sistem manufaktur *push* membutuhkan ketersediaan inventori untuk mendukung kelancaran proses produksi, sedangkan sistem manufaktur *pull* menghendaki ketiadaan inventori karena dipandang sebagai beban biaya. Banyak penelitian telah dilakukan untuk membandingkan kedua sistem tersebut dan seringkali argumen-argumen yang berbeda muncul dalam pembahasan baik dalam hal definisi maupun kinerja.

Kenyataannya, tidak jarang suatu sistem manufaktur berskala besar menerapkan kedua pendekatan di atas secara bersamaan pada subsistem-subsistem yang lebih kecil di dalamnya. Toyota misalnya, yang sering diacu sebagai referensi sistem *pull* klasik, menerapkan sistem *push* pada proses pembuatan mobil berdasarkan analisis pasar dan penetapan target produksi. Tetapi pada proses perakitan di dalamnya diterapkan sistem *pull* untuk memastikan ketersediaan komponen-komponen subassembly. Sebaliknya pada sistem-sistem MRP tidak jarang pula terdapat mekanisme *pull* pada aliran informasi dalam prosesnya.

Karena itu wajar jika pertanyaan “apakah sesungguhnya sistem manufaktur *push* dan *pull* berbeda?” seringkali diajukan dalam berbagai penelitian. Mengingat variasi berbagai sistem manufaktur di dunia ini yang sangat beragam, jawaban yang lugas atas pertanyaan tersebut sulit diperoleh. Jika penerapan sistem *pull* kurang begitu berhasil tak jarang yang dianggap sebagai penyebabnya adalah pemahaman terhadap filosofi penerapan JIT yang lemah. Sementara itu pada implementasi sistem *push* yang berkinerja buruk, yang kerap dituding sebagai penyebab adalah masalah inventori.

Makalah ini mencoba mempelajari perbedaan antara sistem manufaktur *push* dan *pull* dari suatu setting rantai produksi yang memiliki karakteristik tertentu. Sistem yang diamati adalah suatu proses serial sederhana yang terdiri dari 4 prosesor dengan buffer-buffer yang terletak di antara masing-masing prosesor. Parameter yang diamati adalah utilisasi mesin, jumlah output, dan rata-rata waktu tinggal job (mean flow time) dan pendekatan yang dipakai adalah simulasi menggunakan alat bantu software ProModel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat sejauh mana terdapat perbedaan antara sistem manufaktur *push* dan *pull*, dan pada kondisi bagaimana perbedaan-perbedaan tersebut terjadi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sulit didapatkannya kesimpulan yang umum dan uniform dari berbagai penelitian yang membandingkan sistem manufaktur *push* dan *pull* sebagian besar disebabkan karena perbedaan definisi dari keduanya yang kurang jelas. Venkatesh (1996) memandang perbedaan antara keduanya sekedar sebagai paradigma operasional. Pada sistem *push*, sebuah mesin melakukan proses produksi tanpa harus menunggu permintaan dari mesin yang akan melakukan proses berikutnya. Sebaliknya pada sistem *pull*, sebuah mesin

melakukan proses produksi hanya jika ada permintaan dari mesin yang akan melakukan proses selanjutnya. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Goddard dan Brooks (1984), sistem *push* dan *pull* diasosiasikan dengan aliran informasi. Mereka mendefinisikan *push* sebagai aksi untuk mengantisipasi kebutuhan, sedangkan *pull* sebagai aksi untuk melayani permintaan. Penelitian lain oleh Villa dan Watanabe (1993) selanjutnya menggambarkan kaitan sistem *push* dengan proses manajemen dalam upaya mengurangi risiko stock-out, sedangkan sistem *pull* sebagai suatu proses produksi yang mengalir dengan ekspektasi inventori sekecil mungkin. Perbedaan definisi-definisi ini sedikit banyak mempengaruhi karakteristik dari penelitian-penelitian yang disebutkan di atas, yang pada akhirnya juga berpengaruh pada kesimpulan.

Di antara kedua sistem tersebut sebenarnya terdapat suatu pendekatan lain yang dianggap sebagai penengah, yaitu theory of constraints (TOC) dengan perangkat lunaknya optimized production technology (OPT) yang dikembangkan oleh Goldratt (1993). Namun filosofi yang mendasari sistem berbasis TOC melihat sistem manufaktur dari skala makro dengan berupaya mencari terlebih dahulu bottleneck dari sistem, untuk kemudian pada titik tersebut dilakukan berbagai eksploitasi sehingga unjuk kerja dari seluruh sistem meningkat. Hal ini sedikit berbeda dengan pendekatan *push* dan *pull* yang dapat memberi perhatian baik pada skala makro maupun mikro (hubungan antara dua stasiun kerja) sehingga perbandingan langsung antara ketiganya meskipun mungkin tetapi agak sulit dilakukan.

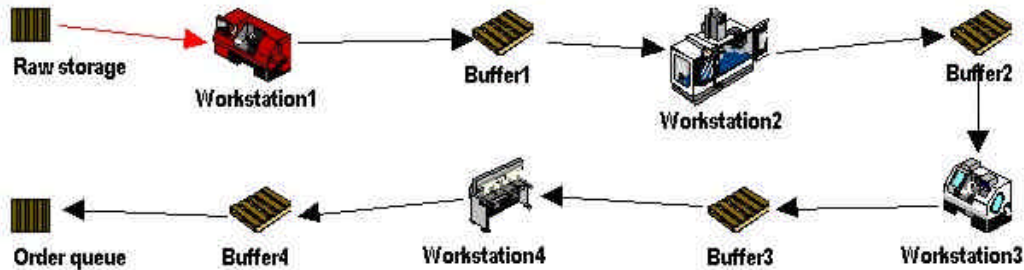
Dari sisi metode juga terdapat beberapa pendekatan. Bonney *et al.* (1996) mencoba menggunakan Petri net untuk menggambarkan pemodelan sistem yang diteliti. Fogarty (1991) menggunakan model rantai Markov sederhana untuk suatu problem dengan skala kecil. Pada sistem dengan skala besar, pendekatan yang paling banyak dipakai adalah simulasi. Miltenburg (1997) membandingkan sistem manufaktur berbasis JIT dan TOC yang dipadukan dengan MRP. Miltenburg menganggap MRP sebagai suatu sistem pasif karena itu tidak membandingkannya secara langsung dengan JIT. Studi perbandingan lain menggunakan simulasi dilakukan oleh Bonney *et al.* (1999) saat membandingkan sistem *push* dan *pull* yang di dalamnya mengandung proses batch dengan memperhitungkan waktu setup. Ide tersebut sebenarnya patut dipertanyakan mengingat suatu sistem *pull* murni justru cenderung menghindari adanya waktu setup.

Berbeda dari penelitian-penelitian di atas, pada penelitian ini perbandingan sistem *push* dan *pull* dilakukan pada variasi setting beban kerja sistem dengan load padat dan rendah. Selain itu yang lebih penting adalah digunakannya buffer penyangga di antara tiap stasiun kerja yang diduga memiliki peranan berbeda pada kinerja masing-masing sistem. Detail sistem selengkapanya diuraikan berikut ini.

3. DESAIN EKSPERIMEN

Model sistem produksi yang disimulasikan dalam penelitian ini merupakan model yang relatif sederhana dengan 4 stasiun kerja dan 4 buah buffer penyangga. Tiga buffer penyangga yang pertama diletakkan di antara stasiun-stasiun kerja yang ada sedangkan buffer terakhir dipakai untuk mengantisipasi permintaan yang datang dari luar sistem (berfungsi seperti gudang barang jadi). Sistem produksi yang disimulasikan merupakan sistem produksi flow shop murni dan produk yang dibuat hanya satu jenis sehingga tidak diperlukan proses setup. Simplifikasi ini dilakukan agar perbedaan karakteristik antara

sistem manufaktur *push* dan *pull* yang dilukiskan dalam model lebih mudah dilihat dan dianalisis. Alur proses produksi dapat dilihat pada Gambar 1 di mana selain 4 stasiun kerja dan 4 buah buffer juga terdapat gudang bahan baku (raw storage) dan satu buah lokasi tambahan (order queue) sebagai tempat transit sementara bagi permintaan yang datang dan belum terpenuhi.



Gambar 1. Model Sistem Produksi yang Disimulasikan

Order datang ke dalam sistem dengan waktu antar kedatangan memiliki distribusi eksponensial. Mean dari distribusi waktu antar kedatangan ini dicoba pada 2 level yaitu 10 menit dan 25 menit. Level 10 menit dimaksudkan untuk memberikan load yang padat bagi sistem sedangkan sebaliknya untuk level 25 menit akan menyebabkan load yang rendah pada sistem. Jumlah job yang harus dikerjakan setiap kali order datang bervariasi dengan distribusi sebagai berikut: 3 job sebanyak 10%, 4 job sebanyak 20%, 5 job sebanyak 40%, 6 job sebesar 20%, dan 7 job sebanyak 10%.

Pada sistem manufaktur *push*, informasi order yang masuk langsung ditujukan pada stasiun kerja pertama dari sistem. Stasiun kerja ini kemudian langsung meminta material dari gudang bahan baku sejumlah banyaknya job yang diminta dari order tersebut dan kemudian memprosesnya. Proses-proses selanjutnya berjalanurut mengikuti alur seperti yang ada pada Gambar 1.

Pada sistem manufaktur *pull*, informasi order yang masuk ditujukan pada stasiun kerja terakhir (gudang barang jadi). Apabila pada lokasi tersebut produk jadi tidak tersedia, maka informasi akan disampaikan kepada stasiun kerja sebelumnya untuk melakukan aktivitas produksi. Jumlah yang diminta untuk diproduksi tidak boleh melebihi jumlah yang dibutuhkan sehingga besarnya buffer di antara stasiun kerja dapat selalu dikontrol. Setiap kali buffer berkurang dari jumlah yang disyaratkan, informasi akan selalu disampaikan kepada stasiun kerja yang berada sebelum buffer tersebut untuk memroses sejumlah yang dibutuhkan untuk mencukupi batas atas dari buffer. Alur informasi yang mundur ke depan inilah yang menjadi ciri dari sistem manufaktur *pull* yang dimodelkan pada penelitian ini.

Besarnya buffer pada masing-masing lokasi antara stasiun kerja adalah seragam. Tetapi untuk melihat pengaruh buffer terhadap performansi sistem, simulasi dilakukan pada 2 kondisi yang berbeda, yaitu dengan menggunakan buffer berkapasitas 2 unit dan 5 unit. Dengan demikian ukuran buffer ini menjadi faktor kedua yang diuji coba selain faktor mean antar kedatangan dari order.

Untuk hal lain seperti waktu proses tidak dilakukan desain eksperimen, tetapi cukup menggunakan distribusi statistik agar timbul fenomena acak dari sistem. Namun untuk

mereduksi kompleksitas, tiap stasiun kerja dibuat memiliki waktu proses yang identik dalam hal distribusi yaitu distribusi Normal dengan mean 2,5 menit dan standar deviasi 0,5 menit untuk waktu proses per unitnya. Simulasi kemudian dijalankan pada seluruh variasi di atas selama 40 jam dengan warm-up period sebesar 1 jam. Besaran-besaran yang diukur dan dianalisis adalah utilisasi dari masing-masing stasiun kerja, jumlah keluaran yang dihasilkan pada setiap kondisi simulasi dan rata-rata lamanya job menunggu dalam sistem sebelum dipenuhi. Terhadap masing-masing set skenario dilakukan 10 kali replikasi dan untuk hasil-hasil yang batas 95% confidence interval-nya saling overlap dilakukan uji statistik untuk menentukan apakah perbedaan yang ada signifikan.

4. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Penulisan hasil-hasil simulasi di bawah ini ditulis menggunakan kode skenario *pusha-b* atau *pulla-b* yang berarti:

- *push/pull* menunjukkan sistem manufaktur yang disimulasikan,
- *a* menunjukkan ukuran buffer,
- *b* menunjukkan rata-rata waktu antar kedatangan order.

4.1 Utilisasi Mesin

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil yang bervariasi. Untuk utilisasi mesin, pada skenario dengan rata-rata distribusi waktu antar kedatangan 10 menit didapatkan suatu pola yang seragam untuk semua stasiun kerja. Utilisasi terendah selalu dialami oleh sistem *pull* dengan kapasitas buffer 2 unit, kemudian diikuti oleh sistem *push* dengan kapasitas buffer yang sama, dan tertinggi adalah sistem dengan kapasitas buffer 5 baik untuk sistem *push* dan *pull* yang tidak tampak memiliki perbedaan. Sedangkan untuk load sistem yang agak ringan dengan melonggarkan waktu antar kedatangan order, utilisasi mesin tidak tampak memiliki perbedaan yang signifikan. Hasil selengkapnya berikut uji analisis varians satu arah untuk skenario dengan rata-rata waktu antar kedatangan 25 menit disajikan dalam tabel-tabel dan gambar-gambar berikut.

Tabel 1. Hasil Simulasi untuk Utilisasi Mesin

	Stasiun kerja 1				Stasiun kerja 2			
	<i>Push</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Pull</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Push</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Pull</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10
Mean	96.68	98.54	95.11	98.38	96.86	98.54	95.35	98.27
S.d.	0.82	0.67	1.05	0.48	0.96	0.67	1.04	0.73
95% CI	96.09 97.26	98.06 99.02	94.36 95.86	98.04 98.73	96.17 97.55	98.06 99.01	94.61 96.09	97.75 98.79
	Stasiun kerja 3				Stasiun kerja 4			
	<i>Push</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Pull</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Push</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Pull</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10
Mean	97.29	98.83	95.27	98.35	96.79	99.12	94.99	98.63
S.d.	0.90	0.61	0.70	0.51	0.66	0.42	0.89	0.49
95% CI	96.64 97.93	98.40 99.27	94.77 95.77	97.99 98.72	96.32 97.26	98.82 99.42	94.36 95.63	98.28 98.97
	Stasiun kerja 1				Stasiun kerja 2			
	<i>Push</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Pull</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Push</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Pull</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25
Mean	47.92	49.64	50.05	48.56	47.88	49.58	50.04	48.65
S.d.	6.46	5.10	4.70	4.45	6.75	5.10	5.00	4.62
95% CI	43.30 52.54	46.00 53.29	46.69 53.41	45.38 51.75	43.06 52.71	45.93 53.23	46.46 53.61	45.35 51.96

Lanjutan Tabel 1

	Stasiun kerja 3				Stasiun kerja 4			
	<i>Push</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Pull</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Push</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Pull</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25
Mean	47.67	49.46	50.03	48.71	47.81	49.61	49.89	48.70
S.d.	6.67	4.79	4.97	4.67	6.53	5.10	4.94	4.84
95% CI	42.90 52.44	46.04 52.89	46.48 53.59	45.37 52.05	43.14 52.48	45.96 53.26	46.36 53.42	45.23 52.16

4.2 Jumlah Output

Seperti halnya utilisasi mesin, kinerja sistem yang diukur dari jumlah keluaran menunjukkan pola yang hampir serupa. Pada load sistem yang padat dengan waktu antar kedatangan order 10 menit, rata-rata keluaran dari sistem *pull* dengan buffer 2 unit adalah yang terendah, disusul oleh sistem *push* dengan buffer yang sama, sedangkan baik sistem *push* dan *pull* dengan buffer sebesar 5 unit tampak memiliki kesamaan hasil. Sementara itu untuk load sistem ringan (waktu antar kedatangan order 25 menit) diperoleh hasil yang tidak berbeda secara signifikan dari seluruh skenario yang dibandingkan. Hasil lengkapnya adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Simulasi untuk Jumlah Output

	Rata-rata antar kedatangan order 10 menit				Rata-rata antar kedatangan order 25 menit			
	<i>Push</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Pull</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Push</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Pull</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25
Mean	932.5	951.8	915.7	948.7	460.9	477.5	480.7	466.7
S.d.	6.6	4.2	5.8	4.1	62.6	47.8	46.1	43.4
95% CI	927.8 937.2	948.8 954.8	911.6 919.8	945.8 951.6	416.1 505.7	443.3 511.7	447.7 513.7	435.7 497.7

4.3 Rata-rata Waktu Tinggal Job

Parameter terakhir yang diukur dari simulasi yang dilakukan adalah rata-rata waktu tinggal (mean flow time) dari job yang masuk ke dalam sistem. Besaran ini juga perlu diperhatikan karena dapat dipakai untuk membandingkan pengaruh ukuran buffer. Dampak praktis dari pengaruh ukuran buffer ini tentunya terkait dengan sistem manufaktur yang diterapkan mengingat sistem manufaktur *push* cenderung menghendaki buffer sedangkan sebaliknya sistem *pull* lebih condong untuk meminimasi barang setengah jadi (work in process).

Hasil simulasi yang didapatkan menunjukkan pola yang sangat tidak teratur. Pada skenario dengan load order tinggi, sepiantas terlihat bahwa sistem *pull* menyebabkan rata-rata waktu tinggal yang besar dari job. Namun standar deviasi yang besar dari hasil replikasi menyebabkan uji analisis varians satu arah yang dilakukan mengindikasikan bahwa perbedaan antara skenario satu dengan yang lain tidak signifikan. Sedangkan pada load order rendah, perbedaan yang menyolok terlihat pada sistem *pull* dengan buffer 2 unit yang menghasilkan rata-rata waktu tinggal terbesar, disusul oleh sistem *push* dengan buffer 2 unit, sedangkan baik pada sistem *push* maupun *pull* yang menggunakan buffer dengan kapasitas 5 unit memiliki rata-rata waktu tinggal minimum yang hampir sama.

Tabel 3. Hasil Simulasi untuk Rata-rata Waktu Tinggal Job

	Rata-rata antar kedatangan order 10 menit				Rata-rata antar kedatangan order 25 menit			
	<i>Push</i> 2-10	<i>Push</i> 5-10	<i>Pull</i> 2-10	<i>Pull</i> 5-10	<i>Push</i> 2-25	<i>Push</i> 5-25	<i>Pull</i> 2-25	<i>Pull</i> 5-25
Mean	294.45	277.95	314.97	304.15	6.53	2.98	10.46	3.84
S.d.	106.30	79.09	107.54	76.28	1.67	1.12	4.70	1.64
95% CI	218.41 370.48	221.38 334.52	238.05 391.89	249.59 358.72	5.34 7.73	2.18 3.78	7.10 13.82	2.66 5.02

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil-hasil simulasi yang diuraikan di atas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

Tabel 4. Kesimpulan Hasil Simulasi

Kinerja	Urutan kinerja (diurutkan dari nilai terbesar s.d. terkecil)	
	Rata-rata antar kedatangan order 10 menit	Rata-rata antar kedatangan order 25 menit
Utilisasi mesin	1. <i>Pull</i> 2-10 2. <i>Push</i> 2-10 3. <i>Push</i> 5-10 dan <i>Pull</i> 5-10	Perbedaan tidak signifikan
Jumlah output	1. <i>Pull</i> 2-10 2. <i>Push</i> 2-10 3. <i>Push</i> 5-10 dan <i>Pull</i> 5-10	Perbedaan tidak signifikan
Rata-rata waktu tinggal job	Perbedaan tidak signifikan	1. <i>Push</i> 5-25 dan <i>Pull</i> 5-25 2. <i>Push</i> 2-25 3. <i>Pull</i> 2-25

Tabel 4 di atas menunjukkan bahwa pada sistem dengan load padat (waktu rata-rata antar kedatangan order 10 menit), kinerja utilisasi mesin dan jumlah output memiliki pola tertentu sedangkan rata-rata waktu tinggal job tidak. Hal ini berlaku sebaliknya pada sistem dengan load ringan (waktu rata-rata antar kedatangan order 25 menit), di mana justru kinerja utilisasi mesin dan jumlah output tidak memiliki pola tertentu sedangkan pada rata-rata waktu tinggal job tampak suatu pola.

Bila dicermati lebih jauh akan terlihat bahwa pola-pola tersebut sangat bergantung pada ukuran buffer. Pada buffer berukuran kecil (2 unit), utilisasi mesin dan jumlah output pada sistem *push* dengan load padat adalah lebih tinggi daripada sistem *pull*, sedangkan rata-rata waktu tinggal job pada sistem *pull* dengan load ringan adalah lebih besar daripada sistem *push*. Kesimpulan penting yang perlu dicatat dari penelitian ini adalah bahwa pada sistem dengan buffer berukuran besar (5 unit), kinerja dari sistem *push* dan *pull* ternyata tidak berbeda secara signifikan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besar ukuran buffer memiliki pengaruh yang cukup penting pada kinerja sistem *push* dan *pull*.

Untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut, penulis menyarankan untuk memasukkan faktor-faktor lain yang banyak berpengaruh di sistem produksi riil seperti kerusakan mesin. Hal ini akan menjadi kajian yang cukup menarik mengingat peranan buffer yang umumnya memang difungsikan untuk memperhalus aliran proses produksi yang terputus-putus yang mungkin disebabkan oleh faktor kerusakan mesin. Pengembangan penelitian juga dapat dilakukan dengan memperluas kompleksitas lantai produksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Venkatesh, K., M.-C. Zhou, M. Kaighobadi, R. Caudill, 1996. "A Petri-net approach to investigating *push* and *pull* paradigms in flexible factory automated systems", *International Journal of Production Research*, 34 (3), 595-620.
- Goddard W.E., R.B. Brooks, 1984. "Just-in-time: a goal for MRP II, Readings in Zero Inventory", *Conference Proceedings APICS*.
- Villa, A., T. Watanabe, 1993. "Production management: beyond the dichotomy between 'push' and 'pull'", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 6 (1), 53-63.
- Goldratt, E.M., J. Cox, 1993. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*, 2nd ed., Gower Publishing Co., Aldershot, England.
- Bonney, M.C., N. Huang, M.A. Head, C.C. Tien, R.J. Barson, 1996. "Inventory and Enterprise Integration", *International Journal of Production Economics*, 45, 91-99.
- Fogarty, D.W., J.H. Blackstone, Jr., T.R. Hoffman, 1991. *Production and Inventory Management*, 2nd ed., South-Western Publishing Co., Cincinnati, Ohio.
- Miltenburg, J., 1997. "Comparing JIT, MRP and TOC, and embedding TOC into MRP", *International Journal of Production Research*, 35 (4), 1147-1169.
- Bonney, M.C., Z. Zhang, M.A. Head, C.C. Tien, R.J. Barson, 1999. "Are *push* and *pull* systems really so different?", *International Journal of Production Economics*, 59, 53-64.