

SIMULASI DAN FLEKSIBELITAS PENGURUTAN PADA FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

MM IRFAN SUBAKTI

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Jl. Raya ITS – Sukolilo, Surabaya, Indonesia 60111

Telp. (+62-31) 593 9214, Fax (+62-31) 591 3804

E-mail: is@its-sby.edu

Website: <http://is.its-sby.edu>

ABSTRAK

Makalah ini membahas mengenai penggunaan bahasa simulasi berbasis objek untuk pemodelan dan simulasi Flexible Manufacturing System. Bahasa simulasi (selanjutnya disebut FlexiSystem) ini menggunakan grafis secara penuh, baik untuk input maupun outputnya. Hal ini berguna untuk mengoptimalkan interaksi dengan pemakai sehingga mudah dalam mempelajari dan menggunakannya.

Skenario fleksibel umumnya menampilkan kinerja yang lebih tinggi dibandingkan pengurutan tetap pada semua disiplin antrian. Pengaruh dari fleksibilitas masih tetap berjenis penurunan (misal waktu tunggu). Fleksibilitas pengurutan merupakan fungsi pertambahan pengurutan yang mungkin dengan pertambahan yang semakin berkurang. Atau dengan kata lain pengukuran harus secara signifikan bertambah dengan pertambahan awal pada jumlah pengurutan dan kemudian secepatnya berkurang. Fleksibilitas ini lebih bernilai untuk sistem yang besar. Pengukuran ini juga sensitif pada utilisasi sistem. Dengan fleksibilitas pengurutan, maka pengukuran akan langsung bertambah dan sangat cekung sebagai fungsi dari utilisasi.

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa FlexiSystem ini cukup layak dan mudah digunakan untuk simulasi Flexible Manufacturing System. Berbagai kondisi statistik juga disediakan, sehingga memungkinkan untuk melakukan simulasi sedekat mungkin dengan realita.

Kata kunci: simulasi, sistem manufaktur, flexible manufacturing system, fleksibilitas pengurutan.

1. PENDAHULUAN

Pelbagai sistem manufaktur yang digunakan di bidang industri, seperti di bawah ini ([BUZ1993]) :

- ♦ **Flow Lines.**, dalam sistem ini job-job dilakukan pada mesin-mesin tertentu dengan alur yang sama.
- ♦ **Job Shop**, adalah sistem manufaktur dimana job-job yang berbeda dapat dikerjakan oleh mesin-mesin dengan alur yang berbeda.

- ♦ **Transfer Lines**, pada sistem ini mesin-mesin dan penanganan material dari satu mesin ke mesin berikutnya dilakukan secara otomatis, dan semua mesin-mesin saling dihubungkan sehingga semua mesin tersebut memulai tugasnya secara simultan, karenanya pergerakan material dapat diselaraskan.
- ♦ **Flexible Transfer Lines**, yang memiliki keunggulan dibanding Transfer Lines, dimana sinkronisasi pergerakan job-job tetap dipertahankan.
- ♦ **Flexible Manufacturing System**, sistem manufaktur dimana Numerically Controlled Machines dikombinasi dengan sebuah Sistem Penanganan Material, sehingga job-job berbeda dikerjakan oleh mesin-mesin dengan alur yang berlainan
- ♦ **Flexible Assembly System**, pada sistem ini pergerakan job diotomasi baik untuk assembly, inspeksi, dan test station juga hubungan ke sistem otomasi identifikasi job.
- ♦ **Multiple Cell System** yang tersusun dari manufacturing cell dimana setiap cell mempunyai kapasitas yang spesifik pada *scope & scale*.
- ♦ **Material Handling System** yang merupakan komponen kunci dari sistem manufaktur, penyimpan sementara job-job pada proses, dan penghubung antar mesin dan gudang.

Untuk suatu industri yang mempunyai volume dan angka output tinggi, sistem manufaktur yang efisien adalah *Transfer Lines*, kekurangannya adalah variasi dalam konfigurasi produk sedikit. Sedangkan sistem manufaktur *Job Shop* dengan mesin-mesin Computer Numerically Controlled (CNC)-nya dapat mengakomodasi perubahan *part*, tetapi angka produksi rendah dan *part* biasanya dibuat secara *batch*.

Untuk mendapatkan efisiensi dan produktivitas, terdapat beberapa pertimbangan antara produktivitas yang tinggi dari *Transfer Lines* dan fleksibilitas yang tinggi dari *Job Shop*. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan FMS, yaitu hasil dari sistem *Numerically Controlled Machines* dikombinasi dengan Sistem Penanganan Material. Penerapan FMS akan meningkatkan kinerja manufaktur, dengan adanya penggunaan komputer dalam pengontrolan prosesnya.

Efektifitas dan efisiensi dari FMS dapat dioptimalkan dengan metode analitis untuk sistem yang sederhana. Untuk sistem yang kompleks digunakan metode simulasi yang dapat mengukur dengan baik perilaku dan kapasitas sistem, kinerja, serta dapat menghemat waktu dan biaya, karena dilakukan dengan komputer.

Evaluasi FMS yang kompleks harus menggunakan metode simulasi, karena metode analitis sudah tak mampu lagi menjangkau. Bahasa simulasi khusus untuk aplikasi manufaktur misal : AutoMod II, ProModel, SIMFACTORY II.5, WITNESS, XCELL+.

Yang akan dilakukan dalam makalah ini adalah mencoba memodelkan dan mensimulasikan suatu FMS dengan menggunakan FlexiSystem.

2. PEMODELAN FMS

FMS pada dasarnya adalah *job shop otomatis*. *Job shop* secara abstrak adalah sekelompok pusat-pusat mesin di antara *job-job* yang dapat dipindahkan dari pusat mesin manapun ke mesin lain. Pergerakan *job* ini mungkin diselesaikan oleh sebuah pusat transportasi, oleh sebuah transporter khusus antara pusat-pusat mesin atau oleh kombinasi dari *job-job* tipe berbeda yang muncul pada *job shop* setiap waktu. Masing-masing *job* mempunyai alur khusus dari mesin atau pusat mesin yang akan bertemu sebelum meninggalkan *job shop*. Bedanya dengan FMS adalah, pada FMS setiap *job* mempunyai beberapa alternatif alur ke mesin atau pusat mesin, sehingga Sistem Penanganan Material pada FMS dikontrol oleh komputer untuk menentukan alternatif alur *job* tadi secara otomatis. Disiplin antrian yang digunakan adalah *First Come First Served* (FCFS), *Last Come First Served* (LCFS), dan *priority* (prioritas).

Dalam makalah ini FMS yang dimodelkan adalah FMS dimana semua mesin dihubungkan oleh Sistem Penanganan Material dan *job-job* yang berbeda yang diproses oleh sistem harus mengunjungi mesin-mesin yang berbeda untuk mendapatkan operasi yang diinginkan.

Komponen-komponen FMS adalah sebagai berikut:

- ♦ *Load Station*, untuk menampung kedatangan raw material yang diletakkan di pallet.
- ♦ *UnLoad Station*, untuk menerima produk setelah selesai diproses.
- ♦ *Service Center* (SC), jika penugasan *tool* seperti misalnya sebuah grup mesin yang mampu untuk melakukan operasi-operasi yang sama pada semua tipe *job-job* yang diproses oleh sistem, grup tersebut dapat dianggap sebagai bentuk paralel dari mesin-mesin.
- ♦ *Material Handling Sytem* (MHS), dimana penting untuk membedakan antara sistem-sistem unit load (seperti AGV dan kendaraan pengangkut) yang

mempunyai sedikit peralatan penanganan material dan oleh karena itu dapat menyebabkan delay ketika *job-job* menunggu peralatan penanganan material agar tersedia, dan sistem seperti *roller conveyors* dimana *job-job* tidak tertunda oleh kurangnya kemampuan penanganan material.

- ♦ *Penyimpan pusat dan lokal*, dimana penyimpan lokal menjadi input atau output dari mesin-mesin tunggal atau grup-grup mesin, sedangkan penyimpan pusat dapat digunakan oleh *job-job* dengan mengabaikan mesin selanjutnya yang akan dikunjungi oleh *job-job* tersebut.
- ♦ *Pallet dan fixture*, dimana mungkin terdapat beberapa tipe *pallet* dan *fixture* yang berbeda dengan *pallet* dari tipe tertentu yang digunakan hanya untuk subset *job-job* yang khusus.
- ♦ *Sistem informasi dan kontrol*, dimana sistem harus mendapat informasi tentang status *job-job*, mesin-mesin, dan fasilitas penanganan material, dan mengontrol pemrosesan *job-job* dan pergerakan *job-job* tersebut dalam sistem.

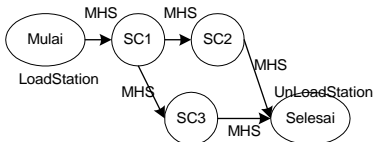
Sebagai studi kasus simulasi, dimodelkan suatu sistem FMS dengan menggunakan FlexiSystem sebagai berikut.

Terdapat sistem manufaktur yang terdiri dari 3 sistem mesin dan beroperasi dengan skenario fleksibel ini: akan dihasilkan 1 produk yang dihasilkan dari 2 urutan proses yang berbeda untuk pallet A dan pallet B. Terdapat 1 LoadStation yang menerima kedatangan raw material (part) yang selanjutnya diletakkan di pallet. Kemudian dengan pallet truck (MHS), pallet A akan dibawa dan diproses di SC1. Pada waktu yang bersamaan ada pallet truck yang membawa pallet B ke SC3. Selanjutnya dari SC1, akan ada pallet truck yang membawa hasil pemrosesan pallet A ke SC3. Dari SC3 untuk hasil pemrosesan pallet B, terdapat pallet truck yang membawanya ke SC2. Hasil pemrosesan pallet A di SC3, yang berupa produk selanjutnya dibawa lagi oleh satu pallet truck ke UnLoad Station, dimisalkan gudang. Demikian juga untuk produk dari hasil pemrosesan pallet B di SC2 akan dibawa oleh 1 pallet truck ke gudang.

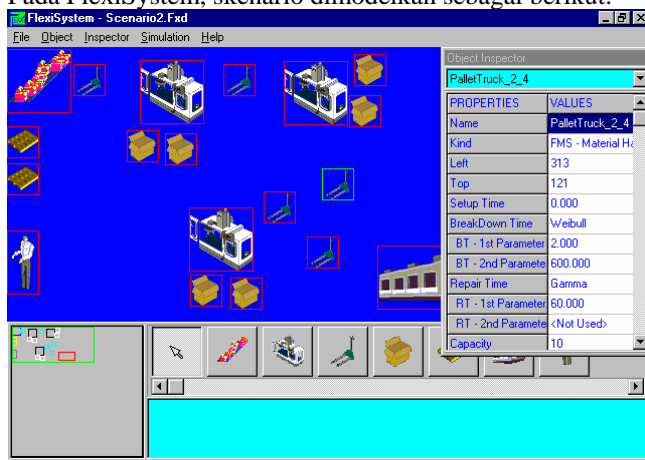
Part datang secara random ke sistem (menurut distribusi Eksponensial, dengan mean 0.5 menit) di LoadStation. Waktu operasi independen berdasarkan distribusi Eksponensial dengan mean 2 menit. Service Center mempunyai pola waktu rusak berdasarkan distribusi Weibull dengan $\alpha = 2$, $\beta = 60$, pola waktu perbaikan dengan distribusi Gamma dengan $\alpha = 60$, $\beta = 1$ (satuan simulasi dalam menit). Prioritas dari penugasan mesin didasarkan pada disiplin antrian FCFS, LCFS, Priority; sedangkan antrian MHS menggunakan disiplin FCFS. Pallet truck mempunyai kecepatan maksimal 10 m/menit, mempunyai pola waktu rusak berdasarkan distribusi Weibull dengan $\alpha = 2$, $\beta = 600$, pola waktu

perbaikan dengan distribusi Gamma dengan $\alpha = 60, \beta = 1$ (satuan simulasi dalam menit), dan kapasitas angkut pallet maksimal = 20. Semua SC mempunyai server sebanyak 10, kapasitas input dan output pallet maksimal = 1000 di Local Storage input dan output. Di UnLoad station waktu antarkeberangkatan produk dari sistem ke lingkungan menggunakan distribusi Eksponensial dengan mean 1 menit.

Model diatas, dapat digambarkan di FlexiSystem sebagai berikut:



Pada FlexiSystem, skenario dimodelkan sebagai berikut:



Setiap komponen mempunyai nilai-nilai sebagai berikut:

3. SIMULASI FMS

Skenario diatas disimulasikan selama 5 jam waktu simulasi.

Contoh hasil running program yang didapat untuk skenario di atas, menggunakan disiplin antrian Prioritas adalah sebagai berikut:

FlexiSystem Report	
Data File:	F:\Z\Data\Scenario2.Fxd
Library File:	FMS.Fxl
Service:	Flexible Manufacturing System
Design Area:	32 * 32 units (@32 pixels)
Time Unit:	Minute
Queueing Protocol:	Priority
Distance Unit:	Meter/1.000 pixels
Duration:	1 day(s) - 5 hour(s)

Number of Objects type:	
Load Station:	1
UnLoad Station:	1
Service Center:	3
Material Handling System:	5
Pallet:	2
Local Storage:	6
Static Object:	1

Total Utilization:	52.623188%
Total Delay in Queue:	0:00:03:06:713 (Keterangan sintaks: hari:jam:menit:detik:ms)

Pallets		
Name	Average Total Delay in Queue	Average Number in Queue
Pallet_1_2	0:00:45:07:465	37.034111
Pallet_1_3	0:00:00:00:0	0.000000
Total Pallets produced by Load Stations: 198		
Total Product released by UnLoad Stations: 9		
Overall Average Total Delay in all Pallets: 0:00:22:33:732		

Load Stations			
Name	Average Delay in Queue	Average Number in Queue	Utilization
LoadingDock_0	0:00:18:46:616	63.403101	95.652174%

UnLoad Stations			
Name	Average Delay in Queue	Average Number in Queue	Utilization
Gudang_4	0:00:08:13:0	6.000000	4.347826%

Service Centers	
Name	Utilization
CNC_1	14.347826%
CNC_2	2.125604%
CNC_3	1.545894%

Load Station

Service Center

Material Handling System

Local Storage

UnLoad Station

Static Object

Material Handling System			
Name	Average Delay in Queue	Average Number in Queue	Utilization
PalletTruck_0_1	0:00:00:00:0	12.266667	78.743961%
PalletTruck_1_2	0:00:00:00:0	9.719298	85.024155%
PalletTruck_1_3	0:00:00:00:0	3.189189	56.521739%
PalletTruck_3_4	0:00:00:00:0	0.333333	94.202899%
PalletTruck_2_4	0:00:00:00:0	0.387755	93.719807%

Local Storage		
Name	Average Delay in Queue	Average Number in Queue
Box0	0:00:01:53:100	15.583333
Box1	0:00:02:52:550	6.566667
Box2	0:00:01:57:450	15.350000
Box3	0:00:02:19:200	8.800000
Box4	0:00:01:40:50	15.400000
Box5	0:00:02:45:300	8.400000

Dengan hanya memperhatikan rata-rata waktu tunggu di antrian dan utilisasi, hasil seluruh running program:

Statistik	FCFS	LCFS	Priority
Rata-rata waktu tunggu di antrian	0:00:03:41:698	0:00:02:10:580	0:00:03:06:713
Utilisasi	50.995%	50.092%	52.62%

4. ANALISIS HASIL SIMULASI

Dengan menggunakan FlexiSystem ini ternyata memodelkan suatu FMS itu mudah sekali dilakukan, membutuhkan waktu yang sedikit, dan akan langsung terlihat hasilnya.

Dari simulasi didapat, karena waktu penanganan material, waktu proses, dan angka kedatangan part tidak dipengaruhi oleh derajat pengurutan fleksibel dalam sistem, pengukuran satu-satunya kinerja yang berubah-ubah dengan adanya fleksibelitas adalah waktu tunggu part. Konsekuensinya, waktu tunggu digunakan sebagai indikator utama pengukuran kinerja sistem, bukan utilisasi. Karena utilisasi akan setara dengan banyaknya proses yang dilakukan pada pallet. Bila semakin banyak pallet yang diproses maka utilisasi akan semakin tinggi, sebaliknya bila semakin sedikit pallet yang diproses (banyak yang antri di suatu tempat, atau pallet belum datang ke tempat pemrosesan) maka utilisasi juga akan semakin rendah.

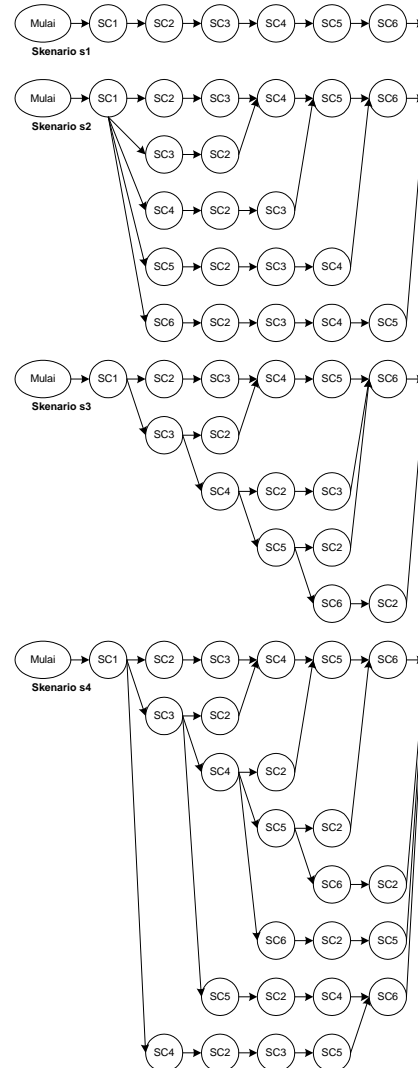
Dari simulasi berikutnya didapat bahwa dengan memperbanyak alternatif rute pallet akan didapat rata-rata waktu tunggu pallet di antrian yang semakin kecil, secara umum pun nilai utilisasi yang didapat juga akan bertambah. Tetapi hal ini juga harus memperhatikan ketersediaan MHS sebagai wahana untuk membawa pallet antar Load Station – Service Center – UnLoad Station. Bila jumlah MHS cukup banyak tersedia, fleksibelitas di FMS tidak akan banyak berarti. Sehingga bila pada satu

keadaan hanya terdapat sedikit (minimal) jumlah MHS, sedangkan produk yang ingin dibuat membutuhkan proses yang membutuhkan banyak operasi antar Service Center, FMS lebih efisien mewujudkan produk tadi. Tetapi sekali lagi, hal itu juga harus memperhatikan jumlah ServiceCenter fleksibel yang harus disediakan untuk mewujudkan fleksibelitas urutan pallet dalam menghasilkan produk.

Jadi dengan mempergunakan FMS sebagai salah satu sistem di Manufacturing, dapat lebih mengefisienkan proses membuat produk tertentu. Dengan memperhatikan bahwa pengurangan waktu tunggu di antrian merupakan salah satu tujuan yang ingin didapat dari optimisasi Manufacturing, maka fleksibelitas dapat menunjukkan kinerja dari FMS.

5. PERCOBAAN LEBIH LANJUT

Model 1.



Pada keempat skenario di atas, diasumsikan antara LoadStation, SC, dan UnLoadStation terletak pada 1 garis

lurus dengan jarak masing-masing 4 meter. Pallet datang secara acak ke sistem di LoadStation menurut distribusi Poisson (λ diasumsikan 1), kapasitas LoadStation 100 Pallet. Waktu operasi independen setiap SC berdasarkan distribusi Eksponensial dengan mean 2 menit/pallet, diasumsikan setiap SC memiliki 10 buah server. Waktu rusaknya SC mengikuti pola distribusi Weibull dengan $\alpha=120$ dan $\beta=10$, waktu perbaikan kerusakan mengikuti distribusi Gamma dengan $\alpha=10$ (dan β dalam simulator di-default=1). Prioritas dari penugasan SC=FCFS. Kapasitas menampung pallet pada LocalStorage=1000. MHS diasumsikan memiliki kapasitas angkut 10 pallet dengan kecepatan 3 meter/detik, waktu rusaknya mengikuti pola distribusi Weibull dengan $\alpha=60$ dan $\beta=10$, waktu perbaikan mengikuti distribusi Gamma dengan $\alpha=2$ dan $\beta=1$, dan jumlah MHS disesuaikan menurut masing-masing skenario. Posisi awal MHS diasumsikan pada suatu lokasi tertentu. Keberangkatan pallet dari UnLoadStation diasumsikan mengikuti distribusi Eksponensial dengan mean 1 menit. Sistem disimulasikan pada 4 skenario fleksibel dan dijalankan selama 24 jam waktu simulasi. Hasil pemodelan dan simulasinya, yang setelah dibandingkan dengan hasil penelitian Benjaafar ([BEN1996]) disajikan dalam ringkasan berikut ini:

Skenario	Jmlh rute	Jmlh pallet	Jmlh MHS
s1	5	1	7
s2	5	5	19
s3	5	5	16
s4	8	8	20

Waktu tunggu rata-rata pallet dan utilisasi:

Skenario	Waktu tunggu rata-rata		Utilisasi %
	(hari:jam:menit:detik:ms)	Detik	
s1	0:00:02:28:458	148,458	31,57
s2	0:00:01:36:899	96,899	19,80
s3	0:00:01:35:196	95,196	19,95
s4	0:00:02:00:881	120,881	19,69

Pengurangan persentase marginal dalam waktu tunggu rata-rata:

s1-s2	s2-s3	s3-s4
34,73%	1,76%	-26,98%

Dari hasil simulasi ini didapat beberapa hal:

- Untuk keempat skenario tadi, adanya peningkatan dalam pengurutan fleksibel menghasilkan penurunan dalam waktu tunggu rata-rata pallet dalam sistem.
- Nilai dari penurunan waktu tunggu rata-rata pallet di sistem akan semakin besar bila utilisasi dari SC dapat ditingkatkan, sehingga nampaknya fleksibelitas akan bernilai lebih pada *highly loaded system*.
- Walaupun nilai absolut pengurangan pada waktu tunggu adalah fungsi dari *loading sistem*, pengurangan relatif tidak berpengaruh pada loading ini. Seperti terlihat pada tabel terakhir, persentase pengurangan

dalam waktu tunggu rata-rata dari skenario s1 ke s2, s2 ke s3 dan s3 ke s4 adalah 35%, 2%, dan -27%. Nilai terakhir negatif, yang berarti malah terjadi penambahan pada waktu tunggu, karena kemungkinan banyaknya pallet dan MHS, serta rute yang kurang efisien, walaupun bila dibandingkan dengan pengurangan dari skenario s1 ke s2 tetap menunjukkan penurunan nilai.

- Baik pada nilai pengurangan absolut maupun pada nilai pengurangan relatif nampaknya sama-sama berkurang. Hal inilah yang menjadi keuntungan utama dari fleksibelitas, yaitu cukup diberikan fleksibelitas dengan nilai terbatas pada sistem dan pengurangan waktu tunggu rata-rata akan meningkat drastis. Peningkatan fleksibelitas selanjutnya hanya memberikan kontribusi yang kecil dan tak berarti.
- Hasil ini berimplikasi pada pengembangan pengukuran fleksibelitas yang terefleksi pada nilai fleksibelitas. Berdasarkan pada hasil ini, pengukuran dari nilai fleksibelitas seharusnya merupakan fungsi pertambahan pengurutan yang mungkin dengan pertambahan yang semakin berkurang. Atau dengan kata lain pengukuran harus secara signifikan bertambah dengan pertambahan awal pada jumlah pengurutan dan kemudian secepatnya berkurang. Sehingga pengukuran akan langsung bertambah sesuai fungsi utilisasi dengan pertambahan marginal. Kesimpulannya, pengukuran akan langsung bertambah dan sangat cekung sebagai fungsi dari utilisasi.

Model 2. Untuk mengetahui pengaruh dari ukuran sistem dalam fleksibelitas, maka keempat skenario tadi diaplikasikan kembali, dengan mencobanya pada jumlah server di setiap SC yang bervariasi mulai dari 2, 3, 4, dan 10 server seperti yang telah dilakukan pada model 1 tadi. Di bawah ini diberikan hasilnya, yaitu waktu tunggu rata-rata pallet dibandingkan ukuran sistem:

Skenario	Jumlah Server			
	2	3	4	10
s1	707.573	235.496	204.315	148.458
s2	575.383	197.643	120.184	96.899
s3	543.485	157.74	130.782	95.196
s4	425.572	165.83	132.548	120.881

Dari hasil simulasi ini didapat beberapa hal:

- Fleksibelitas meningkatkan kinerja sistem dengan sedikit dipengaruhi ukuran sistem, walaupun peningkatan itu akan cenderung mengecil. Pola perbedaan kinerja untuk beberapa sistem yang berbeda menampakkan kecenderungan pengurangan secara linier.
- Walaupun untuk skenario pengurutan tetap waktu tunggu rata-rata berkurang secara monoton seiring dengan bertambahnya ukuran sistem, untuk skenario

fleksibel waktu tunggu itu masih tetap kecil pengurangannya. Dalam kenyataannya, untuk s4, waktu tunggu rata-ratanya paling konstan walaupun ukuran sistem bertambah. Hal ini tidak saja berarti bahwa fleksibilitas lebih bernilai untuk sistem yang besar tetapi bahwa untuk kebanyakan sistem, fleksibilitas dapat menjadi sangat efektif dalam menstabilkan kinerja sistem.

- ♦ Untuk sistem dengan 10 server yang beroperasi pada s4, waktu tunggu rata-rata menurun drastis dibandingkan sistem yang berukuran lebih kecil. Mungkin ini disebabkan oleh pengurangan waktu tunggu pada fleksibilitas melebihi penambahan waktu tunggu yang disebabkan oleh bertambahnya server.

Model 3. Serupa dengan model berikutnya, hanya saja disini diselidiki pengaruh dari pelbagai disiplin antrian untuk memvalidasi hasil sebelumnya, yaitu FCFS tadi ditambah dengan LCFS dan Prioritas. Hasilnya sbb:

Skenario	Disiplin Antrian		
	FCFS	LCFS	Prioritas
s1	148.458	121.114	148.458
s2	96.899	144.229	80.889
s3	95.196	149.928	90.387
s4	120.881	175.434	90.779

Dari hasil simulasi ini didapat beberapa hal:

- ♦ Skenario fleksibel pada umumnya menampilkan kinerja yang lebih tinggi dibandingkan pengurutan tetap pada semua disiplin antrian. Pengaruh dari fleksibilitas masih tetap berjenis penurunan, walaupun ada sedikit peningkatan pada s4. Nilai-nilai dari fenomena yang menarik ini merupakan pengungkapan tambahan dari model 3 ini. Sebagai contoh, untuk skenario pengurutan tetap, perbedaan dalam kinerja diantara disiplin antrian adalah signifikan. Perbedaan diantara waktu tunggu rata-rata diantara disiplin antrian terburuk (FCFS dan Prioritas) dan terbaik (LCFS) lebih dari 27 detik. Namun nilai tersebut bisa jadi demikian, mengingat adanya penanganan disiplin antrian yang kurang optimasi. Seharusnya pengaruh dari aturan pengurutan disiplin antrian ini tak begitu mempengaruhi waktu tunggu rata-rata, dan penyediaan fleksibilitas seharusnya yang mempunyai pengaruh terbesar. Tetapi dengan adanya hasil ini maka justru didapatkan alternatif, bahwa fleksibilitas nampaknya dapat menjadi pengganti untuk sistem kontrol, dan juga sebaliknya.

Kesimpulan model 1, model 2, dan model 3.

Dari ketiga model yang telah dijelaskan di depan dan bersesuaian dengan hasil penelitian yang telah dilakukan Benjaafar ([BEN1996]), maka dapat disimpulkan:

- ♦ Nilai fleksibilitas merupakan fungsi penambahan secara monoton pada fungsi ukuran sistem.
- ♦ Nilai fleksibilitas merupakan fungsi penambahan secara monoton dan pada loading system merupakan fungsi cekung.
- ♦ Nilai fleksibilitas merupakan fungsi penambahan secara monoton dari permintaan dan keanekaragaman pemrosesan,
- ♦ Nilai fleksibilitas berbanding terbalik dengan nilai optimasi sistem dan kontrol. Utamanya, pengukuran harus didasarkan pada jenis disiplin antrian yang digunakan.

6. KESIMPULAN

- ♦ Metode pemodelan secara visual yang langsung menggunakan gambaran komponen sesungguhnya dalam sistem manufaktur yang nyata dan tanpa sedikit pun menuliskan kode program, dapat mempermudah pemakaian dan mempercepat pemodelan sistem manufaktur yang menggunakan FMS, disamping tentunya Job Shop dan Transfer Lines.
- ♦ Kondisi optimal dari suatu model tak tergantung pada tingkat utilisasi atau waktu tunggu saja, tapi bergantung pada keseimbangan yang dikehendaki pembuat model.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. [BEN1996] Benjaafar S. and Ramakrishnan R., **Modelling, Measurement and Evaluation of Sequencing Flexibility in Manufacturing Systems**, International Journal of Production Research, Vol. 34, No. 5, pp. 1195-1220, 1996.
2. [BUZ1993] Buzacott John A., Shantikumar J. George, **Stochastic Models of Manufacturing Systems**, Prentice-Hall International Inc., 1993.
3. [COA1991A] Coad P., Yourdon E., **Object-Oriented Analysis**, Second Edition, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, America, 1991.
4. [COA1991B]Coad P., Yourdon E., **Object-Oriented Design**, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, America, 1991.