

PENENTUAN SKENARIO ALOKASI SUMBERDAYA PERALATAN SEBAGAI USAHA PENINGKATAN KINERJA SISTEM MANUFAKTUR BERDASARKAN MODEL SIMULASI SISTEM DISKRIT BERBASIS KOMPUTER

Arya Wirabhuana¹

Abstract

Facing the tight business competition era, the manufacturing companies have to develop their industrial system performances to the high productivity level. This article tries to explain three manufacturing system indicators; amount of standard output in a period of time, product cyclic time, and the amount of work in process (unfinished) product. Those indicators will be viewed as a result of tools and production machine resources allocation in each work station.

The Discrete System Simulation is used to represent the real system that is examined. This method can give us a detailed information about the characteristic of each variables system to make experiments to improve the system performances without bothering and interrupting the real system itself. This situation will exactly reduce the unpredictable trial and error risk when implementing the development strategy in the real system.

In summary, the writer explains the brief simulation process and result for each scenario of production machine allocation. After all, the paper determines the conclusion of each scenario.

¹ Dosen Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Keywords : alokasi sumber daya peralatan, sistem manufaktur, model simulasi sistem diskrit berbasis komputer

A. Pendahuluan

Ada tiga konsep dasar yang harus dipahami dalam kaitannya dengan simulasi sistem, yaitu sistem, model dan simulasi itu sendiri. Pada umumnya literatur tentang model sepakat untuk mendefinisikan "model" sebagai suatu representasi atau format dalam bahasa tertentu dari suatu sistem nyata. Adapun sistem nyata adalah sistem yang sedang berlangsung dalam kehidupan, sistem yang dijadikan titik perhatian dan permasalahan. Model membantu memecahkan masalah sederhana ataupun kompleks dalam bidang manajemen dengan lebih memperhatikan beberapa bagian atau beberapa ciri utama daripada memperhatikan semua detail sistem nyata. Model tidak mungkin berisikan semua aspek sistem nyata karena banyaknya karakteristik sistem nyata yang selalu berubah dan tidak semua faktor atau variabel relevan untuk dianalisis.

Sistem didefinisikan sebagai suatu koleksi entitas, misalnya manusia atau mesin, yang bertindak dan berinteraksi bersama menuju penyelesaian dari beberapa logika akhir sedangkan simulasi digunakan untuk membantu penyelesaian persoalan dalam sistem yang sangat kompleks sehingga sangat sulit untuk diselesaikan secara matematik. Simulasi merupakan alat analisis numeris terhadap model untuk melihat sejauh mana input mempengaruhi pengukuran output atas performansi sistem. Pemahaman yang utama adalah bahwa simulasi bukan merupakan alat optimasi yang memberi suatu keputusan hasil namun hanya merupakan alat pendukung keputusan (decision support system). Dengan demikian, interpretasi hasil sangat tergantung kepada si pemodel.

Aplikasi simulasi dapat dilakukan pada beberapa permasalahan sistem, di antaranya: desain dan analisa sistem manufaktur, evaluasi suatu senjata militer sistem baru atau taktik, penetapan kebijakan pemesanan dan sistem persediaan, desain sistem komunikasi, desain dan operasi fasilitas transportasi, dan analisa keuangan atau sistem ekonomi

B. Model Simulasi Sistem

Dalam melakukan studi sistem sebenarnya simulasi merupakan turunan dari model matematik dimana sistem, berdasarkan sifat perubahannya sendiri dikategorikan menjadi 2, yaitu sistem diskrit dan sistem kontinyu. Sistem diskrit mempunyai maksud bahwa jika keadaan variabel-variabel dalam sistem berubah seketika itu juga pada poin waktu terpisah, misalnya pada sebuah bank dimana variabelnya adalah jumlah nasabah yang akan berubah hanya ketika nasabah datang atau setelah selesai dilayani dan pergi. Sedangkan sistem kontinyu mempunyai arti jika keadaan variabel-variabel dalam sistem berubah secara terus-menerus (kontinyu) mengikuti jalannya waktu, misalnya pesawat terbang yang bergerak di udara dimana variabelnya seperti posisi dan kecepatannya akan terus bergerak

Menurut Jerry Banks klasifikasi model simulasi terdiri atas tiga dimensi yang berbeda, yaitu :

1. Menurut kejadian perubahan sistem yang berlangsung: Model Simulasi Statis vs Dinamis

Model statis merupakan representasi dari sebuah sistem pada waktu tertentu, sedangkan model dinamis menggambarkan suatu sistem yang lambat laun terjadi tanpa batas waktu (contoh: Sistem konveyor).

2. Menurut kepastian dari probabilitas perubahan sistem: Model Simulasi Deterministik vs Stokastik

Model simulasi dikatakan deterministik jika dalam model tersebut mengandung komponen probabilitas yang pasti. Kebalikannya, model simulasi stokastik adalah model yang kemungkinan perubahannya sangat acak.

3. Menurut sifat perubahannya: Model Simulasi Kontinyu vs Diskrit
- Dalam simulasi sistem kontinyu, perubahan keadaan suatu sistem akan berlangsung terus-menerus seiring dengan perubahan waktu, sebagai contoh adalah perubahan debit air dalam sebuah tangki reservoir yang dilubang bagian bawahnya. Akan tetapi untuk simulasi sistem diskrit, perubahan keadaan sistem hanya akan berlangsung pada sebagian titik perubahan waktu, seperti perubahan sistem yang terjadi pada suatu sistem manufaktur dan penanganan material.

C. Beberapa Elemen dalam Model Simulasi

Beberapa bagian model simulasi yang berupa istilah-istilah asing perlu dipahami oleh pemodel karena bagian-bagian ini sangat penting dalam menyusun suatu model simulasi.

Entitas (*entity*)

Kebanyakan simulasi melibatkan 'pemain' yang disebut entitas yang bergerak, merubah status, mempengaruhi dan dipengaruhi oleh entitas yang lain serta mempengaruhi hasil pengukuran kinerja sistem. Entitas merupakan obyek yang dinamis dan simulasi. Biasanya entitas dibuat oleh pemodel atau secara otomatis diberikan oleh software simulasinya.

Atribut (*attribute*)

Setiap entitas memiliki ciri-ciri tertentu yang membedakan antara satu dengan yang lainnya. Karakteristik yang dimiliki oleh setiap entitas disebut dengan atribut. Atribut ini akan membawa nilai tertentu bagi setiap entitas. Satu hal yang perlu diingat bahwa nilai atribut mengikat entitas tertentu. Sebuah *part* (entitas) memiliki atribut (*arrival, time, due date, priority, dan color*) yang berbeda dengan *part* yang lain.

Variabel (*variable*)

Variabel merupakan potongan informasi yang mencerminkan karakteristik suatu sistem. Variabel berbeda dengan atribut karena dia tidak mengikat suatu entitas melainkan sistem secara keseluruhan sehingga semua entitas dapat mengandung variabel yang sama. Misalnya, panjang antrian, *batch size*, dan sebagainya.

Sumber daya (*resource*)

Entitas-entitas seringkali saling bersaing untuk mendapat pelayanan dari *resource* yang ditunjukkan oleh operator, peralatan, atau ruangan penyimpanan yang terbatas. Suatu *resource* dapat berupa grup atau pelayanan individu.

Antrian (*queue*)

Ketika entitas tidak bergerak (diam) hal ini dimungkinkan karena *resource* menahan (*size*) suatu entitas sehingga entitas yang lain menunggu. Jika *resource* telah kosong (melepas satu entitas) maka entitas yang lain bergerak kembali dan seterusnya demikian.

Kejadian (event)

Bagaimana sesuatu bekerja ketika simulasi dijalankan? Secara sederhana, semuanya bekerja karena dipicu oleh suatu kejadian. Kejadian adalah sesuatu yang terjadi pada waktu tertentu yang kemungkinan menyebabkan perubahan terhadap atribut atau variabel. Ada tiga kejadian umum dalam simulasi, yaitu *arrival* (kedatangan), *operation* (proses), *departure* (entitas meninggalkan sistem), dan *the end* (simulasi berhenti).

1. *Simulation Clock*

Nilai sekarang dari waktu dalam simulasi yang dipengaruhi oleh variabel disebut sebagai *simulation clock*. Ketika simulasi berjalan dan pada kejadian tertentu waktu dihentikan untuk melihat nilai saat itu maka nilai tersebut adalah nilai simulasi pada saat tersebut.

2. *Replikasi*

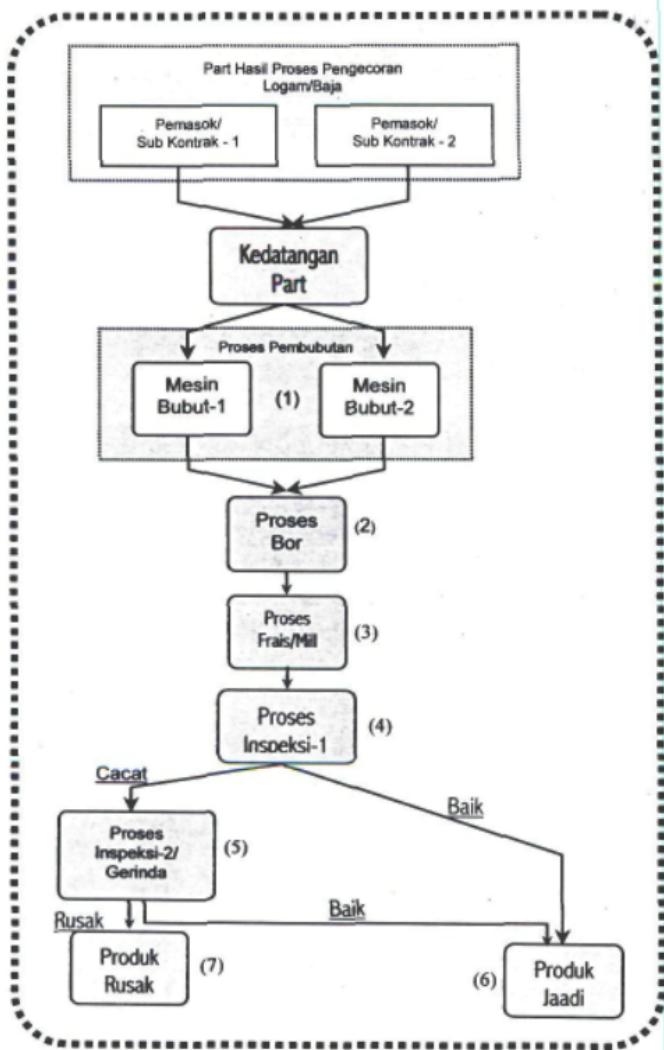
Replikasi mempunyai pengertian bahwa setiap menjalankan dan menghentikan simulasi dengan cara yang sama dan menggunakan set parameter input yang sama pula (*'identical' part*), tapi menggunakan masukan bilangan random yang terpisah (*'independent' part*) untuk membangkitkan waktu antar-kedatangan dan pelayanan (hasil-hasil simulasi). Sedangkan panjang waktu simulasi yang diinginkan untuk setiap replikasi disebut *length of replication*.

D. Validasi Data Input

Masalah yang diangkat dalam tulisan ini adalah peningkatan kinerja sistem manufaktur melalui re-alokasi jumlah sumberdaya peralatan melalui pendekatan model simulasi sistem diskrit. Sistem industri yang diamati adalah proses permesinan dan *finishing* pembuatan produk kopel kendaraan bermotor. Target dari pengembangan sistem yang dilakukan adalah kemampuan sistem untuk memproduksi sebanyak 1500 unit kopel setiap bulan dengan jumlah jam kerja 1600 jam atau 8 jam per hari. Adapun aliran proses sistem awal disajikan dalam gambar 1 di bawah ini.

Data-data yang digunakan dalam pemodelan kali ini meliputi data-data tingkat kedatangan *part*/entitas yang diterjemahkan dalam waktu antar kedatangan, waktu proses setiap stasiun kerja, waktu transfer antar stasiun kerja, probabilitas produk yang membutuhkan *re-work* dan probabilitas produk rusak.

Dari gambar 1 di bawah ini terlihat bahwa sistem produksi dari produk Kopel kendaraan bermotor ini merupakan rangkaian proses permesinan yang dilakukan oleh alat/mesin perkakas pada tiap prosesnya kecuali pada proses inspeksi-1 yang ditangani langsung oleh seorang pekerja. Mesin perkakas yang digunakan dalam sistem produksi tersebut adalah jenis bersifat manual (pada mesin Mill dan Gerinda) dan mesin perkakas yang sudah menggunakan sistem semi otomatis (pada mesin bubut dan mesin bor). Namun, karena obyek sistem yang diamati merupakan sistem yang hanya memproduksi satu jenis produk saja, maka mesin-mesin perkakas yang digunakan untuk memproduksi kopel hanya digunakan untuk memproduksi produk tersebut, sehingga hanya membutuhkan kegiatan *set-up* sekali saja, yaitu pada saat awal berproduksi. Karena ketika proses *loading* dan *unloading* hanya pada produk yang sama, sehingga waktu *loading* dan *unloading* untuk setiap unit produknya tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Dalam pengamatan yang dilakukan waktu proses diasumsikan merupakan gabungan dari waktu *loading*, waktu permesinan, dan waktu *unloading*. Sedangkan waktu *set-up*, karena hanya dilakukan pada saat awal kondisi inisial sistem, tidak akan disertakan. Asumsinya, ketika sistem produksi mulai dijalankan, seluruh mesin perkakas sudah *terset-up* untuk produk kopel ini, karena setiap mesin hanya akan menangani produk tersebut guna pemenuhan permintaan produk yang konstan.



Gambar 1. Aliran Proses Sistem Produksi yang diamati

Dari hasil pengamatan maka akan dilakukan sebuah proses Validasi Data Input. Validasi Data. Input merupakan proses untuk meyakinkan bahwa data-data yang diambil dari sistem nyata telah sesuai dan benar, sehingga siap untuk diolah dalam proses pembentukan model simulasi. Parameter uji yang digunakan dalam validasi data input meliputi uji kecukupan data, uji keseragaman data, dan uji distribusi data. Dari proses uji kecukupan dan keseragaman 30 buah data untuk setiap proses

maka hasilnya disajikan dalam bentuk tabel di bawah ini:

*Tabel 1. Ringkasan Hasil Uji Kecukupan dan Keseragaman Data
(Dalam Satuan Menit)*

Data	BKB	Rata-Rata	BKA	Uji Keseragaman	N	Uji Kecukupan
Waktu Proses Mesin Bubut-1	12,63	15,209	17,79	Seragam	12	Cukup
Waktu Proses Mesin Bubut-2	12,44	14,20	15,96	Seragam	6	Cukup
Waktu Proses Mesin Bor/Drill	6,810	7,123	7,437	Seragam	1	Cukup
Waktu Proses Mesin Frais/Mill	4,585	5,059	5,533	Seragam	4	Cukup
Waktu Proses Inspeksi-1	0,402	0,497	0,591	Seragam	15	Cukup
Waktu Proses Inspeksi-2	5,24	7,136	9,031	Seragam	28	Cukup
Waktu Trans. Ke Dept. Produksi	2,325	3,094	3,863	Seragam	24	Cukup
Waktu Trans. Antar Proses	0,734	1,016	1,298	Seragam	30	Cukup

Sebagai seorang pemodel, maka kita harus berusaha untuk mendekati mekanisme perubahan yang terjadi pada sistem nyata yang diamati. Pendekatan akan ketidakpastian perubahan sistem bergantung pada fungsi dari setiap elemen yang mempengaruhi sistem yang bersangkutan, yang pada umumnya fungsi tersebut berperilaku sebagai sebuah variabel random. Setiap elemen sistem nyata akan diteliti apakah memiliki karakteristik perubahan – yang diterjemahkan dalam bentuk ketidakpastian – yang sesuai dengan fungsi-fungsi teoritis yang sudah ada. Ketidakpastian perubahan sistem akan diterjemahkan dalam bentuk probabilitas yang pada akhirnya akan membentuk sebuah fungsi distribusi probabilitas. Pendugaan kecocokan antara distribusi probabilitas empiris dengan distribusi probabilitas teoritis sangat diperlukan dalam pembuatan model simulasi. Hal ini akan sangat berguna dan berpengaruh pada pembentukan model simulasi matematis berbasis komputer yang menggunakan analisis numeris yang diterjemahkan dalam bentuk program komputer. Pada kasus ini penulis menggunakan metode *heuristic* dalam menentukan distribusi probabilitas tertentu yang sesuai dengan masing-masing variabel sistem yang diamati.

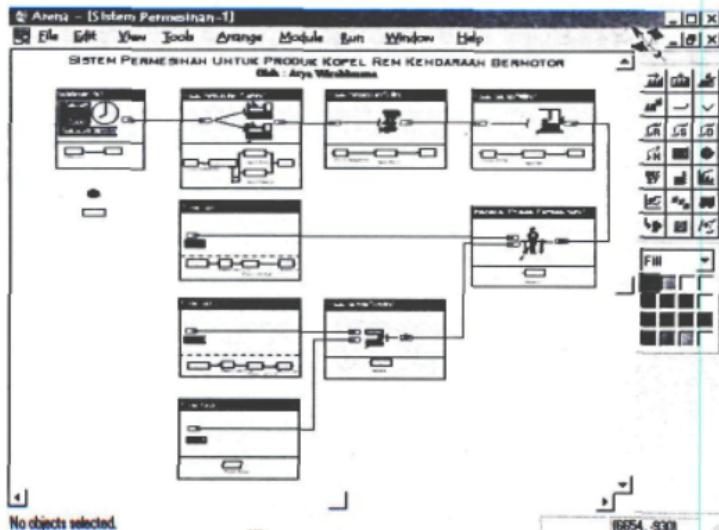
Di bawah ini adalah ringkasan hasil uji distribusi yang menggunakan metode *heuristic* dengan statistik uji *chi-square test* dan *kolmogorov-smirnov test*.

Tabel 2. Ringkasan Hasil Uji Distribusi Data Sampel

Data sampel	Distribusi	Parameter Distribusi
Waktu Proses Mesin bubut-1	Normal	NORM (15.2 , 1.27)
Waktu Proses Mesin bubut-2	Normal	NORM (14.3 , 0.961)
Waktu Proses Mesin Bor/Drill	Triangular	TRIA (6.74 , 7.16 , 7.47)
Waktu Proses Mesin Frais/Mill	Uniform	UNIF (4.62 , 5.58)
Waktu Proses Inspeksi-1	Triangular	TRIA (0.39 , 0.477 , 0.6)
Waktu Proses Inspeksi-2	Normal	NORM (7.13 , 0.93)
Waktu Transfer Part ke Dept. Produksi	Triangular	TRIA (2.26 , 3.22 , 3.91)
Waktu Transfer Antar Proses	Uniform	UNIF (0.76 , 1.3)

E. Translasi Sistem Nyata pada Model Simulasi

Setelah semua data input disiapkan, maka proses selanjutnya adalah translasi sistem nyata pada model. Model simulasi sistem yang disusun dalam makalah ini adalah model simulasi yang berbasis pada bahasa pemrograman SIMAN ver 5. Bahasa Program ini termasuk bahasa pemrograman simulasi tingkat tinggi yang memiliki karakteristik gabungan antara *process orientation* dan *event orientation*. Bahasa Program ini akan diterjemahkan oleh perangkat lunak ARENA ver 3.0 yang merupakan software simulator *object orientation*. Di bawah ini adalah tampilan visual dari model simulasi yang telah disusun.



Gambar 2. Bentuk Visual Model Simulasi

F. Validasi Model Simulasi

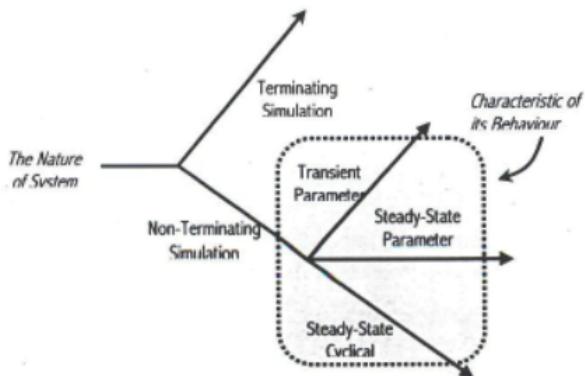
Setelah proses translasi dapat diselesaikan, maka langkah selanjutnya adalah Validasi Model. Validasi model merupakan langkah untuk menguji apakah model yang telah disusun dapat merepresentasikan sistem nyata yang diamati secara benar. Model dikatakan valid jika tidak memiliki karakteristik dan perilaku yang berbeda secara signifikan dari sistem nyata yang diamati. Guna menentukan ukuran kuantitatif validitas model digunakan alat uji statistik. Adapun uji yang dilakukan meliputi uji keseragaman data output, uji kesamaan dua rata-rata, uji kesamaan dua variansi, dan uji kecocokan distribusi (dua sisi). Di bawah ini adalah tabel ringkasan hasil proses pengujian validitas model:

Tabel 3. Ringkasan hasil Uji Validasi Model.

No.	Metode Validasi	Batas Kritis		Nilai Statistik Uji	Ketr.
		Kiri	Kanan		
1.	Keseragaman Output/data	61.4	52.6	Mean = 57	Valid
2.	Kesamaan Rata-rata. (t - test)	-2.04	-2.04	$T_{hit} = -1.91$	Valid
3.	Kesamaan Variansi. (F - Test)	0.476	2.101	$F_{hit} = 0.901$	Valid
4.	Kecocokan Distribusi Frekuensi. (χ^2 - Test)	$\chi^2_{hit} < 42.56$		$\chi^2_{hit} = 5.59$	Valid

G. Analisis Hasil Simulasi

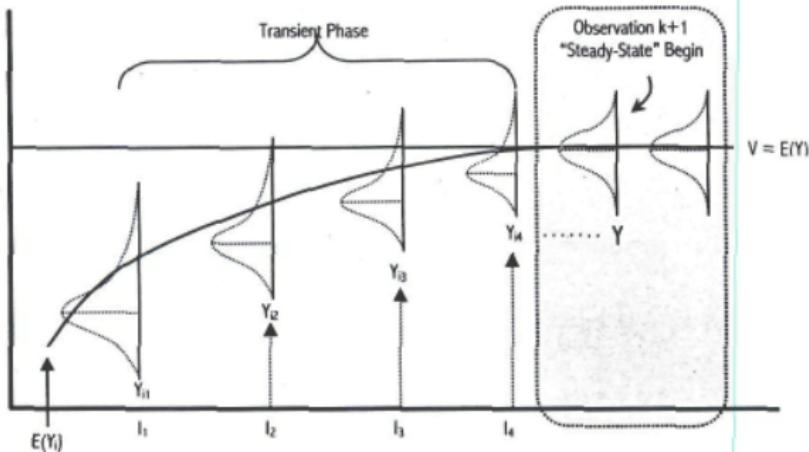
Dalam melakukan proses analisis output hasil simulasi, harus ditentukan terlebih dahulu metode yang tepat untuk menganalisisnya. Sebuah pilihan pendekatan, untuk menentukan metode analisis yang tepat dari suatu model simulasi adalah dengan menilai tipe simulasi yang ada. Berkenaan dengan metode analisis, simulasi dibedakan menjadi dua jenis yaitu "Terminating Simulation" dan "Non-Terminating Simulation". Perbedaan antara kedua tipe tersebut adalah ketergantungannya pada kejelasan untuk menghentikan proses simulasi.



Gambar.3. Tipe Simulasi Sistem Berkennaan dengan Metode Analisis Output/Hasil

Simulasi yang merepresentasikan sebab mekanisme kejadian yang memiliki *"initial condition"* dapat dikatakan sebagai sebuah simulasi yang bertipe *"terminating"*. Kondisi inisial dapat dipahami sebagai sebuah kondisi dimana keadaan sistem akan di-*"set-up"* seperti keadaan semula setiap akan melakukan simulasi.

Selain dari karakteristik tersebut di atas, maka dua hal yang biasanya menjadi perhatian dalam mengamati sebuah sistem selain ciri *"terminating"* dan *"non-terminating"* adalah fase perubahannya yaitu fase *"Transient"* dan fase *"Steady-State"*. Menurut Hoover [3], dalam menganalisis hasil simulasi perlu membedakan pengambilan data antara sistem yang masih berada dalam fase *"Transient"* dan fase *"Steady-State"*. Perbedaan antara *"Transient"* dan *"Steady-State"* dalam karakteristik sistem kadang sulit dipahami dan membingungkan dengan perbedaan simulasi *"Terminating"* dan *"non-Terminating"*. Akan tetapi pada kenyataannya sebagian besar sistem, *"terminating"* dan *"non-terminating"* memiliki kondisi dalam fase *"Steady-State"*.



Gambar. 4. Karakteristik Fungsi “Transient” dan “Steady State” pada Simulasi sistem Probabilistik/Stokastik

Dari kedua karakteristik di atas, maka sistem produksi yang diamati oleh penulis memiliki karakteristik yang sesuai dengan sistem *nonterminating* dimana proses yang terjadi pada suatu sistem tidak dibatasi oleh waktu, artinya bahwa sistem produksi hanya memerlukan satu kali kondisi inisial pada saat dimulai dan tidak memerlukan reinisialisasi kembali seperti halnya yang berlaku pada sistem antrian sebuah bank yang akan selalu berada dalam kondisi inisial setiap pagi hari.

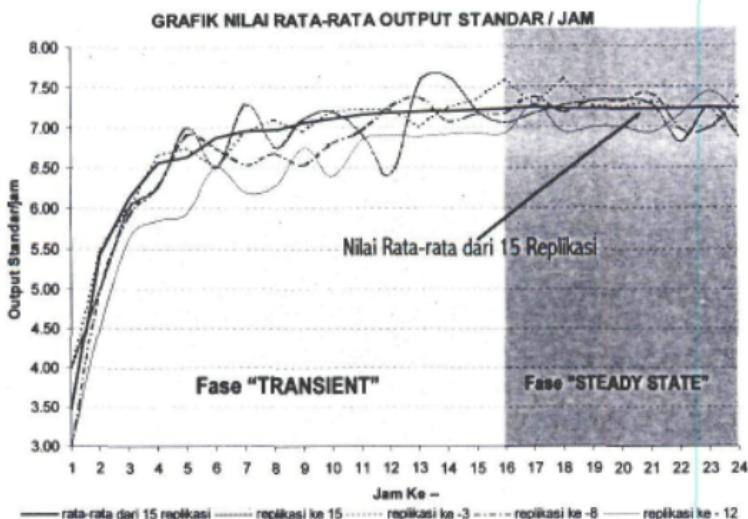
Untuk menganalisis output hasil simulasi sistem nyata dalam kajian ini, penulis memilih metode analisis Pengelompokan Nilai Rata-Rata atau *Batching Mean Methods*. Pertimbangan penulis memilih metode ini adalah karena metode *Batching Mean Methods* lebih cocok dan dapat menghilangkan kecenderungan bias yang dimiliki oleh metode-metode lain seperti metode replikasi, *metode Sequential Batch* ataupun *metode Regenerasi Sistem*.

Dua masalah yang merupakan kelemahan metode replikasi adalah biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk komputasi pengulangan simulasi terutama pada sistem yang kompleks serta penentuan rentang waktu selama simulasi berada pada *fase transient*. Metode Pengelompokan nilai rata-rata berusaha mengurangi hal tersebut, tetapi tidak menghilangkan kedua masalah tersebut. Dalam metode ini kita tidak melakukan simulasi dalam jumlah replikasi yang banyak, melainkan

hanya perlu satu replikasi dengan rentang waktu simulasi yang panjang dan secara periodik me-"*resel*" ukuran statistik yang dihasilkan dengan cara mengelompokkan dalam suatu rentang waktu tertentu. Dalam proses me-"*resel*" ukuran-ukuran statistik yang dihasilkan biasanya di-dasarkan pada unit waktu tertentu atau jumlah kejadian definitif yang ada seperti jumlah antrian. Artinya sebagai contoh kita dapat menggunakan dasar waktu simulasi sebagai satuan pengelompokan ataupun jumlah kejadian sebagai dasar pengelompokan atau pembentukan "*batch*". Dalam menentukan "*batch*" antara proses "*resel*" ukuran statistik, maka setiap interval "*batch*" tersebut harus memiliki interval waktu yang cukup dan dalam setiap pengambilan ukuran statistik dari masing-masing interval harus diusahakan sebagai proses yang independen dan sampel harus random. Oleh karena itu, sebelum diadakan pengambilan ukuran statistik dari masing-masing interval sampel, harus terlebih dahulu diyakinkan bahwa masing-masing sampel independen dan random. Alat uji yang digunakan adalah "*Runs Test*" dan Uji Tanda/ "*Sign Test*".

Langkah pertama dalam prosedur analisis yang menggunakan metode *batch mean* adalah mengestimasikan panjang waktu simulasi minimal yang diperbolehkan sebelum diadakan pengambilan data statistik dari hasil simulasi. Waktu minimal tersebut ditandai pada saat sistem mulai berpindah dari *fase Transient* ke *fase Steady-State*. Untuk mengestimasi kapan sistem memasuki *fase Steady State*, maka akan digunakan metode grafis untuk menunjukkan perubahan keadaan sistem yang diamati. Parameter yang akan digunakan adalah output rata-rata per jam. Artinya, Sistem diasumsikan akan memasuki *fase Steady-State* saat parameternya, yaitu output rata-rata/jam tidak mengalami perubahan yang berarti.

Sebagai langkah pertama sistem akan disimulasikan selama 24 jam sebanyak 15 replikasi dan akan dilakukan pencacatan perkembangan jumlah output secara kumulatif setiap jam. Dari Simulasi yang dilakukan, maka didapat hasil sebagai berikut:



Gambar 5. Estimasi Fase "STEADY STATE" Pada model Simulasi

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa parameter output rata-rata/jam mulai dari jam ke-16 simulasi dijalankan akan mengalami keadaan yang relatif konstan, yang pada akhirnya akan konstan pada angka 7.22 unit/jam. Hal tersebut mengindikasikan, bahwa dari 15 kali replikasi yang dilakukan, maka pada jam ke-16 model sistem akan memasuki fase *Steady State* dimana probabilitas perubahan keadaannya relatif stabil. Untuk itu penulis menentukan bahwa simulasi akan dijalankan selama 80 jam kerja atau untuk 2 minggu periode produksi. Hal tersebut didasarkan bahwa selama waktu tersebut kemungkinan besar sistem telah berada dalam kondisi *Steady State*. Untuk ukuran batch ditentukan 4 jam. Tabel 5 di bawah menunjukkan ringkasan hasil analisis model simulasi menggunakan metode *Batch Mean*. Dengan cara yang sama maka untuk variabel-variabel lain selain tingkat output rata-rata/jam dapat ditampilkan nilai hasil simulasi yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. Ringkasan Ukuran Kinerja Model Simulasi Awal

Ukuran Kinerja		Rata-rata
Output/Jam (unit)		6.906
Produktifitas rata-rata (output/input)		69.06%
Waktu siklus Produk Jadi-1 (jam)		4.48
Waktu Siklus Produk Jadi-2 (jam)		4.37
Jumlah antrian pada stasiun Pembubutan (unit)		17.383
Utilitas Rata-rata Mesin Bubut		92.04%
Jumlah Antrian pada Proses Bor (unit)		0.309
Utilitas Rata-rata Mesin Bor		87.85%

Tabel 5. Ringkasan Hasil Simulasi dan Uji "Sign Test" pada metode "Batch Mean"

Batch ke-	Waktu Akhir Sim. (Menit)	Produk Jadi			Rata-rata Produk Per Jam	Sign	R	Data Riel Per hari	Data Ril Per jam	Square Error	Absolut Error
		1	2	Total							
1	240	15	12	27	6,75	+	1	53	6,63	0,02	0,13
2	480	36	18	54	6,75	+	0	55	6,88	0,02	0,13
3	720	59	25	84	7,00	+	0	54	6,75	0,06	0,25
4	960	81	35	116	7,25	+	0	54	6,75	0,25	0,50
5	1200	105	42	147	7,35	+	0	56	7,00	0,12	0,35
6	1440	124	52	176	7,33	--	1	54	6,75	0,34	0,58
7	1680	142	63	205	7,32	--	0	56	7,00	0,10	0,32
8	1920	153	76	229	7,16	--	0	60	7,50	0,12	0,34
9	2160	187	83	270	7,50	+	1	59	7,38	0,02	0,13
10	2400	217	73	290	7,25	--	1	56	7,00	0,06	0,25
11	2640	210	93	303	6,89	--	0	52	6,50	0,15	0,39
12	2880	247	54	301	6,27	--	0	59	7,38	1,22	1,10
13	3120	265	67	332	6,38	+	1	59	7,38	0,98	0,99
14	3360	276	73	349	6,23	--	1	56	7,00	0,59	0,77
15	3600	287	114	401	6,68	+	1	55	6,88	0,04	0,19
16	3840	350	123	473	7,39	+	0	57	7,13	0,07	0,27
17	4080	338	127	465	6,84	--	1	57	7,13	0,08	0,29
18	4320	261	119	380	5,28	--	0	58	7,25	3,89	1,97
19	4560	405	147	552	7,26	+	1	55	6,88	0,15	0,39
20	4800	418	161	579	7,24	--	1	57	7,13	0,01	0,11
10								8,29 9,44			

Rata-Rata Produk Per jam total 20 batch

6,906

Standar deviasi Produk Per jam Total 20 batch

0,541

Variansi Produk Per jam Total 20 batch

0,278

n =

20

R =

10

Runs Test:

$$E(R) = (2n - 1)/3$$

13

Mean Square Error 0,41

$$Var(R) = (16n - 29)/90$$

3,233

Mean Absolute Error 0,47

$$SDev(R) = \sqrt{Var(R)}$$

1,798

((0,975, 19)*(3,233/sqr(20))) 1,513

H. Desain Pengembangan Model

Proses pengembangan sistem dilakukan dengan dasar identifikasi stasiun-stasiun proses yang menjadi titik hambat. Pada stasiun - stasiun proses yang menjadi titik hambat akan dilakukan penambahan alokasi sumber daya peralatan guna meningkatkan kinerjanya. Akan tetapi, penambahan pada satu stasiun kerja belum tentu akan meningkatkan kinerja secara keseluruhan, bisa jadi hanya akan meningkatkan kinerja pada stasiun proses tersebut dan memindahkan titik hambat yang ada. Oleh karenanya penambahan jumlah alokasi sumberdaya peralatan harus didasarkan pada pandangan kolektifitas sistem. Hal tersebut akan membuat proses penambahan Alokasi sumberdaya tidak bisa dilakukan dengan sekaligus, akan tetapi harus dengan proses iteratif sampai diperoleh hasil yang diharapkan.

Jika melihat pada tabel 4, maka terjadi antrian barang dalam proses yang cukup besar pada stasiun pembubutan. Maka, untuk proses pengembangan iterasi pertama dilakukan penambahan satu unit mesin bubut pada stasiun tersebut. Dari skenario ini, maka kita harus melakukan modifikasi pada model program simulasi yang telah disusun. Dan setelah program tersebut dimodifikasi, maka dilakukan kembali analisis terhadap hasilnya, yang ditampilkan pada tabel 6 di bawah ini.

Dari tabel tersebut ternyata diperoleh hasil bahwa ternyata stasiun yang menjadi titik hambat berpindah dari stasiun pembubutan ke stasiun pengeboran, dengan demikian kita juga harus melakukan penambahan sumber daya peralatan pada stasiun tersebut.

Tabel 6. Ringkasan Ukuran Kinerja Model Pengembangan - 1

Ukuran Kinerja	Rata-rata
Output/Jam (unit)	7.788
Produktifitas Rata-rata (output/input)	77.88%
Waktu siklus Produk Jadi-2 (jam)	9.75
Waktu Siklus Produk Jadi-1 (jam)	9.36
Jumlah Antrian pada Stasiun Pembubutan (unit)	6.210
Utilitas Rata-rata Mesin Bubut	61.06%
Jumlah Antrian pada Proses Bor (unit)	51.945
Utilitas Rata-rata Mesin Bor	97.61%

Tabel 7. Ringkasan Ukuran Kinerja Model Pengembangan -2

Ukuran Kinerja	Rata-rata
Output/Jam (unit)	9.438
Produktifitas Rata-rata (output/input)	94.38%
Waktu Siklus Produk Jadi-2 (jam)	2.41
Waktu Siklus Produk Jadi-1 (jam)	2.21
Jumlah Antrian pada Stasiun Pembubutan (unit)	4.963
Utilitas Rata-rata Mesin Bubut	80.83%
Jumlah Antrian pada Proses Bor (unit)	0.199
Utilitas Rata-rata Mesin Bor	59.29%

Proses pengembangan seperti itu harus dilakukan terus-menerus secara iteratif sampai hasil yang dikehendaki. Tabel dibawah ini menunjukkan Ringkasan Hasil Proses desain pengembangan model sistem yang didasari pada penambahan alokasi sumberdaya peralatan. kinerja sistem yang diwakili oleh parameter Jumlah Output per hari (8 jam).

Tabel 8. Ringkasan Hasil Pengembangan Sistem dalam 4 Iterasi

Iterasi Ke-	Skenario Pengembangan	Output Standar (unit)		Kenaikan Inkremental
		Per Hari (8 jam)	Per Bulan (25 hari)	
0	Model Awal	55,25	1381,25	0
1	Penambahan 1 unit mesin	62,3	1557,5	167,25
2	Penambahan 2 unit mesin	75,5	1887,5	330
3	Penambahan 3 unit mesin	81,4	2035	147,5
4	Penambahan 4 unit mesin	92,8	2320	285

Sedangkan alokasi tempat penambahan sumberdaya peralatan sesuai dengan pergerakan titik hambat disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 9. Skenario Alokasi Penambahan Sumberdaya Peralatan

Penambahan Mesin Ke	Stasiun Proses Yang ditambah alokasinya	Stasiun Proses Titik Hambat
0 (model awal)	Tidak Ada	Pembubutan (Lathing)
1	Pembubutan (Lathing)	Pengeboran (Drilling)
2	Pengeboran (Drilling)	Pembubutan (Lathing)
3	Pembubutan (Lathing)	Frais (Milling)
4	Frais (Milling)	Pembubutan (Lathing)
5	Pembubutan (Lathing)	Pembubutan (Lathing)
6	Pembubutan (Lathing)	Pengeboran (Drilling)
7	Pengeboran (Drilling)	Frais (Milling)

DAFTAR PUSTAKA

- Banks, J., J.S. Carson, and B.L. Nelson, *Discrete-Event System Simulation*, New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- Hoover, Stewart V. & Ronald F Perry, *Simulation: A Problem Solving Approach*, USA: Addison Wesley, 1990.
- Kelton, D.W., Averill m Law, Deborah A Sadowsky, *Simulation with Arena*, USA: WCB McGraw-Hill, 1998.
- Laboratorium Simulasi Sistem Industri dan Manajemen Bisnis (SIMBI), *Modul Praktikum Simulasi Sistem*, Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, 1998.
- Law, A.M., and David W Kelton, *Simulation Modeling and Analysis*, New York: McGraw-Hill, 1991.
- Simatupang, Togar, *Pemodelan Sistem*, Klaten: Nindita, 1996.
- Sudjana, *Metode Statistika*, Bandung: Tarsito, 1996.
- Wirabhuana, Arya, *Desain Peningkatan Kinerja Sistem Manufaktur dengan Pendekatan Simulasi Sistem Diskrit*, Skripsi, 2000.
- , *ARENA User's Guide*, Systems Modeling Corp, 1995.