

**PEMODELAN DAN SIMULASI PROSES PRODUKSI
PT. SERMANI STEEL UNTUK PENINGKATAN
KAPASITAS PRODUKSI**

*MODELLING AND SIMULATION OF PT. SERMANI STEEL
PRODUCTION PROCESS TO INCREASE
PRODUCTION CAPACITY*

RUSDI NUR



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2008

**PEMODELAN DAN SIMULASI PROSES PRODUKSI
PT. SERMANI STEEL UNTUK PENINGKATAN
KAPASITAS PRODUKSI**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Mesin

Disusun dan diajukan oleh

RUSDI NUR

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2008

TESIS

PEMODELAN DAN SIMULASI PROSES PRODUKSI PT. SERMANI STEEL UNTUK PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI

Disusun dan diajukan oleh

RUSDI NUR

Nomor Pokok P2203206001

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 20 Agustus 2008
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui:

Komisi Penasihat,

Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA.

Ketua

Ketua Program Studi
Teknik Mesin,

Prof. Dr. Ir. Effendy Arif, M.Eng.

Anggota

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin,

Prof. Dr. Ir. Effendy Arif, M.Eng.

Prof. Dr. dr. A. Razak Thaha, M.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Rusdi Nur**
Nomor Mahasiswa : **P2203206001**
Program Studi : **Teknik Mesin**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makasar, 20 Agustus 2008

Yang menyatakan,

Rusdi Nur

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah Yang Maha Kuasa, hanya atas rahmat dan karuniaNya, sehingga penyusunan tesis yang berjudul “ **Pemodelan dan Simulasi Proses Produksi PT. Sermani Steel untuk Peningkatan Kapasitas Produksi** “ dapat terselesaikan. Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik (MT) di Universitas Hasanuddin.

Dalam penulisan Tesis ini, penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. dr. Razak Thaha, MPH. sebagai Direktur Pascasarjana Universitas Hasanudin.
2. Prof. Dr. Ir. Effendy Arif, M.Eng, sebagai Ketua Program Studi Teknik Mesin dan sekaligus sebagai pembimbing II.
3. Prof. Dr. Ir. Duma Hasan, DEA., sebagai pembimbing I.
4. H. Suardi Bakri, sebagai pembimbing lapangan di PT. Sermani Steel.
5. Ayahanda, Ibunda, dan saudara-saudaraku, Asmeati isteriku, Ainayah anakku tercinta.
6. Seluruh Staf dan karyawan PT. Sermani Steel Makassar
7. Semua teman S₂ Teknik Mesin khususnya konsentrasi Tekni k Industri.

Penyusun menyadari bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan dalam penyusunan tesis ini, untuk itu kritik dan saran sangat diharapkan demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya, semoga tesis ini mempunyai manfaat bagi pembaca.

Makassar, Agustus 2008

Rusdi Nur

ABSTRAK

RUSDI NUR. *Pemodelan Dan Simulasi Proses Produksi PT. Sermani Steel Untuk Peningkatan Kapasitas Produksi* (dibimbing oleh Duma Hasan dan Effendy Arif)

Penelitian ini bertujuan (1) mengetahui model proses produksi pada P T. Sermani Steel (2) menentukan model simulasi proses produksi yang dapat meningkatkan kapasitas produksi sesuai target (minimal 15%)

Guna mendapatkan gambaran kondisi pabrik yang sebenarnya, model simulasi dibangun dengan simulator *Extend 4*. Melalui simulasi ini penyebab timbulnya ketidaklancaran aliran proses dalam proses produksi yang sedang berjalan dapat diidentifikasi, begitu juga halnya dengan tingkat utilisasi mesin pada masing-masing stasiun kerja. Dengan begitu melalui simulasi ini diharapkan dapat diperoleh model yang bisa meningkatkan kapasitas produksi dan mengoptimalkan utilisasi peralatan pabrik. Skenario yang dibuat meliputi pengaturan prioritas penggunaan *crane*, penambahan *crane*, pemindahan mesin yang letaknya agak berjauhan dengan area produksi, penambahan jam operasi pada stasiun kerja yang menjadi *bottleneck* sistem.

Dari penelitian ini diketahui bahwa area kerja yang menjadi *bottleneck* adalah stasiun *galvanizing*, hal ini ditandai dengan tingkat utilisasi yang paling tinggi dengan laju produksi yang paling rendah. Dengan memindahkan mesin *corrugation* dan *overhead crane* agar lebih dekat ke *galvanizing line* diperoleh peningkatan produksi sebesar 0,43%. (skenario 5). Menambah 1 unit *overhead crane* pada buffer 1 diperoleh peningkatan produksi sebesar 0,47% (skenario 3). Menambah jam operasi stasiun *galvanizing* dari 6 hari kerja/minggu menjadi 7 hari kerja/minggu dapat meningkatkan kapasitas produksi sebesar 12,84% (skenario 4). Memindahkan mesin *small corrugation* dan *overhead crane* dan menambah jam operasi stasiun *galvanizing* dapat meningkatkan kapasitas produksi sebesar 16,76% (Skenario 7). Menambah 1 unit *galvanizing line* dan *crane* dapat meningkatkan kapasitas produksi sebesar 43,92% (skenario 6).

Kata Kunci: Simulasi, Peningkatan Laju Produksi, Utilisasi Mesin.



ABSTRACT

RUSDI NUR. *Modelling and Simulation of PT. Sermani Steel Production Process to Increase Production Capacity* (supervised by Duma Hasan and Effendy Arif)

This research aimed to (1) find out the production process model of PT. Sermani Steel (2) get the simulation model of production process be able to improve capacities of minimum 15%.

In order to understand proficiently of the real factory condition, Extend 4 using to modeled production process. Simulation is one of the most effective methods in the evaluating the capacity and equipment utilization, comparing the performance of alternative designs of manufacturing systems and providing appropriate recommendations leading to improved performance. The objective of this project was to simulate the production process and evaluate effectiveness of the process in terms of machine and system performance. Particularly, increasing throughput and optimize equipment utilization.

Results from the current system identified galvanizing work area as the bottleneck resulting in high machine utilization but low production rate. Based on these results, optimum production capacity identified through use of scenarios by re-arrangement small corrugation machine, obtained production increase up to 0,43% (Scenario 5). By changing the number of hours worked per week (Scenario 4), obtained production increase up to 12,84%, by combined of Scenario 4 and Scenario 5 (Scenario 7) obtained production increase up to 16,76% and by adding the galvanizing line and crane (Scenario 6) obtained production increase up to 43,92%.

Key Words: Simulation, Production Rate Increasing, Machine Utilization.



DAFTAR ISI

	halaman
PRAKATA	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Kegunaan Penelitian	6
E. Batasan Penelitian	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
A. Proses Produksi	8
B. Teori dan Sistem Pemodelan	13
C. Simulasi	18
D. Pemilihan Distribusi Probabilitas	27
III. METODOLOGI PENELITIAN	31
A. Rancangan Penelitian	31
B. Prosedur Penelitian	32

IV. PEMODELAN SISTEM DAN PENGOLAHAN DATA	38
A. Gambaran Umum Sistem	38
B. Ukuran Performasi Sistem	41
C. Pembangunan Mode; Simulasi	41
D. Distribusi Data Proses Produksi	53
E. Validasi Model Simulasi	58
F. Pembuatan dan Running Model Alternatif	61
V. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	77
A. Analisa Perbandingan	77
B. Skenario yang direkomendasikan	87
VI. PENUTUP	91
A. Kesimpulan	91
B. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	94

DAFTAR TABEL

nomor		halaman
4.1	Hasil Uji Distribusi Data Waktu Penyetelan Mesin	54
4.2	Distribusi data proses pada mesin <i>Shearing</i>	55
4.3	Distribusi data proses pada mesin <i>Feeder</i>	55
4.4	Distribusi data proses pada <i>Cleaning Line</i>	56
4.5	Distribusi data proses pada Bak <i>Galvanizing</i> dan <i>Drying</i>	56
4.6	Distribusi data proses pada Stasiun Inspeksi	57
4.7	Distribusi data proses pada Stasiun <i>Big Corrugation</i>	57
4.8	Distribusi data proses pada Stasiun <i>Small Corrugation</i>	58
4.9	Data dari <i>Small Trial Sample</i>	58
4.10	Data Laju Produksi dari Model Referensi	60
4.11	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 1	63
4.12	Data WIP dari Model dengan Skenario 1	64
4.13	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 2	65
4.14	Data WIP dari Model dengan Skenario 2	66
4.15	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 3	67
4.16	Data WIP dari Model dengan Skenario 3	68
4.17	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 4	69
4.18	Data WIP dari Model dengan Skenario 4	70
4.19	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 5	71
4.20	Data WIP dari Model dengan Skenario 5	72
4.21	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 6	74
4.22	Data WIP dari Model dengan Skenario 6	74
4.23	Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 7	75
4.24	Data WIP dari Model dengan Skenario 7	76
5.1	Kapasitas Produksi, WIP, Utilisasi dan Kerugian Utilisasi	86

DAFTAR GAMBAR

nomor		halaman
1.	Diagram Alir dan Proses Produksi PT. Sermani Steel	94
2.	Tabel Utilisasi Model Referensi dan Model Alternatif	95
3.	Uji Hipotesa antara Model Referensi dan Model Alternatif	103
4.	Tabel Jumlah Produksi dan <i>Uptime</i> Stasiun <i>Galvanizing</i>	108
5.	Tabel Jumlah Produksi Tahun 2007/2008	109
6.	Tabel Jadwal Produksi Harian Stasiun <i>Galvanizing</i>	110
7.	Data <i>Batch Quantity</i> , Berat (kg) dan Luasan	112
8.	Tabel Berat Coil	113
9	Tabel Waktu Proses Stasiun <i>Shearing</i>	114
10	Tabel Waktu Proses Mesin <i>Feeder</i> (Stasiun <i>Galvanizing</i>)	115
11	Tabel Waktu Proses Bak Cleaning	116
12	Tabel Waktu Proses Ulang Bak Cleaning	117
13	Tabel Waktu Proses Bak Galvanizing	118
14	Tabel Waktu Proses Drying and Stamp	119
15	Tabel Waktu Proses Inspeksi	120
16	Tabel Waktu Proses Mesin <i>Big Corrugation</i>	121
17	Tabel Waktu Proses Mesin <i>Small Corrugation</i>	123
18	Model Simulasi Skenario	125
19	Jarak Tempuh Crane	133

DAFTAR LAMPIRAN

nomor		halaman
1.1	Variasi Produk Berdasarkan Ketebalan Produk	2
1.2	Variasi Produk Berdasarkan Panjang Produk	2
2.1	Aliran Produksi Massal	11
2.2	Aliran Produksi <i>Batch</i>	11
2.2	Aliran Produksi Proyek	12
2.4	Cara untuk Mengamati Sistem	18
2.3	Contoh Pemodelan dengan <i>Extend</i>	27
3.1	Diagram Alir Penelitian	31
4.1	Denah <i>Lay Out</i> PT. Sermani Steel	42
4.2	Model Konseptual Proses Produksi PT Sermani Steel	47
4.3	Model Simulasi dari Proses Produksi PT Sermani Steel	49
4.4	Kalkulasi Data yang Menjadi Masukan Bagi Model Simulasi Stasiun <i>Shearing</i>	50
4.5	Kalkulasi Data yang Menjadi Masukan Bagi Model Simulasi Stasiun <i>Galvanizing</i>	52
4.6	Kalkulasi Data yang Menjadi Masukan Bagi Model Simulasi Stasiun <i>Corrugation</i>	53
4.7	Pengaturan <i>Crane</i> pada Model dengan Skenario 1	62
4.8	Pengaturan <i>Crane</i> pada Model dengan Skenario 2	64
4.9	Pengaturan <i>Crane</i> pada Model dengan Skenario 3	67
4.10	Pengaturan <i>Crane</i> pada Model dengan Skenario 5	70
4.11	Pengaturan <i>Crane</i> pada Model dengan Skenario 6	73
5.1	Tingkat Utilisasi per Skenario	87
5.2	Kapasitas Produksi per Skenario	88
5.3	Kerugian Utilisasi per Skenario	88
5.4	<i>Work in Process</i> per Skenario	89

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/singkatan	Arti dan keterangan
α	Parameter skala
β	Parameter bentuk
D	Uji statistik untuk membandingkan $F_n(x)$ dengan $\hat{F}(x)$
$E(\lambda)$	Distribusi eksponensial
$E(x)$	<i>Mean</i> (rata-rata) dari data yang akan diestimasi
f	Fungsi kepadatan terpadu
$F_n(x)$	Fungsi distribusi empirik
$\hat{F}(x)$	Distribusi yang dihipotesiskan
γ	Parameter lokasi
δ	Koefisien variasi
H_0	x mengikuti distribusi kontinyu tertentu
H_1	x mengikuti distribusi kontinyu yang lain
$L(\theta)$	Fungsi <i>likelihood</i>
n	Jumlah data
θ	Parameter distribusi
$\bar{\theta}$	Rata-rata dari parameter distribusi
s	Standar deviasi
$\text{Var}(x)$	<i>Varians</i> dari data yang akan destinasi
x	Variabel acak
\bar{x}	Nilai rata-rata dari variabel acak yang terkumpul

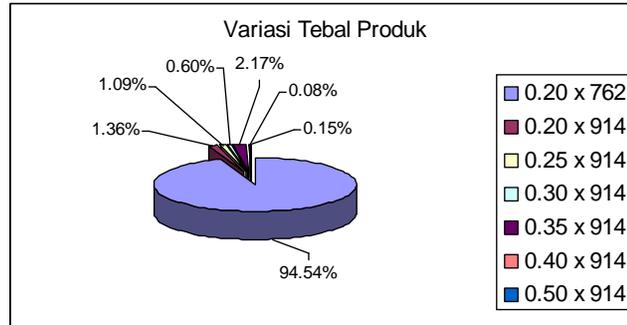
□□□□

□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□ □□□□□□

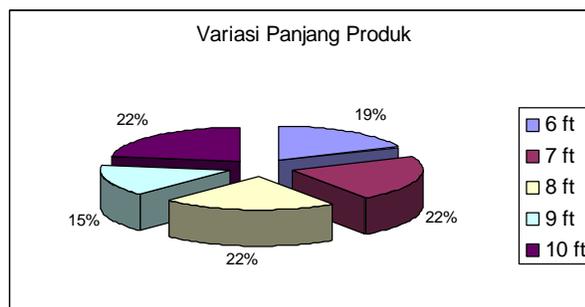
Secara umum tujuan suatu industri manufaktur adalah untuk memproduksi barang secara ekonomis agar dapat memperoleh keuntungan serta dapat menyerahkan produk tepat waktu. Selain itu industri manufaktur juga ingin agar proses produksi dapat kontinu dan berkembang sehingga kelangsungan hidup perusahaan terjamin. Sekarang ini perusahaan juga dituntut untuk lebih kompetitif sehingga mampu bersaing merebut pasar yang ada. Salah satu langkah untuk mewujudkan ini adalah melalui pengembangan sistem operasional dan pemrosesan dengan mengeliminasi tahapan operasi yang tidak perlu .

PT. Sermani Steel adalah industri manufaktur yang memproduksi baja lembaran lapis seng (seng gelombang). Proses manufaktur dari industri ini adalah *surface processing* yang terdiri dari tahapan *shearing*, *cleaning*, *hot deep galvanizing* dan *corrugation*. Pada stasiun *shearing*, material berupa gulungan baja dipotong sesuai ukuran yang diinginkan. Proses *cleaning*, *hot deep galvanizing* dan *drying* disatukan dengan *motorized roller conveyor* dalam stasiun *galvanizing*. Pada stasiun ini lembaran baja dibersihkan, dilapisi dengan seng dan kemudian dikeringkan. Selanjutnya lembaran seng dibuat bergelombang pada stasiun *corrugation*.



Gambar 1.1 Variasi Produk Berdasarkan Ketebalan Produk
(Sumber: PT. Sermani Steel, 2008).

Jenis seng yang diproduksi adalah baja lembaran lapis seng (seng gelombang) dari berbagai ukuran dan ketebalan. Gambar 1.1 menunjukkan jenis variasi produk yang dihasilkan oleh PT. Sermani Steel berdasarkan ketebalan produk, sedangkan Gambar 1.2 menunjukkan variasi produk berdasarkan panjang produk.



Gambar 1.2 Variasi Produk Berdasarkan Panjang Produk
(Sumber: PT. Sermani Steel, 2008).

Pada saat ini kapasitas produksi PT. Sermani Steel secara keseluruhan mencapai kurang lebih 10.716.441 kg per tahun. Menurut pihak manajemen, jumlah ini masih kurang dibanding permintaan pasar, karena berapapun jumlah produk yang bisa dihasilkan saat ini, tetap bisa

diterima pasar. Hal ini tentu saja merupakan suatu kerugian besar bagi industri ini, karena tidak mampu memenuhi permintaan yang ada, yang berarti kesempatan untuk memperoleh keuntungan yang lebih besar tidak bisa dimanfaatkan. Agar mampu memenuhi kebutuhan pasar sekarang, pihak manajemen harus bisa meningkatkan kapasitas produksinya minimal 15% dari *output* saat ini.

Saat ini di pasaran bermunculan berbagai produk yang menjadi pesaing antara lain adanya genteng metal dengan berbagai macam model. Hal lain yang memperlemah daya saing produk seng gelombang adalah kenaikan biaya produksi akibat adanya kenaikan harga material, bahan bakar dan tarif listrik. Solusi yang paling realistis adalah meningkatkan kapasitas produksi dengan optimalisasi penggunaan peralatan yang ada serta mengidentifikasi dan mengeliminasi tahapan operasi yang tidak perlu. Dengan demikian diharapkan biaya produksi per unit bisa ditekan sehingga produk seng gelombang ini memiliki keunggulan dari segi harga jual.

Saat ini di pasaran bermunculan berbagai produk yang menjadi pesaing antara lain adanya genteng metal dengan berbagai macam model. Hal lain yang memperlemah daya saing produk seng gelombang adalah kenaikan biaya produksi akibat adanya kenaikan harga material, bahan bakar dan tarif listrik. Solusi yang paling realistis adalah meningkatkan laju produksi dengan optimalisasi penggunaan peralatan yang ada serta mengidentifikasi dan mengeliminasi tahapan operasi yang tidak perlu. Dengan demikian diharapkan biaya produksi per unit bisa ditekan sehingga produk seng gelombang ini memiliki keunggulan dari segi harga jual.

Salah satu cara analisa yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan pada fasilitas produksi adalah menggunakan pendekatan simulasi. Choi et al. (2002) menggunakan simulasi untuk mengidentifikasi *bottleneck* dan mengevaluasi performansi mesin serta data produksi untuk pengawasan produksi yang lebih efisien. Dari hasil simulasi diperoleh area yang menjadi *bottleneck* di dalam sistem dan jumlah mesin *assembly* optimum yang harus ditambahkan pada area tersebut. Selain itu dari simulasi juga diketahui *utilization rate* personil yang rendah pada beberapa stasiun kerja sehingga disarankan agar sistem produksinya dibuat otomatis atau semi otomatis.

Pada dasarnya perbaikan yang dilakukan pada suatu subsistem akan sangat berpengaruh pada sistem secara keseluruhan, apalagi perbaikan ini dilakukan pada suatu proses produksi dimana proses yang dikerjakan saling berhubungan. Dengan pendekatan simulasi, maka kondisi sistem secara keseluruhan akan dapat diketahui, sehingga informasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan kebijaksanaan yang akan diambil. Petrides (2001) menyarankan untuk menggunakan skenario penambahan *batch size* maksimum disertai pengurangan *plant cycle time*, dimana pengurangan *cycle time* dapat dilakukan dengan penataan ulang urutan penggunaan peralatan (terutama untuk peralatan yang dipakai bersama). Hal ini telah diterapkan pada simulasi industri *bio-manufacturing*, dan ternyata bisa memberikan peningkatan *throughput* sebesar 53,73%.

Oraifige (2004) menggunakan simulasi untuk mengevaluasi sistem produksi dari sebuah industri garmen. Dari hasil simulasi diketahui bahwa utilisasi departemen *knitting* mencapai 98% utilisasi, sedangkan departemen lainnya seperti *sewing* dan *cutting* hanya beroperasi pada utilisasi 15-20%. Ini memberikan gambaran yang jelas bahwa peningkatan produksi dan pengiriman yang tepat waktu hanya bisa dicapai dengan peningkatan produksi pada departemen *knitting*. Dengan adanya penambahan mesin *knitting* baru, *lead time* dapat dikurangi dari 5 minggu menjadi 2 minggu.

Ada beberapa hambatan yang dialami oleh pihak manajemen dalam meningkatkan kapasitas produksi, yaitu antara lain:

- ⇒ Keterbatasan area produksi terutama dalam hal penambahan mesin - mesin produksi untuk peningkatan kapasitas produksi,
- ⇒ Penataan ulang letak tiap mesin produksi untuk memperbaiki proses produksi akan sangat dibatasi oleh luas daerah kerja yang begitu tidak memadai,
- ⇒ Terkait dengan masalah biaya perbaikan proses produksi atau penambahan mesin-mesin produksi yang begitu tinggi.

Oleh karena itu, peningkatan kapasitas produksi dapat diperoleh dengan meningkatkan proses produksi dengan pendekatan simulasi. Untuk mengetahui peningkatan kapasitas produksi pada PT. Sermani Steel, maka dalam penulisan tesis ini, penulis mengambil judul

□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□

□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□

2. Beberapa skema penempatan mesin pabrik berdasarkan model simulasi yang dihasilkan, dapat dijadikan alternatif jika diinginkan untuk menata ulang penempatan mesin atau menambah mesin baru.



Untuk lebih terarahnya tulisan ini, maka definisi dan lingkup yang menjadi batasan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada proses produksi dan *material handling* pada proses produksi.
2. Model simulasi yang akan dibangun adalah model simulasi dari sistem manufaktur dan beberapa skenario alternatif.
3. Tidak membahas aspek biaya investasi ataupun biaya operasional pabrik.

dan spesifikasinya sangat berbeda antara pesanan yang satu dengan lainnya.

2. *Made to order* (MTO), bila perusahaan memproduksi (membuat) dengan fasilitas produksi yang memiliki untuk memenuhi pesanan (order).
3. *Assembly to order* (ATO), bila perusahaan memproduksi (merakit) dengan fasilitas produksi yang dimiliki untuk memenuhi pesanan (order).
4. *Made to stock* (MTS), bila produksi perusahaan tidak ditujukan untuk melayani pesanan, namun distok untuk mengantisipasi permintaan.

Berdasarkan ukuran jumlah produk yang dihasilkan, produksi dapat dikelompokkan menjadi:

1. Produksi proyek, biasanya jumlah unit yang diproduksi satu dengan jumlah operasi banyak dan melibatkan banyak sumber daya.
2. Produksi *batch*, biasanya jumlah unit yang diproduksi berukuran sedang, biasanya perusahaan memproduksi banyak jenis produk.
3. Produksi massal, bila jumlah unit yang diproduksi sangat besar, jenis yang diproduksi perusahaan umumnya lebih sedikit dibanding *batch*.

Berdasarkan cara memproduksi (berhubungan dengan pengaturan fasilitas produksi), produksi dapat dikelompokkan menjadi:

1. Produksi *flow shop*,
2. Produksi fleksibel (*flexible manufacturing systems*),
3. Produksi *job shop*, biasanya untuk volume produksi *batch*, dan
4. Produksi kontinyu, biasanya untuk volume produksi massal.

Sedangkan menurut Groover (2000), proses manufaktur dapat dibagi menjadi dua jenis proses utama yaitu: operasi proses (*processing operations*) dan operasi perakitan (*assembly operations*). Operasi proses mengubah material kerja dari satu bentuk menjadi bentuk lain yang berupa *part* atau produk, sedangkan operasi perakitan menggabungkan dua atau lebih komponen menjadi *part* atau produk.

Operasi proses dapat dibagi atas kategori:

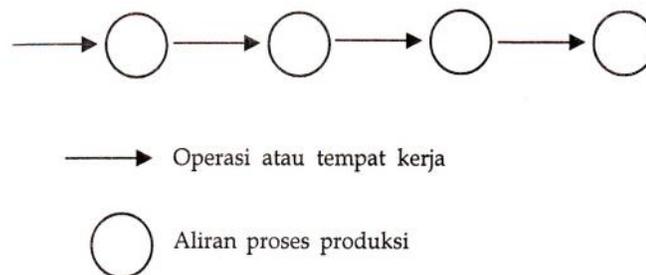
1. *Shaping operations*; adalah operasi pembentukan dengan menerapkan gaya mekanis, panas atau bentuk energi lain dalam rangka mengubah ukuran (*geometry*) benda kerja. Proses ini mencakup: *Solidifications process*, *Particulate processing*, *Deformation process*, dan *Material removal process*.
2. *Property enhancing operations* adalah operasi peningkatan sifat mekanis atau fisik dari benda kerja. Proses ini tidak mengubah ukuran benda kerja kecuali pada beberapa kasus berupa penyusutan. Proses ini mencakup: *Heat treatment* dan *Sintering*.
3. *Surface processing operations*; adalah operasi pemrosesan permukaan benda kerja, proses ini mencakup: *Cleaning*, *Surface treatments*, dan *Coating and thin film deposition*.

Sedangkan operasi perakitan dapat dibagi atas kategori:

1. *Permanently joining processes*; adalah operasi perakitan dari dua komponen atau lebih dengan sambungan permanen sehingga tidak bisa dibuka tanpa merusak produk yang telah disambung.

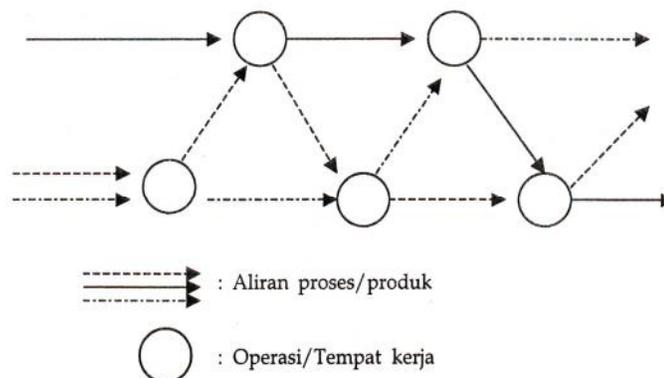
2. *Semi permanently joining processes*; adalah operasi perakitan dengan sambungan semi permanen sehingga bisa lebih mudah dibuka.

Operasi produksi pada industri proses atau proses produk diskrit dapat dibagi atas *continuous production* dan *batch production*. Pada industri proses, *continuous production* berarti bahwa proses berjalan sebagai aliran material yang terus menerus, tanpa terputus (Gambar 2.1), material yang diproses biasanya dalam bentuk cairan, bubuk atau gas.



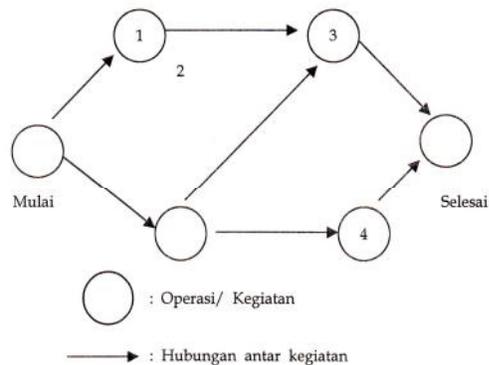
Gambar 2.1. Aliran produksi massal (Joko. 2001)

Batch production muncul ketika material yang diproses harus dibatasi pada jumlah tertentu (*batch*). Hal ini biasanya disebabkan oleh keterbatasan kapasitas kontainer (tangki) atau karena adanya perubahan tipe produk. Gambar 2.2 memperlihatkan produksi *batch*.



Gambar 2.2. Aliran produksi *batch* (Joko. 2001)

Sedangkan pada gambar 2.3 memperlihatkan aliran proyek, produksi *batch* dan produksi kontinyu.



Gambar 2.3. Aliran produksi proyek (Joko. 2001)

Menurut Hatta, dkk (2002), Jenis proses produksi yang digunakan oleh PT. Sermani Steel adalah termasuk jenis proses produksi utama untuk kualitasnya dapat digolongkan kedalam proses produksi terputus-putus (*intermittent*) sebab ukuran dan jenis gelombang pada lembaran seng yang diproduksi disesuaikan dengan kebutuhan konsumen atau pasar. Sedangkan untuk kuantitasnya tergolong dalam jenis produksi kontinyu sebab ukuran-ukuran produk telah ditentukan dengan beberapa jenis ukuran, sehingga konsumen dapat memilih jenis ukuran yang di inginkan.

Sejak awal berdirinya PT. Sermani Steel sampai saat ini masih tetap menggunakan tiga unit proses produksi, yaitu:

1. *Shearing Line*

Proses *Shearing Line* adalah proses mengubah bentuk dari baja lembaran menjadi potongan-potongan baja dengan panjang dan jumlah

Setiap sistem berusaha mencapai satu sasaran atau lebih sehingga tujuan menjadi pendorong (motivasi) dari sistem untuk mencapai tujuan tersebut.

- Keseluruhan (*wholism*):
 Suatu teori yang menyatakan bahwa faktor-faktor penentu merupakan kesatuan yang tidak dapat direduksi lagi.
- Keterbukaan (*openness*):
 Menunjukkan kesamaan akhir (*quifinality*), ini berarti bahwa status akhir dari suatu sistem dapat dicapai dari berbagai status awal.
- Transformasi (*transformation*):
 Menunjukkan bahwa suatu sistem mempunyai kemampuan untuk mengubah nilai status sumber daya (*input*) menjadi keluaran (*output*) melalui suatu proses transformasi.
- Keterhubungan (*interrelatedness*):
 Mencakup interaksi internal dan ketergantungan antar bagian-bagian atau elemen-elemen pembentuk sistem dan interaksi sistem dengan lingkungannya.
- Mekanisme kontrol (*control mechanism*):
 Merupakan proses pengaturan yang digunakan sistem untuk mengoreksi setiap penyimpangan yang terjadi.

□□□ □□□□

Definisi model antara lain sebagai berikut :

- Model didefinisikan sebagai representasi dari sistem baik secara kualitatif kuantitatif yang mewakili suatu proses atau kejadian, dimana

dapat menggambarkan secara jelas hubungan interaksi antar berbagai faktor-faktor penting yang akan diamati.

Model tersebut dikembangkan untuk melakukan investigasi pengembangan yang memungkinkan untuk diterapkan pada sistem nyata atau untuk mengetahui pengaruh kebijaksanaan yang berbeda-beda.

Tujuan dari banyak studi tentang sistem adalah untuk memprediksikan bagaimana sistem akan bekerja sebelum sistem tersebut dibangun. Sebagai alternatif, kadang-kadang dibangun *prototype* untuk melakukan pengujian, tetapi hal tersebut sangat mahal dan menghabiskan banyak waktu. Bahkan dengan sistem yang sudah ada, sangat tidak mungkin atau tidak praktis bereksperimen dengan sistem nyata. Sehingga studi tentang sistem biasanya dilakukan dengan model sistem yang juga merupakan penyederhanaan dari sistem.

□□ □□□□□□□□ □□□□□ □□□□

Model simulasi dapat dibedakan menjadi (Law and Kelton , 2000):

Statis atau dinamis

Deterministik atau stokastik

Kontinyu atau diskrit

□ □□□□□□ □□□□□□□□□□, merepresentasikan suatu sistem pada waktu tertentu. Salah satu tipe yang paling umum dari simulasi statis menggunakan bilangan random untuk menyelesaikan permasalahan, biasanya stokastik, dan bergulirnya waktu tidak mempunyai peran.

□ □□□□□□□ □□□□ □□□□ □□, merepresentasikan suatu sistem yang berubah terhadap waktu, contohnya simulasi dari mesin CNC yang bekerja 40 jam per minggu.

□ □□□□□ □□ □□□□□□ □□□□□□ □□□□□□, mengasumsikan tidak ada variabilitas dalam parameter model dan, oleh karenanya, tidak melibatkan variabel random. Jika model deterministik dijalankan atas nilai masukan yang sama, maka akan selalu menghasilkan nilai yang sama. Keluaran dari sekali menjalankan model simulasi deterministik merupakan nilai nyata dari performansi model.

□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□, berisikan satu atau beberapa variabel random untuk menjelaskan proses dalam sistem yang diamati. Keluaran dari model simulasi stokastik adalah random dan oleh karenanya hanya merupakan perkiraan dari karakteristik sesungguhnya dari model. Maka, diperlukan beberapa kali menjalankan model, dan hasilnya hanya merupakan perkiraan dari performansi yang diharapkan dari model atau sistem yang diamati.

□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□□, kondisi variabel berubah secara kontinyu, sebagai contoh, aliran fluida dalam pipa, atau terbangnya pesawat udara, kondisi variabel posisi dan kecepatan berubah secara kontinyu terhadap satu dengan lainnya.

□ □□□□□ □□ □□□□□□ □□□□□□, kondisi variabel berubah hanya pada beberapa titik (tertentu, yang dapat dihitung) dalam waktu. Kebanyakan dari sistem manufaktur dimodelkan sebagai simulasi kejadian dinamis, diskrit,

stokastik dan menggunakan variabel random untuk memodelkan rentang kedatangan, antrian, proses, dsb.

□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□

Pendekatan pemodelan meliputi:

- Pendekatan proses; Proses didefinisikan sebagai suatu operasi dimana entiti yang ada harus mampu melewati siklus dari sistem tersebut.
- Pendekatan aktivitas; Merupakan deskripsi dari aktivitas yang akan selalu dipacu dengan segera oleh perubahan *state* dalam sistem.
- Pendekatan *event*; Didefinisikan sebagai kumpulan aktivitas yang mungkin mengikuti perubahan *state* dalam sistem.

Didalam proses menjalankan simulasi dari suatu model, terdapat dua perilaku *output* pada model simulasi (Suryani: 2006), yaitu:

1. *Terminating Model*, yaitu model yang disimulasikan dengan menggunakan pengaturan waktu tertentu/terbatas atau waktunya dapat ditentukan dengan pasti (ada *start* dan *stop*). Contohnya: simulasi terhadap *service*/fasilitas (bank: buka jam 8.00 – 16.00)
2. *Non-terminating Model*, yaitu model yang disimulasikan dalam jangka waktu yang tak tertentu/terbatas atau dijalankan secara kontinu selama periode waktu yang sangat panjang. Contohnya: ATM di bandara yang selalu penuh dengan nasabah.

Adapun pendekatan yang banyak dilakukan adalah menjalankan simulasi sampai kondisi stabil tercapai. Pendekatan lain yaitu menjalankan simulasi untuk periode waktu yang diatur sendiri, misalnya dalam satu bulan

□□□□ □□□□□□ □□□□□□ □□□□□□ **Discrete Event** □

Simulasi kejadian diskrit merupakan alat penting yang mampu membantu untuk memahami dan mengelola sistem manufaktur yang rumit, yang umum dijumpai dalam industri saat ini (Law and Kelton, 2000). Simulasi kejadian diskrit memusatkan pada pemodelan dari sistem yang menyusun perubahan waktu dengan penggambaran dimana variabel keadaan berubah pada titik yang terpisah dalam waktu. Titik dari waktu tersebut adalah waktu dimana terjadinya kejadian (*event*), dan model akan mengalami perubahan *state* jika terjadi perubahan *event*.

Terminologi simulasi kejadian diskrit terdiri dari dua bagian yaitu (Pidd, 1992):

- a. □□□□□□□□□□ ; yaitu sekumpulan obyek yang membentuk suatu sistem untuk disimulasikan, terdiri dari:
 - a) *Entity*; Merupakan elemen-elemen sistem yang disimulasikan dan dapat diidentifikasi dan diproses secara individual, misalnya mesin-mesin di pabrik, kendaraan, orang atau apa saja yang mengubah *state* sepanjang waktu simulasi. Interaksi antar entiti tersebut membentuk perilaku sistem.
 - b) *Class*; Entiti-entiti secara individu dapat diidentifikasi, tetapi entiti-entiti yang sejenis dikelompokkan dalam kelas-kelas.
 - c) *Attribut*; Tiap-tiap entiti akan memiliki satu atau lebih atribut yang membawa informasi tambahan mengenai entiti tersebut. Atribut tersebut memiliki kegunaan yang antara lain membagi entiti menjadi kelas-kelas, misalnya manufaktur mobil yang

pada tiap *event* disebut aktivitas, dimana aktivitas tersebut mentransformasikan *state* entiti.

g) *Process*; Kadang-kadang sekumpulan *event-event* yang berurutan memerlukan pengelompokan pada suatu urutan yang kronologis sesuai bagaimana *event-event* tersebut akan terjadi. Urutan tersebut disebut proses dan sering digunakan untuk mewakili semua atau beberapa bagian siklus entiti temporer.

h) *Simulation Clock*; Adalah titik yang dicapai oleh waktu simulasi pada suatu simulasi atau variabel yang memberikan nilai waktu simulasi pada saat simulasi sedang dijalankan.

□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□ □□□□□□

Seiring dengan perkembangan dan cepatnya kemajuan teknologi, masih banyak perusahaan dan industri yang belum menggunakan peralatan yang lebih maju, proses kerjanya tidak efisien dan minimnya otomasi. Hal ini bisa terjadi karena banyaknya kendala yang menghalangi. Antara lain karena mahalnya biaya yang harus dikeluarkan atau karena lamanya waktu yang dibutuhkan untuk mengeksplorasi alternatif-alternatif metode operasi yang lebih baik.

Penggunaan simulasi umumnya didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan berikut:

- a. Melakukan percobaan dengan sistem yang sesungguhnya tidak memungkinkan, terlalu mahal, atau akan merusak sistem.

- b. Penyelesaian matematis atau analitis tidak memungkinkan (terlalu lama dan mahal).
- c. Diinginkan untuk mengevaluasi sistem sebagaimana a sistem akan bekerja dalam rentang waktu yang diberikan.
- d. Diinginkan untuk membandingkan alternatif-alternatif rancangan sistem yang diusulkan untuk mengetahui sistem mana yang paling memenuhi atas persyaratan-persyaratan yang telah ditetapkan.

□□□□ □□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□

Salah satu area aplikasi simulasi pemodelan adalah sistem manufaktur. Sebagian dari isu yang spesifik dalam bidang manufaktur dimana simulasi digunakan adalah (Law and Comas, 1997):

Penentuan jumlah personil dan peralatan yang dibutuhkan.

- o Jumlah dan tipe mesin untuk penggunaan khusus.
- o Jumlah, tipe dan penataan secara fisik dari *transporters*, *conveyors* dan peralatan pendukung lainnya.
- o Lokasi dan ukuran dari *inventory buffers*.
- o Evaluasi terhadap perubahan volume produk atau campuran tipe produk.
- o Evaluasi terhadap efek penambahan peralatan baru pada pabrik yang sudah berjalan.
- o Evaluasi penanaman modal.
- o *Labor requirements planning*.

Evaluasi performansi

- o Analisa *throughput* yang dihasilkan dalam jangka waktu tertentu

- Analisa *time in system* dari komponen yang diproduksi
- Analisa *Bottleneck* pada aliran proses produksi .

Evaluasi prosedur operasional

- Penjadwalan produksi.
- Kebijakan *Inventory*.
- Strategi pengendalian (sebagai contoh, untuk sistem sarana angkut otomatis AGVS).
- Analisa keandalan (sebagai contoh, efek dari penerapan perawatan preventif).
- Kebijakan pengawasan kualitas.

□□ □□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□□□ □□ □□□□□□□□

Karena sampel acak yang menjadi *input* bagi sebuah model simulasi, maka data *output* yang dihasilkan juga akan acak. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk memperhatikan sumber keacakan dari sistem yang dimodelkan dengan benar. Berikut ini adalah beberapa sumber keacakan dalam simulasi sistem manufaktur, yaitu:

- Kedatangan pesanan, komponen atau bahan baku.
- Waktu pemrosesan, perakitan atau waktu inspeksi.
- Waktu kerusakan mesin.
- Waktu perbaikan mesin.
- Waktu pemasangan/pembongkaran material atau produk.
- Waktu penyetelan mesin.

Secara umum, setiap sumber keacakan dalam suatu sistem perlu dimodelkan dengan distribusi probabilitas yang tepat .

□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□

Proses pembuatan simulasi untuk sistem manufaktur mencakup tahapan sebagai berikut (Chance et al, 1996):

Tahap Perancangan Model

Pada tahap ini, masalah yang ada pada suatu perusahaan diidentifikasi, dan tujuan yang ingin dicapai dari simulasi harus digambarkan dengan jelas. Tahapan ini mencakup:

- Identifikasi masalah yang ada.
- Merencanakan proyek.
- Pembuatan model konseptual.

Tahap Pengembangan Model

Tahapan ini mencakup:

- Memilih pendekatan pemodelan.
- Membangun dan menguji model.
- Verifikasi dan validasi model.

Ada dua jenis pendekatan pemodelan yang bisa digunakan yaitu:

1. Pendekatan *job-driven*, dimana aliran *job* pabrikasi adalah entiti sistem yang aktif sedangkan sumber daya sistem (*system resources*) bersifat pasif. Model simulasi dibuat untuk menggambarkan bagaimana *job* bergerak sepanjang tahapan pemrosesannya, menggunakan semua sumber daya yang tersedia kapan saja dibutuhkan. Catatan terpisah untuk setiap aliran *job* dalam sistem dibuat sehingga waktu eksekusi simulasi jauh lebih lama.

2. Pendekatan *resource-driven*, dimana *job* individual bersifat pasif dan diproses oleh sumber daya sistem yang aktif (mesin dan operator). *State* sistem dijelaskan oleh status dari sumber daya. Tidak semua *job* di dalam sistem yang dicatat, melainkan hanya jumlah *job* dari jenis tertentu dan pada *step-step* yang berbeda yang dicatat, sehingga waktu eksekusinya bisa lebih cepat.

Tahap Penyebaran Model

Tahapan ini mencakup:

- o Melakukan eksperimen pada model.
- o Analisa hasil simulasi.
- o Implementasi hasil untuk pengambilan keputusan.

Waktu untuk analisa hasil simulasi biasanya lebih singkat dengan adanya keluaran dalam bentuk grafik dan tabel.

□□□□□□□□□□ □□□□□

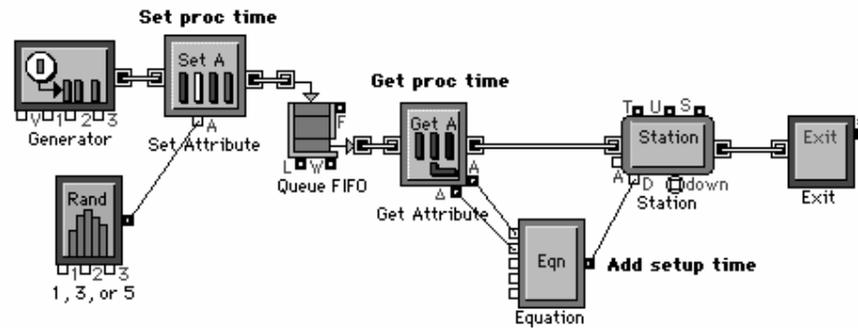
Model simulasi diprogram dengan menggunakan:

Bahasa pemrograman penggunaan umum (*general-purpose language*).

Bahasa pemrograman penggunaan khusus (*special-purpose language*).

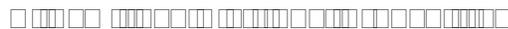
Simulator.

□□□□□□□ □□□ □□□□□□ □□□ □□□□□□□□□□□ □□ □□ , seperti halnya FORTRAN, C, BASIC, dan PASCAL, merupakan bahasa pemrograman komputer yang pertama digunakan untuk mengembangkan pemodelan dan simulasi. Diperlukan keahlian pemrograman dalam bahasa tertentu,



Gambar 2.5. Contoh Pemodelan Dengan *Extend*

Oleh karena itu, pada PT. Sermani Steel akan dilakukan pemodelan proses produksi baik yang sudah ada maupun yang akan direncanakan, dan kemudian dibuat dalam bentuk simulasi dengan menggunakan software *Simulator Extend Manufacturing™* untuk mengetahui peningkatan kapasitas produksi yang optimal.



Dalam pemodelan simulasi banyak dijumpai variabel-variabel yang bersifat random, variabel-variabel tersebut mempunyai distribusi probabilitas tertentu. Sebelum proses simulasi dimulai, distribusi probabilitas tersebut harus diketahui, kemudian parameternya ditentukan. Pola distribusi probabilitas tersebut digunakan untuk membangkitkan peubah acak yang digunakan dalam simulasi.



Pendekatan yang digunakan untuk menduga pola distribusi data antara lain dengan metode *heuristic point statistic*. Dengan menghitung koefisien variasi dari data yang terkumpul dengan persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\text{var}(x)}{E(x)}}$$

$\text{var}(x)$ dan $E(x)$ merupakan *varians* dan *mean* dari data yang akan diestimasi pola distribusinya.

Bila x_1, x_2, \dots, x_n adalah variabel acak, maka:

$$\bar{x}(n) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s^2(n) = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i - \bar{x}(n)]^2}{n - 1}$$

sehingga estimasi dari δ adalah $\sigma = \sqrt{\frac{s^2(n)}{\bar{x}(n)}}$, sedangkan dugaan

distribusinya adalah sebagai berikut:

- o Untuk variabel acak diskrit.

Jika $\delta(n) \approx 1$ maka data diduga berdistribusi *poisson*.

Jika $\delta(n) < 1$ maka data diduga berdistribusi *binomial*.

Jika $\delta(n) > 1$ maka data diduga berdistribusi *binomial* negatif atau geometrik.

- o Untuk variabel acak kontinyu.

Jika $\delta(n) \approx 1$ maka data diduga berdistribusi eksponensial.

Jika $\delta(n) < 1$ maka data diduga berdistribusi *weibull*.

Jika $\delta(n) > 1$ maka data diduga berdistribusi *gamma*.



Setelah distribusi dari data diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter dari distribusi, yang meliputi:

- o parameter lokasi (γ), menunjukkan posisi pada sumbu datar (absis) dari interval. Pada umumnya γ merupakan titik tengah dari interval.
- o parameter skala (β), menunjukkan skala pengukuran nilai dalam interval distribusi.
- o parameter bentuk (α), menunjukkan perbedaan lokasi dan skala distribusi.

Untuk menduga parameter distribusi, digunakan metode *maximum likelihood estimation* (MLE). Dari data x_1, x_2, \dots, x_n , fungsi *likelihoodnya* merupakan fungsi kepadatan terpadu dari peubah acaknya, yakni:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f_{\theta}(x_i), \text{ sehingga}$$

$$L(\theta) = f_{\theta}(x_1), f_{\theta}(x_2), \dots, f_{\theta}(x_n), \text{ dan } \theta \text{ adalah parameter distribusi.}$$

MLE $\bar{\theta}$ dari θ didefinisikan sebagai nilai dari θ yang memaksimumkan $L(\theta)$ pada seluruh nilai θ yang diperbolehkan. Bila $\bar{\theta} = (\theta_1, \theta_2)$, maka untuk mendapatkan pendugaan kemungkinan terbesar dari θ_1 dan θ_2 dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{\ln L(\theta)}{\theta_1} \approx 0, \text{ dan } \frac{\ln L(\theta)}{\theta_2} \approx 0$$

□□□□ □□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□

Metode uji *Kolmogorov-Smirnov*, yang digunakan untuk membandingkan distribusi empiris data dengan distribusi empiris tertentu yang dihipotesiskan. Jika $F_n(x)$ adalah fungsi distribusi empirik dan $\hat{F}(x)$ merupakan distribusi yang dihipotesiskan, maka sebagai uji statistik adalah :

$$D_n = \max |F_n(x) - \hat{F}(x)|$$

Hipotesis yang digunakan adalah :

H_0 : x mengikuti distribusi kontinyu tertentu.

H_1 : x mengikuti distribusi kontinyu yang lain.

Jika distribusi yang dihipotesiskan adalah distribusi Eksponensial $E(\lambda)$, dengan λ tidak diketahui (diperkirakan dengan $1/\bar{x}$) dan $\hat{F}(x) = 1 - e^{-x/\bar{x}}$ maka tolak H_0 bila:

$$D_n = \frac{0.2}{n} \sqrt{n} = 0.26 = \frac{0.5}{\sqrt{n}} C_{1-\alpha}$$

Jika distribusi yang dihipotesiskan adalah distribusi Weibull dengan parameter-parameter β , α yang tidak diketahui (diperkirakan dari harga rata-rata) dan fungsi:

$$\hat{F}(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x}{\alpha} \right)^\beta \right], \text{ maka: Tolak } H_0 \text{ bila : } D_n > d_{n, 1-\alpha}.$$

3.1.1 Tahap Identifikasi Masalah

3.1.1.1 Tahap Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah ini menyangkut penentuan area/seksi yang spesifik dari suatu industri yang dijadikan obyek penelitian (dalam hal ini *line production* dan *handling equipment* pada PT Sermani Steel). Hal yang menjadi dasar dalam identifikasi masalah ini adalah berdasarkan latar belakang permasalahan yang ingin diteliti sebelumnya.

3.1.1.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahap ini menyangkut tahap pengumpulan data di lapangan. Data -data yang dimaksud adalah:

- Data umum perusahaan.
- Data jenis mesin produksi dan *handling equipment*.
- Data waktu, jenis serta lama terjadinya kerusakan (*failure*).
- Data waktu dan lama terjadinya kemacetan kecil.
- Data jumlah produksi bulanan dan tahunan.
- Data waktu operasi produksi harian, termasuk waktu penyetelan, waktu *loading* dan *unloading* material dan produk, waktu pemrosesan pada masing-masing mesin, ukuran *batch* berdasarkan tipe produk, ketersediaan *overhead crane*, waktu inspeksi produk.
- Persentase produk yang cacat dan *scrap*.
- Persentase jenis dan tipe produk yang diproduksi.

3.1.1.3 Tahap Distribusi Probabilitas

Sebelum proses simulasi dimulai, distribusi probabilitas data yang telah dikumpulkan tersebut harus diketahui, kemudian parameternya ditentukan.

Pola distribusi probabilitas tersebut digunakan untuk membangkitkan peubah acak yang digunakan dalam simulasi.

Pendugaan distribusi data waktu operasi produksi harian menggunakan program bantu Weibull 4 dengan metoda *rank regression*, dengan membandingkan *Goodness of Fit*, *Plot Fit* dan *Likelihood Function Value* (LKV). Dari sini didapatkan distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan waktu pemrosesan yang dimaksud.

□□□□ □□□□□□ □□□□□□ □□□□

Sebelum dibuatkan pemodelan melalui simulator, maka proses produksi tersebut dibuat dalam model konseptual yang mer upakan tampilan gambar ilustratif yang menjelaskan aliran proses dan data. Pada model konseptual ini masing-masing proses (baik mesin maupun proses manual) direpresentasikan oleh sebuah □□□□□□□□□□ keluaran (aliran data keluar) dari setiap blok ini akan ditampilkan pada □□□□ **display** sebagai informasi, atau akan disimpan pada □□□□ **data storage** untuk kemudian diolah kembali menjadi masukan (aliran data masuk) pada □□□□ **data input**.

Pada blok *display* dapat diperoleh data berupa ketersediaan alat, waktu produktif, jumlah produk dan jumlah prduk cacat. Dari blok *data storage* dapat diperoleh data kapan suatu mesin *down*, kapan *batch* penuh sesuai ukuran *batch* yang ditentukan. Blok *data input* diisi dengan data berupa distribusi waktu pemrosesan pada masing-masing blok proses, distribusi waktu perbaikan, distribusi waktu *setup* (saat start dan saat ada perubahan produk), perubahan ukuran *batch* berdasarkan tipe produk, persentase produk cacat/*scrap* dan distribusi waktu pengerjaan ulang (*rework*).

Model simulasi dibuat dengan mengacu pada model konseptual tadi. Model simulasi akan dibangun dengan alat bantu simulator Extend4, dan dijadikan sebagai model referensi.

□□□□ □□□□□□□□

Verifikasi mengacu pada bagaimana membangun model dengan benar (*building the **model right***). Pada tahap ini model konseptual dibandingkan dengan model yang dibuat pada komputer, dimana model pada komputer harus merupakan gambaran dari model konseptual tadi. Tahap ini diharapkan bisa menjawab pertanyaan: apakah model telah diimplementasikan dengan benar di dalam komputer?. Apakah parameter input dan struktur *logic* dari model telah terwakili dengan benar?.

Verifikasi model dapat dilakukan dengan *debugging* sebuah model untuk memastikan bahwa tiap-tiap bagian dari model beroperasi seperti yang diharapkan. Untuk itu model harus dibangun secara bertahap dengan detail minimal, kemudian setiap tahap dijalankan untuk diamati hasilnya. Cara yang umum dilakukan adalah mengurangi kompleksitas model menjadi lebih sederhana, sehingga dengan mudah dapat diramalkan bagaimana hasil simulasi nantinya. Beberapa langkah yang dapat dilakukan adalah:

- Menghilangkan semua variabilitas model, sehingga model menjadi deterministik.
- Menjalankan model yang deterministik tadi sebanyak dua kali replikasi untuk meyakinkan bahwa hasil yang diperoleh sama.
- Perhatikan keluaran dari *reports* atau *traces* untuk melihat bahwa hasilnya sesuai atau tidak dengan hasil yang diharapkan.

- Memisahkan bagian-bagian dari model yang saling berhubungan untuk melihat bagaimana bagian-bagian tersebut berjalan secara terpisah.
- Animasikan model atau bagian dari model untuk melihat bagaimana aliran item pada model tersebut.

□□□□ □□□□□□ □□□□□□

Tahap ini adalah proses menjalankan simulasi dari model yang telah dibuat sebelumnya. Panjang waktu simulasi tergantung dari sistem yang dimodelkan apakah tertentu (*terminating model*) atau tidak (*non-terminating model*). Pendekatan yang banyak dilakukan adalah menjalankan simulasi sampai kondisi stabil tercapai. Pendekatan lain yaitu menjalankan simulasi untuk periode waktu yang diatur sendiri, misalnya dalam satu bulan atau satu tahun. Pendekatan terakhir adalah mengumpulkan sampel sebanyak - banyaknya untuk dilakukan pengujian hipotesis.

□□□□ □□□□□□□□

Dalam konteks ini validasi mengacu pada bagaimana membangun model yang benar (*building the **right model***). Tahap ini digunakan untuk menentukan bahwa model telah mewakili sistem yang sebenarnya dengan akurat. Validasi biasanya tercapai setelah kalibrasi model, yaitu serangkaian proses iterasi dalam membandingkan model dengan sistem aktual. Proses ini terus diulangi sampai diperoleh model yang tepat. Model yang valid adalah model yang memberi keluaran rata-rata yang sama dengan keluaran rata-rata sistem aktual, dalam hal ini setelah diadakan uji hipotesa terhadap rata-rata.

□□□□ □□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□

Pada tahap ini akan dibuat beberapa skenario dari model standar dan model alternatif. Pembuatan model alternatif didasarkan atas pertimbangan keterbatasan/kekurangan *Real System*, yaitu:

1. *Crane 2* harus melayani 5 titik.
2. Letak mesin *small corrugation* yang jauh dari *galvanizing line* sehingga harus digunakan *forklift*.
3. *Galvanizing line* teridentifikasi sebagai area yang menjadi *bottleneck* di dalam sistem.

Dengan demikian model yang akan dibangun adalah model dengan skenario sebagai berikut:

- a) Skenario 1; Parameter yang diubah pada model ini adalah prioritas penggunaan *crane 1*, dimana pada titik 1 (sebelum *buffer 1*) dan titik 2 (sesudah *buffer 1*) diprioritaskan penggunaan *crane 1*, *crane 2* hanya digunakan jika *crane 1* tidak tersedia.
- b) Skenario 2; Parameter yang diubah pada model ini adalah prioritas penggunaan *crane*, dimana pada titik 1 (sebelum *buffer 1*) hanya digunakan *crane 1* dan titik 2 (sesudah *buffer 1*) digunakan *crane 1* dan *crane 2*.
- c) Skenario 3; Parameter yang diubah pada model ini adalah penambahan 1 unit *overhead crane* khusus untuk *buffer 1*.
- d) Skenario 4; Parameter yang diubah pada model ini adalah penambahan jam operasi *galvanizing line* yang teridentifikasi sebagai

equipment bottleneck. Sedangkan jam operasi pada stasiun *shearing* dan *corrugation* tidak berubah.

- e) Skenario 5; Parameter yang diubah pada model ini adalah perubahan letak *crane* dan mesin *small corrugation* agar lebih dekat dengan area produksi sehingga penggunaan *forklift* tidak diperlukan lagi.
- f) Skenario 6; Parameter yang diubah pada model ini adalah penambahan 1 unit *galvanizing line* dan 1 unit *overhead crane*.
- g) Skenario 7; Parameter yang diubah pada model ini adalah penggabungan skenario 4 dan skenario 5.

adalah berupa 1 *batch* lembaran baja dengan jumlah tertentu. Material baru ini akan diambil dari *buffer* yang terdapat antar stasiun kerja. Proses pengambilan material dilakukan sesuai dengan tipe produk yang akan dibuat.

□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□

Pemindahan material dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja berikutnya dilakukan dengan menggunakan *overhead crane*. Kecuali pemindahan material ke mesin *small corrugation* dan mesin *big corrugation 2*, karena jaraknya yang agak jauh dari stasiun *galvanizing* maka selain *overhead crane* juga harus digunakan *forklift*.

□□□□□□□□□□ □□□□□□□□

Pada stasiun *shearing* terdapat mesin *shearing* yang digunakan untuk memotong baja gulungan (*hot rolled coil*) menjadi baja lembaran dengan panjang tertentu dan dikumpulkan dalam satu pak (*batch*) dengan jumlah tertentu pula. Selanjutnya pak ini dipindahkan dengan *overhead crane* ke *buffer 1*.

Proses pada stasiun *galvanizing* dimulai dari pemasangan material berupa baja lembaran (1 *batch*) pada mesin *feeder*. Selanjutnya lembaran baja diumpankan satu persatu ke bak *cleaning*. Pada bak *cleaning*, lembaran baja dibersihkan dengan proses kimia dalam tiga bak pencucian secara berurutan. Untuk lembaran baja yang dikerjakan ulang (*rework*), pembersihannya dilakukan dengan proses manual sebelum dimasukkan ke bak pencucian untuk dibersihkan kembali dengan proses kimia.

Selanjutnya pada bak *galvanizing*, lembaran baja dicelup panas di dalam larutan *zinc cholride* dan *hydrochloride acid*. Setelah pelapisan,

lembaran seng dikeringkan dengan panas yang bersumber dari bola lampu pengering, selanjutnya lembaran baja yang telah dilapisi, kemudian distempel dan disatukan kembali dalam satu *pallet* pada meja inspeksi. Pada meja inspeksi dilakukan proses pengecekan serta pemisahan produk yang baik, produk yang cacat dan produk yang bisa dikerjakan ulang. Selanjutnya, dengan menggunakan *crane*, produk yang baik dipindahkan ke *buffer 2*, produk yang akan dikerjakan ulang dipindahkan secara manual ataupun dengan *crane* tergantung dari jumlahnya.

Pada stasiun *corrugation* terdapat proses pemisahan antara produk yang akan dibuat menjadi produk bergelombang besar dan produk bergelombang kecil. Setelah itu dilakukan proses penggelombang dengan mesin. Proses dimulai dengan pemasangan satu pak (*batch*) baja lembaran lapis seng pada mesin dengan menggunakan *crane*, selanjutnya lembaran baja dimasukkan ke dalam mesin satu per satu dan keluar dalam bentuk seng gelombang. Kalau ada proses yang harus dikerjakan ulang ditengah proses penggelombang, biasanya hal tersebut didahulukan sebelum seluruh baja lembaran dalam satu *batch* diselesaikan.

Seng gelombang ini kembali disatukan dalam satu pak pada meja *corrugation*, selanjutnya dipindahkan dengan *crane* ke *buffer* untuk kemudian diangkut dengan *forklift* ke gudang penyimpanan. Untuk mesin *big corrugation 2* dan mesin *small corrugation* prosesnya sama, tetapi karena letak mesinnya yang agak jauh dari *galvanizing line*, maka proses pemindahannya menggunakan *crane dan forklift*.



Beberapa ukuran performasi yang akan digunakan dalam pemodelan dan simulasi ini adalah sebagai berikut:

- *Backlog*; adalah sejumlah produk yang menunggu untuk di proses yang ditentukan oleh panjangnya *buffer*.
- *Processing time*; adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu aktivitas /proses.
- *Utilization rate*; adalah rasio antara waktu pemrosesan dan waktu yang tersedia.
- *Throughput rate*; adalah jumlah produk yang diproduksi dalam waktu tertentu.
- *Bottleneck*; adalah suatu kemacetan dalam aliran produksi. Biasanya disebabkan oleh sumber daya dengan *utilization rate* yang tertinggi.
- *WIP*; adalah tingkat *in process inventory* pada saat ini.



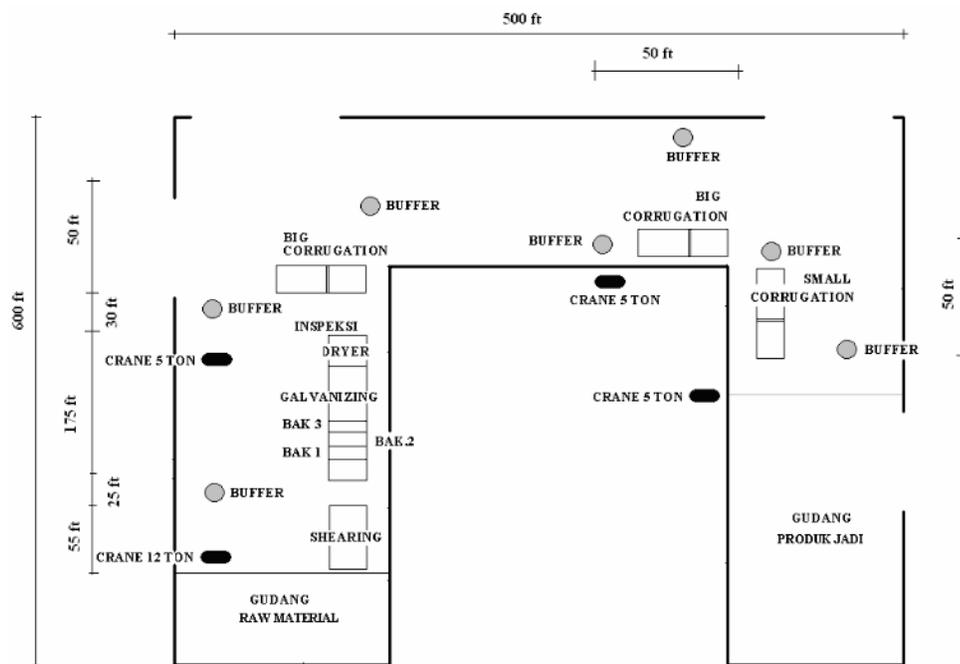
Untuk membangun sebuah model, penting untuk melihat bagaimana sistem elemen-elemen sistem yang akan diterjemahkan dalam suatu model.

Elemen-elemen sistem tersebut adalah sebagai berikut:

a. Lokasi;

Lokasi yang akan dimodelkan pada penelitian ini adalah *lay out* nyata PT. Sermani Steel. Dari *lay out* ini nantinya akan dapat digambarkan lokasi dari masing-masing stasiun kerja, mesin-mesin yang terdapat pada stasiun kerja, *storage* tempat material/produk, serta lintasan dari

crane dan *forklift* sebagai alat pemindah material/produk. Gambar 4.1 menunjukkan *lay out* PT. Sermani Steel, dari denah ini bisa dilihat penempatan peralatan pabrik, dimana letak mesin small corrugation terpisah agak jauh dari *line production* (luas bangunan pabrik ini $\pm 200 \times 150 \text{ m}^2$), sehingga harus digunakan alat angkut berupa *forklift*.



Gambar 4.1 Denah *Lay Out* PT. Sermani Steel
(PT. Sermani Steel. 2008)

b. Entiti;

Terdapat beberapa entiti-entiti dari sistem yang akan dimodelkan, yaitu:

1. Material/komponen.
2. Mesin pada setiap stasiun kerja.
3. *Overhead crane* dan *forklift*.

c. *Resources*;

Pada tiap-tiap stasiun kerja, *resources* yang digunakan berubah-ubah sesuai proses yang akan dikerjakan. *Resources* pada tiap-tiap stasiun kerja adalah sebagai berikut:

1. Pada stasiun *shearing*, gulungan baja dibuka oleh mesin penggulung dan dipotong oleh mesin *shearing*.
2. Pada stasiun *galvanizing*, baja lembaran diumpankan satu persatu oleh mesin *feeder*, kemudian oleh *conveyor*, baja lembaran tersebut dilewatkan pada bak pencucian dan selanjutnya masuk ke bak *galvanizing*. Setelah selesai dilapisi, oleh *conveyor*, baja lembaran dilewatkan pada pengering dan pemberi tanda (cap pabrik). Selanjutnya secara manual baja lembaran diperiksa oleh operator. Baja lembaran yang dikerjakan ulang baik yang berasal dari bak *galvanizing*, ataupun yang berasal dari meja inspeksi dibersihkan ulang secara manual sebelum dimasukkan kembali ke bak pencucian.
3. Pada stasiun *corrugation*, baja dibuat bergelombang oleh mesin *big corrugation 1*, mesin *big corrugation 2* dan mesin *small corrugation*.

d. *Arrival*;

Proses kedatangan pada tiap-tiap stasiun kerja tentunya berbeda-beda, untuk lebih jelasnya akan digambarkan sebagai berikut:

1. Pada stasiun *shearing*, material berupa gulungan baja (*coil*) akan datang dalam selang waktu tertentu setelah gulungan baja di penggulung habis. Setelah material baru diambil dari gudang,

dibuka dan dipasang ke mesin penggulung, maka proses bisa kembali dilanjutkan.

2. Pada stasiun *galvanizing*, material berupa 1 pak baja lembaran akan datang dalam selang waktu tertentu setelah baja lembaran pada mesin *feeder* habis. Baja lembaran ini diambil dari *buffer 1* yang terletak antara stasiun *shearing* dan stasiun *galvanizing*. Selain itu kedatangan material pada stasiun *galvanizing* ini juga bisa berasal dari baja lembaran yang mengalami pengerjaan ulang, baik yang berasal dari bak *galvanizing*, ataupun yang berasal dari meja inspeksi.
3. Pada stasiun *corrugation*, material berupa 1 pak baja lembaran lapis seng akan datang dalam selang waktu tertentu setelah baja lembaran lapis seng pada mesin *corrugation* habis. Baja lembaran lapis seng ini diambil dari *buffer 2* yang terletak antara stasiun *galvanizing* dan stasiun *corrugation*. Selain itu kedatangan material juga bisa berasal dari baja lembaran lapis seng yang mengalami pengerjaan ulang.

e. Atribut;

Atribut akan membawa informasi dari entiti, dimana penetapan atribut diberikan pada tiap-tiap entiti.

Berikut ini adalah atribut-atribut yang ada pada masing-masing entiti dalam sistem:

1. Tipe material/produk yang terbagi menjadi 5 tipe berdasarkan panjangnya yaitu 6 kaki, 7 kaki, 8 kaki, 9 kaki dan 10 kaki.

2. Keadaan pada material/produk yang dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu material yang baik, material rusak dan material yang perlu dikerjakan ulang.

f. Proses;

Proses kegiatan yang dilakukan pada tiap-tiap stasiun kerja tidak mengakibatkan perpindahan dari *resources*. Perpindahan dilakukan pada material dalam stasiun kerja oleh *conveyor*, sedang perpindahan antar stasiun kerja dilakukan oleh *overhead crane* dan *forklift*.

□□□□ □□□□□□ □□□□ □□□□□□□□

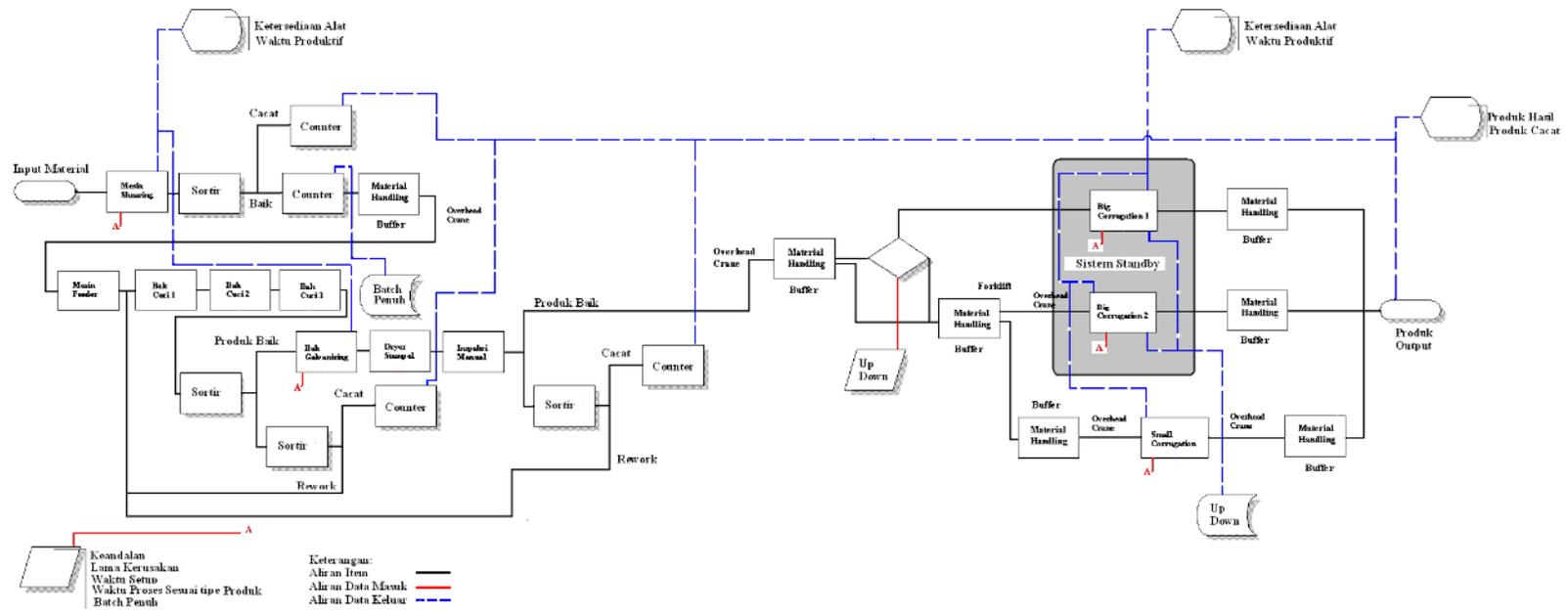
Sebelum dibuatkan pemodelan melalui simulator, maka proses produksi tersebut dibuat dalam model konseptual, yang merupakan tampilan gambar ilustratif yang menjelaskan aliran proses dan data. Pada model konseptual ini terdapat tiga macam blok yaitu:

1. Blok proses yang merepresentasikan masing-masing proses baik proses dari mesin maupun proses manual. Urutan blok proses ini juga menggambarkan jalur aliran item mulai dari bahan baku sampai menjadi produk jadi.
2. Blok *display* sebagai tampilan informasi data yang keluar dari blok proses. Informasi yang dapat diperoleh dari blok ini adalah data berupa ketersediaan alat, waktu produktif, jumlah produk dan jumlah produk cacat.
3. Blok *data storage* yang digunakan untuk menyimpan data keluaran dari blok proses yang akan digunakan sebagai *input* bagi blok

decision atau *blok* proses lainnya. Dari blok ini dapat diperoleh data kapan suatu mesin *down*, kapan *batch* penuh sesuai ukuran *batch* yang ditentukan.

4. Blok *data input* yang diisi dengan data berupa distribusi waktu pemrosesan pada masing-masing blok proses, distribusi waktu perbaikan, distribusi waktu *setup* (saat start dan saat ada perubahan produk), perubahan ukuran *batch* berdasarkan tipe produk, persentase produk cacat/*scrap* dan distribusi waktu pengerjaan ulang (*rework*).
5. Blok *decision* yang digunakan untuk memilih jalur yang akan dilalui oleh aliran item.

Gambar 4.2 menunjukkan model konseptual PT. Sermani Steel.



Gambar 4.2. Model Konseptual Proses Produksi PT. Sermani Steel



Model simulasi dibuat dengan berdasarkan pada model konseptual. Model simulasi ini dibangun dengan simulator Extend4, dan akan dijadikan sebagai model referensi. Beberapa hal yang menjadi perhatian pada pembuatan model simulasi ini adalah:

Tiap-tiap blok diagram pada model konseptual harus diwakili oleh masing-masing blok simulasi yang sesuai.

Masing-masing blok simulasi harus berhubungan secara berurut sesuai aliran proses pada model konseptual.

Semua kejadian (*event*) yang mempunyai kemungkinan untuk terjadi harus diperhitungkan dalam menghubungkan aliran proses pada blok simulasi.

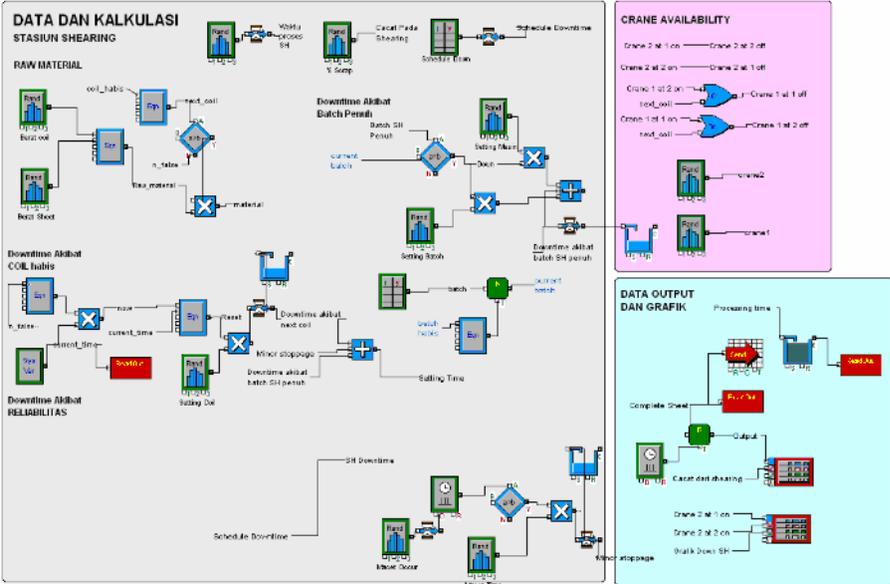
Input dan output data pada model komputer harus ditempatkan pada dengan blok simulasi yang benar, sesuai aliran data yang ada pada model konseptual.

Model komputer harus bisa dijalankan, sehingga diketahui bahwa struktur *logic* dari model telah terwakili dengan benar.

Model yang dibuat ini termasuk *terminating model* dengan panjang waktu simulasi selama 7248 jam

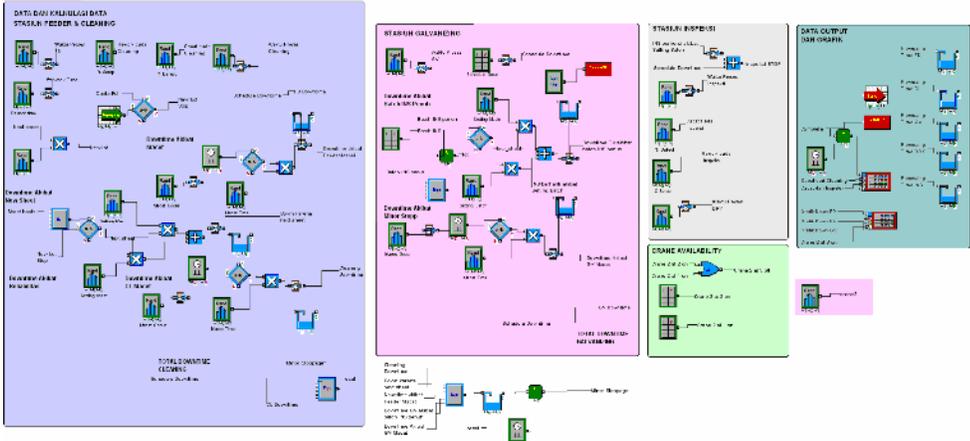
Model simulasi ini terdiri dari 3 stasiun, yaitu stasiun *shearing*, stasiun *galvanizing* dan stasiun *corrugation*. Gambar 4.3 menunjukkan model simulasi referensi untuk ketiga stasiun kerja.

Gambar 4.4 menunjukkan kalkulasi data yang menjadi masukan bagi model simulasi stasiun shearing. Hal-hal yang disimulasikan pada stasiun shearing ini adalah: berat bahan mentah (*coil*) yang bervariasi, lama waktu proses pemotongan yang bervariasi sesuai jenis produk (panjang dan ketebalan baja lembaran) yang akan diproduksi, jumlah produk cacat yang terjadi pada proses pemotongan, penghentian proses pemotongan akibat perawatan rutin, penghentian proses pemotongan akibat material (*coil*) di penggulung habis, lama waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan *coil* baru, penghentian proses pemotongan karena *batch size* terpenuhi, lama waktu penyetelan mesin akibat adanya perubahan tipe produk atau setelah *batch size* terpenuhi, penghentian proses pemotongan akibat terjadinya kemacetan kecil, proses pemisahan produk yang baik dan produk yang cacat serta ketersediaan dan jarak jangkauan operasi *overhead crane*.



Gambar 4.4. Kalkulasi Data yang Menjadi Masukan Untuk Model Simulasi Stasiun Shearing

Gambar 4.5 menunjukkan kalkulasi data yang menjadi masukan bagi model simulasi stasiun *galvanizing*. Hal-hal yang disimulasikan pada stasiun *galvanizing* ini adalah: lama waktu proses pada galvanizing line (mesin *feeder*, bak pencucian, bak *galvanizing*, proses pengeringan, proses stempel dan proses pengecekan yang bervariasi sesuai jenis produk yang diproduksi), jumlah produk yang harus dikerjakan ulang dan lama waktu pengerjaan ulang (termasuk waktu pemindahan produk) pada bak pencucian, penghentian proses akibat perawatan rutin, penghentian proses akibat material di mesin *feeder* habis, lama waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan material baru, penghentian proses pemotongan karena *batch size* terpenuhi, dan lamanya waktu penyetelan mesin setelah *batch size* terpenuhi, penghentian proses pemotongan akibat terjadinya kemacetan kecil (*minor stoppage*) pada mesin *feeder*, bak pencucian, bak *galvanizing* dan proses inspeksi, proses pemisahan produk yang baik, produk yang cacat dan produk yang bisa dikerjakan ulang pada bak pencucian, bak *galvanizing* dan meja inspeksi serta ketersediaan dan jarak jangkauan operasi *overhead crane*.



Gambar 4.5. Kalkulasi Data yang Menjadi Masukan untuk Model Simulasi Stasiun Galvanizing.

Gambar 4.6 menunjukkan kalkulasi data yang menjadi masukan bagi model simulasi stasiun *corrugation*. Hal-hal yang disimulasikan pada stasiun *corrugation* adalah: lama waktu proses penggelombang yang bervariasi sesuai jenis produk yang diproduksi, jumlah produk yang harus dikerjakan ulang dan lamanya pengerjaan ulang, penghentian proses akibat perawatan rutin, penghentian proses akibat material di mesin *corrugation* habis, lama waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan material baru, penghentian proses pemotongan karena *batch size* terpenuhi, dan lamanya waktu penyetulan mesin setelah *batch size* terpenuhi, penghentian proses pemotongan akibat terjadinya kemacetan kecil pada mesin *corrugation*, ketersediaan dan jarak jangkauan operasi *overhead crane* serta model *standby* dari mesin *big corrugation 2*.

Tabel 4.1. Hasil Uji Distribusi Data Waktu Penyetelan Mesin Shearing

No	Setting Mesin Shearing	Subset ID
1	24.40	
2	24.91	
3	25.20	
4	25.21	
5	29.30	
6	31.20	
7	33.10	
8	33.20	
9	35.08	
10	35.40	
11	38.56	
12	38.62	
13	39.05	
14	40.40	
15	40.58	

Dengan cara yang sama, diperoleh distribusi data waktu proses, waktu penyetelan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk dan kemacetan kecil pada masing-masing stasiun.

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada stasiun *shearing*. Pada kolom ketiga, jenis distribusi yang diperoleh adalah sesuai dengan distribusi yang ditunjukkan pada pengolahan data dengan menggunakan *software* Weibull++ 4, sedangkan nilai parameter distribusi (dalam satuan *second*) di tunjukkan pada kolom keempat. Persentase *Scrap* menunjukkan nilai persentase material yang rusak dari keseluruhan material yang diproses. Data waktu proses, waktu penyetelan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk dan kemacetan kecil pada stasiun *shearing* ini selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 9 yang berisi tabel waktu proses stasiun shearing.

Tabel 4.2. Distribusi Data Proses pada Mesin Shearing

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Setting material	Lognormal	$t_0 = 5.9773$, $s = 0.3398$
2	Set mesin	Weibull	$\alpha = 1.0872$, $\beta = 28.9477$, $\gamma = 22.609$
3	Set batch	Normal	$\mu = 173.272$, $\sigma = 30.1705$
4	Macet	Lognormal	$t_0 = 3.89$, $s = 0.92$
5	% Scrap		0.1086 %

Selengkapnya data waktu proses, waktu penyete lan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk dan kemacetan kecil pada mesin *feeder* dapat dilihat pada lampiran 10 yang memuat tabel waktu proses pada mesin *feeder*. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada mesin *feeder*. Jenis distribusi yang diperoleh pada kolom ketiga adalah sesuai dengan distribusi yang ditunjukkan pada pengolahan data, sedangkan nilai parameter distribusi (dalam satuan *second*) di tunjukkan pada kolom keempat.

Tabel 4.3. Distribusi Data Proses pada Mesin Feeder

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Setting material	Lognormal	$t_0 = 5.6010$, $s = 0.2889$
2	Set mesin	Normal	$\mu = 37.8387$, $\sigma = 12.1011$
3	Macet	Lognormal	$t_0 = 3.7046$, $s = 1.2338$

Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada bak pencucian. Persentase *defect* menunjukkan nilai persentase material yang cacat dari keseluruhan material yang diproses. Persentase *rework* menunjukkan proporsi material yang bisa dikerjakan ulang dari keseluruhan material cacat, sedangkan persentase *scrap* menunjukkan proporsi material yang benar-benar rusak. Selengkapnya data waktu proses, waktu penyete lan mesin, waktu penyiapan material, waktu

pengambilan produk, kemacetan kecil dan pengerjaan ulang pada bak pencucian dapat dilihat pada lampiran 11 yang memuat tabel waktu proses pada bak *cleaning* dan lampiran 12 yang memuat tabel waktu proses ulang pada bak *cleaning*.

Tabel 4.4. Distribusi Data Proses pada *Cleaning Line*

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Macet	Lognormal	$t_0 = 3.6261$, $s = 0.8463$
2	% Defect		0.3118 %
3	% Scrap		43.2129 %
4	% Rework		56.7870 %

Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada bak *galvanizing* dan *drying*. Data waktu proses, waktu penyetelan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk dan kemacetan kecil pada bak *galvanizing* dapat dilihat pada lampiran 13 yang memuat tabel waktu proses pada bak *galvanizing*, sedangkan data waktu proses, waktu penyetelan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk dan kemacetan kecil pada proses *drying* dan pemberian cap pabrik dapat dilihat pada lampiran 14 yang memuat tabel waktu proses *drying* dan *stamping*.

Tabel 4.5. Distribusi Data Proses pada Bak *Galvanizing* dan *Drying*

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Setting mesin	Exponential 2	$\lambda = 0.0388$, $\gamma = 22.4109$
2	Macet	Lognormal	$t_0 = 4.1274$, $s = 1.3260$
3	Setting alat <i>drying</i>	Weibull 2	$\alpha = 3.24$, $\beta = 55.23$, $\gamma = 0$

Dalam Tabel 4.6 ditunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada proses inspeksi. Persentase *defect* menunjukkan nilai persentase material yang cacat dari keseluruhan material yang diproses.

Persentase *rework* menunjukkan proporsi material yang bisa dikerjakan ulang dari keseluruhan material cacat, sedangkan persentase *scrap* menunjukkan proporsi material yang benar-benar rusak. Data waktu proses dan waktu penyetelan pada proses inspeksi selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 15 yang memuat tabel waktu proses pengecekan.

Tabel 4.6. Distribusi Data Proses pada Stasiun Inspeksi

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Setting material	Weibull 3	$\alpha = 1.8226$, $\beta = 285.4408$, $\gamma = 64.2035$
2	% Rework		79.0916 %
3	% Defect		0.9383 %
4	% Scrap		20.9084 %

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada mesin *big corrugation*. Persentase *rework* menunjukkan nilai persentase material yang dikerjakan ulang dari keseluruhan material yang diproses. Selengkapnya data waktu proses, waktu penyetelan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk, kemacetan kecil dan pengerjaan ulang pada bak pencucian dapat dilihat pada lampiran 16 yang memuat tabel waktu proses pada mesin *big corrugation*.

Tabel 4.7. Distribusi Data Proses pada Stasiun Big Corrugation

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Setting material	Weibull 3	$\alpha = 1.8658$, $\beta = 388.5612$, $\gamma = 174.3741$
2	Setting Mesin	Weibull 3	$\alpha = 0.8310$, $\beta = 159.2177$, $\gamma = 5.9865$
3	Setting Meja	Weibull 3	$\alpha = 0.6593$, $\beta = 118.8795$, $\gamma = 15.9401$
4	Macet	Lognormal	$t_0 = 3.4864$, $s = 0.8118$
5	% Rework		0.1035 %

Data waktu proses, waktu penyetelan mesin, waktu penyiapan material, waktu pengambilan produk dan kemacetan kecil pada mesin *small corrugation* selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 17 yang

memuat tabel waktu proses pada mesin *small corrugation*. Tabel 4.9 ditunjukkan hasil pengolahan data untuk pemrosesan pada mesin *small corrugation* tersebut. Persentase *rework* menunjukkan proporsi material yang dikerjakan ulang dari keseluruhan material yang diproses.

Tabel 4.8. Distribusi data proses pada Stasiun Small Corrugation

No	Proses	Distribusi	Parameter
1	Setting material	Weibull 3	$\alpha = 1.5267$, $\beta = 266.4463$, $\gamma = 169.9710$
2	Setting Mesin	Weibull 3	$\alpha = 0.6507$, $\beta = 79.91626$, $\gamma = 25.5972$
3	Setting Meja	Weibull 3	$\alpha = 1.5488$, $\beta = 105.2847$, $\gamma = 109.7980$
4	Macet	Lognormal	$t_0 = 2.8244$, $s = 1.1944$
5	% Rework		0.0919 %

□□□□□□□□□□ □□□□□□ □□□□

□□□□□□□□□□□□ □□□□ □□□□□□

Model yang telah dibuat disimulasikan dengan memberi input yang sama dengan kondisi sistem nyata.

Banyaknya replikasi dapat ditentukan dengan cara ant ara lain:

- Menentukan jumlah replikasi awal, dalam hal ini diambil $n_0 = 5$ kali replikasi. Tabel 4.10 menunjukkan hasil *run* simulasi sebanyak 5 kali replikasi dan jumlah produk yang diproduksi dalam setahun operasi.

Tabel 4.9. Data dari *Small Trial Sample*

Replikasi	Annual Throughput (sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4889500	3364025	3351250
Run 2	4809875	3374525	3364600
Run 3	4843825	3343275	3346900
Run 4	4846100	3367000	3365900
Run 5	4904550	3342150	3340900
AVERAGE	4858770	3357795	3353910
STDEV	38127.23518	15174.93204	10994.45

b) Menentukan tingkat kesalahan (*error*) dari simulasi model awal dengan langkah:

- i. Menghitung rata-rata *throughput*, diperoleh $\bar{x} = 3353910$
- ii. Menghitung standar deviasi, diperoleh $s = 10994.45$
- iii. Menghitung *error*, dengan $\alpha = 5\%$, diperoleh

$$\square \square t_{(n-1, \alpha/2)} \frac{s}{\sqrt{n_0}}$$

$$\square = t_{(4, 0.025)} \frac{10994.45}{\sqrt{5}} = 17186$$

c) Jumlah replikasi ditentukan dengan:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 s^2}{2}$$

$$n = \frac{1.96^2 10994.45^2}{17186^2} = 2.572$$

Dengan demikian diperlukan replikasi sebanyak minimal 3 kali replikasi.

□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□ □□□□□□□□

Validasi model referensi digunakan untuk menentukan bahwa model referensi telah mewakili sistem yang sebenarnya dengan akurat. Model yang valid adalah model yang memberi keluaran rata-rata yang sama dengan keluaran rata-rata sistem aktual. Untuk itu diadakan uji hipotesa terhadap rata-rata.

Dari replikasi model referensi ini sebanyak 6 kali, diperoleh hasil seperti pada tabel 4.10. Dari tabel ini dapat dilihat keluaran selama setahun operasi dari masing-masing stasiun.

Tabel 4.10 Data Laju Produksi dari Model Referensi

Replikasi	Annual Throughput (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4907350	3367350	3360950
Run 2	4889500	3364025	3351250
Run 3	4809875	3374525	3364600
Run 4	4843825	3341275	3336900
Run 5	4846100	3367000	3365900
Run 6	4904550	3342150	3336900
AVERAGE	4866866.667	3359387.5	□□□□□□
STDEV	39449.77714	14122.29399	13306.2391

Untuk mengetahui apakah rata-rata laju produksi dari hasil run simulasi ini adalah sama secara statistik dengan rata-rata laju produksi yang sesungguhnya maka diadakan pengujian hipotesa dengan *t test*.

H_0 : tidak ada perbedaan antara rata-rata data *throughput* sesungguhnya dan rata-rata data *throughput* hasil *run* simulasi.

H_0 : $\mu = 3358208$

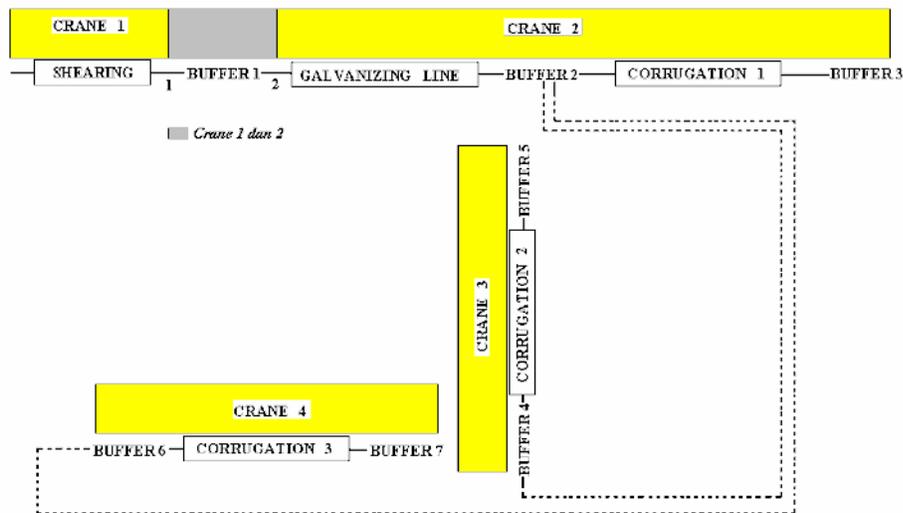
H_1 : ada perbedaan antara rata-rata data *throughput* sesungguhnya dan rata-rata data *throughput* hasil *run* simulasi.

H_1 : $\mu \neq 3358208$

Statistik ujinya adalah $t_{hitung} = \frac{\bar{X} - \mu}{s/\sqrt{n}}$



Parameter yang diubah pada model simulasi ini adalah prioritas penggunaan *crane 1*, dimana pada titik 1 (sebelum *buffer 1*) dan titik 2 (sesudah *buffer 1*) diprioritaskan penggunaan *crane 1*, *crane 2* hanya digunakan jika *crane 1* tidak tersedia. Gambar 4.6 menunjukkan area layanan *overhead crane* pada skenario 1 ini. Dari gambar ini dapat dilihat area yang digunakan bersama oleh *crane 1* dan *crane 2*, yaitu area *buffer 1* antara stasiun *shearing* dan stasiun *galvanizing*. Garis putus-putus pada Gambar 4.6 adalah lintasan *forklift* yang mengangkut material yang akan diproses pada mesin *corrugation 2* dan mesin *corrugation 3*.



Gambar 4.6 Pengaturan Crane pada Model dengan Skenario 1.

Tabel 4.12 menunjukkan data laju produksi setelah skenario 1 ini dijalankan. Dari tabel ini dapat dilihat perbandingan jumlah keluaran dari masing-masing stasiun, dimana keluaran stasiun *shearing* terlihat sangat tinggi bila dibandingkan stasiun lainnya. Utilisasi mesin dan *overhead*

crane ditunjukkan pada lampiran 2 yang memuat tabel utilisasi model referensi dan model alternatif. Pada lampiran 2 tersebut dapat dilihat nilai utilisasi stasiun *galvanizing* yang mencapai 97%. Dengan jumlah keluaran yang rendah pada tingkat utilisasi tersebut dapat disimpulkan bahwa stasiun *galvanizing* adalah area *bottleneck* pada sistem produksi.

Tabel 4.12 Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 1

Replikasi	Annual Throughput (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4956525	3360000	3351750
Run 2	4786075	3358250	3336600
Run 3	4889675	3363500	3355650
Run 4	4884425	3367875	3366050
Run 5	4868325	3353175	3350350
Run 6	4818800	3361750	3351400
AVERAGE	4867304	3360758	□□□□□□
STDEV	59507.66005	4970.328628	9497.613735

Dari Tabel 4.12 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah □□□□□□ dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada model referensi sebesar □□□□□□, maka terjadi penurunan kapasitas produksi sebesar □□□□ □.

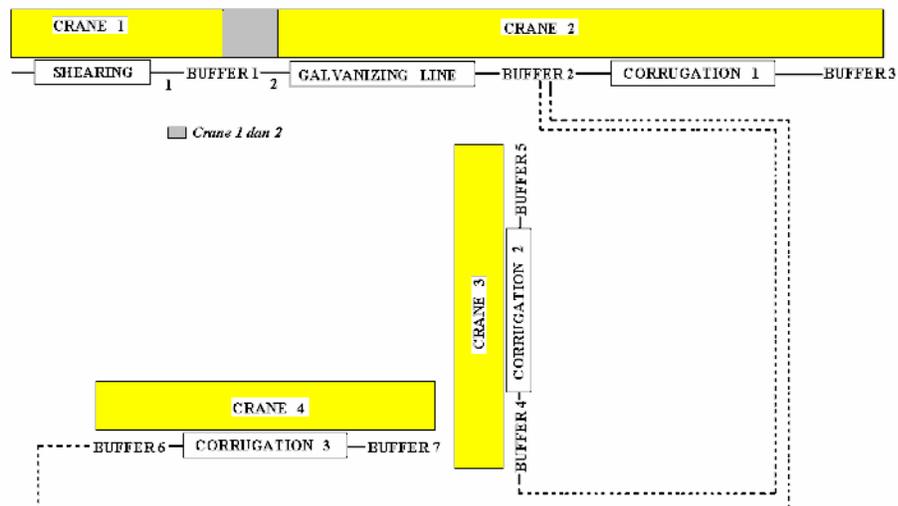
Tabel 4.13 menunjukkan *work in process* yang terdapat pada masing-masing stasiun kerja. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa *buffer 1* yang terletak antara stasiun *shearing* dan *galvanizing* menampung jumlah material yang sangat besar. Hal ini diakibatkan oleh keluaran stasiun *galvanizing* yang sangat rendah, walaupun telah beroperasi pada tingkat utilisasi 97%.

Tabel 4.13 Data WIP dari Model dengan Skenario 1.

Replikasi	Work in Process (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	1596525	8250
Run 2	0	1427825	21650
Run 3	0	1526175	7850
Run 4	0	1516550	1825
Run 5	0	1515150	2825
Run 6	0	1457050	10350
AVERAGE	0	1506545	8791
STDEV	0	58825.97517	7114.50396

□□□□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model simulasi ini adalah prioritas penggunaan crane, dimana pada titik 1 (sebelum *buffer 1*) hanya digunakan crane 1 dan titik 2 (sesudah *buffer 1*) digunakan crane 1 dan crane 2. Gambar 4.7 menunjukkan area layanan *overhead* pada skenario 2 ini.



Gambar 4.7 Pengaturan Crane pada Model dengan Skenario 2.

Dari gambar ini dapat dilihat area yang digunakan bersama oleh *crane 1* dan *crane 2*, yaitu area setelah *buffer 1*. Garis putus-putus pada Gambar 4.7 adalah lintasan *forklift* yang mengangkut material yang akan diproses pada mesin *corrugation 2* dan mesin *corrugation 3*.

Hasil produksi dalam setahun ditunjukkan pada tabel 4.13, sedangkan utilisasi mesin dan *overhead crane* ditunjukkan pada lampiran 2. Dari tabel ini dapat dilihat perbandingan jumlah keluaran dari masing-masing stasiun, dimana keluaran stasiun *shearing* masih sangat tinggi bila dibandingkan stasiun sesudahnya. Pada lampiran 2 dapat dilihat nilai utilisasi stasiun *galvanizing* yang mencapai 97%, sehingga dengan jumlah keluaran seperti pada tabel 4.3 dapat disimpulkan bahwa stasiun *galvanizing* adalah area *bottleneck* pada sistem produksi.

Tabel 4.14 Data Laju Produksi dari Model Skenario 2.

Replikasi	Annual Throughput (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4845575	3372775	3361200
Run 2	4887400	3366825	3364900
Run 3	4837525	3363325	3360800
Run 4	4868325	3385550	3376400
Run 5	4865000	3346175	3341250
Run 6	4847150	3378025	3375050
AVERAGE	4858495	3368779	□□□□□□
STDEV	18492.26471	13617.84139	12965.24842

Dari Tabel 4.14 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah □□□□□□ dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada model referensi sebesar □□□□□□, maka terjadi peningkatan kapasitas produksi sebesar □□□□ □.

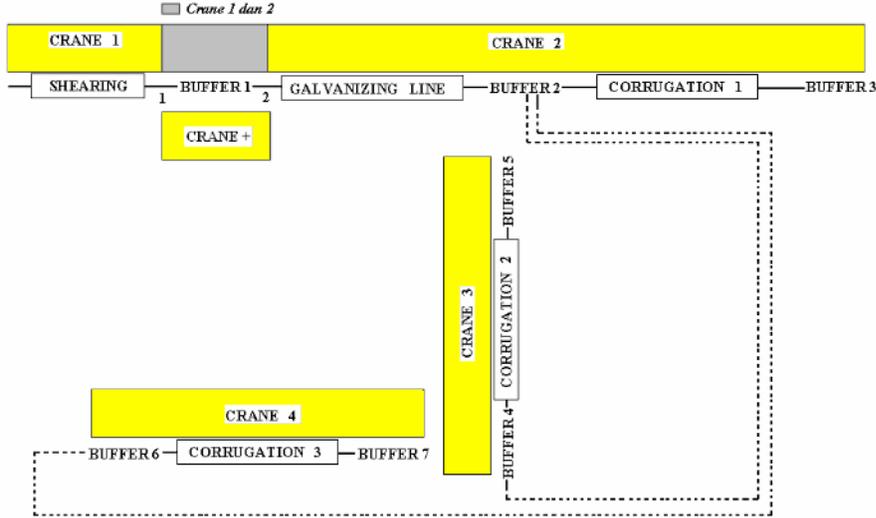
Tabel 4.15 menunjukkan *work in process* yang terdapat pada masing-masing stasiun kerja. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa akibat kapasitas produksi stasiun *shearing* yang jauh lebih besar daripada kapasitas produksi stasiun *galvanizing* walaupun kedua stasiun beroperasi pada tingkat utilisasi yang sama, jumlah material yang menunggu untuk diproses pada *buffer 1* mencapai jumlah yang sangat besar.

Tabel 4.15 Data WIP dari Model Skenario 2.

Replikasi	Work in Process (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	1472800	11575
Run 2	0	1520575	1925
Run 3	0	1474200	2525
Run 4	0	1482775	9150
Run 5	0	1518825	4925
Run 6	0	1469125	2975
AVERAGE	0	1489716	5512
STDEV	0	23658.72285	3963.95478

□□□□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model simulasi ini adalah penambahan 1 unit *overhead crane* sebagai *crane* prioritas dan khusus digunakan untuk *buffer 1*. Gambar 4.8 menunjukkan area layanan *overhead* pada skenario 3 ini. Dari gambar ini dapat dilihat area arsiran yaitu area sekitar *buffer 1* yang merupakan area yang digunakan bersama oleh *crane 1* dan *crane 2* serta *crane +*. Garis putus-putus pada Gambar 4.7 adalah lintasan *forklift* yang mengangkut material yang akan diproses pada mesin *corrugation 2* dan mesin *corrugation 3*.



Gambar 4.8 Pengaturan Crane pada Model dengan Skenario 3.

Tabel 4.16 menunjukkan hasil produksi dalam setahun, sedangkan utilisasi mesin dan *overhead crane* dapat dilihat pada lampiran 2. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa akibat kapasitas produksi stasiun *shearing* yang jauh lebih besar daripada kapasitas produksi stasiun *galvanizing* walaupun kedua stasiun beroperasi pada tingkat utilisasi yang sama, jumlah material yang menunggu untuk diproses pada *buffer 1* mencapai jumlah yang sangat besar.

Tabel 4.16 Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 3

Replikasi	Annual Throughput (sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4863250	3365075	3362650
Run 2	4781525	3370850	3363700
Run 3	4925025	3369100	3360000
Run 4	4843650	3386425	3377400
Run 5	4861325	3385900	3385100
Run 6	4866750	3363150	3361150
AVERAGE	4856920	3373416	□□□□□□
STDEV	46162.5211	10249.48373	10374.37548

Dari Tabel 4.16 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah 1000000 dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada model referensi sebesar 1000000, maka terjadi peningkatan kapasitas produksi sebesar 1000000.

Tabel 4.17 menunjukkan work in process yang terdapat pada masing-masing stasiun kerja dan dapat dilihat bahwa buffer 1 yang terletak antara stasiun shearing dan galvanizing menampung jumlah material yang sangat besar, walaupun stasiun galvanizing telah beroperasi pada tingkat utilisasi 97%.

Tabel 4.17 Data Work in Process dari Model dengan Skenario 3

Replikasi	Work in Process (sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	1498175	2425
Run 2	0	1410675	7150
Run 3	0	1555925	9100
Run 4	0	1457225	9025
Run 5	0	1475425	800
Run 6	0	1503600	2000
AVERAGE	0	1483504	5083
STDEV	0	48834.02097	3764.627029

1000000000000

Parameter yang diubah pada model simulasi ini adalah penambahan jam operasi galvanizing line yang teridentifikasi sebagai *equipment bottleneck*. Sedangkan jam operasi pada stasiun shearing dan corrugation tidak berubah.

Tabel 4.18 menunjukkan hasil produksi dalam setahun, sedangkan utilisasi mesin dan overhead crane dapat dilihat pada lampiran 2 yang

memuat tabel utilisasi model referensi dan model alternatif. Dari tabel ini dapat dilihat perbandingan jumlah keluaran dari masing-masing stasiun, dimana keluaran stasiun galvanizing terlihat mengalami peningkatan yang dibanding skenario sebelumnya. Pada lampiran 2 dapat dilihat nilai utilisasi stasiun galvanizing yang tetap tinggi, yaitu sekitar 97%.

Tabel 4.18 Data Laju Produksi dari Model Skenario 4

Replikasi	Annual Throughput (sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4863950	3945550	3840200
Run 2	4909100	3946775	3923250
Run 3	4834550	3956225	3920000
Run 4	4773825	3920700	3810650
Run 5	4861150	3950975	3843600
Run 6	4824225	3368575	3362250
AVERAGE	4844466	3848133	□□□□□□
STDEV	45461.43879	235254.1257	211271.254

Dari Tabel 4.18 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah □□□□□□ dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada model referensi sebesar □□□□□□, maka terjadi peningkatan kapasitas produksi sebesar □□□□ □.

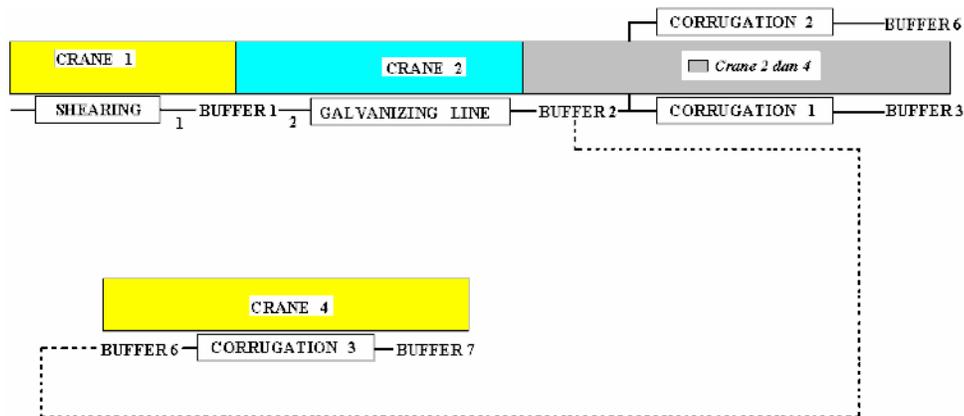
Tabel 4.19 menunjukkan work in process yang terdapat pada masing-masing stasiun kerja. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa dengan penambahan jam operasi pada stasiun galvanizing, work in process pada buffer 1 dapat diturunkan, walaupun stasiun sebelum dan sesudahnya beroperasi tanpa penambahan jam operasi.

Tabel 4.19 Data WIP dari Model Skenario 4

Replikasi	Work in Process (sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	918400	105350
Run 2	0	962325	23525
Run 3	0	878325	36225
Run 4	0	853125	110050
Run 5	0	910175	107375
Run 6	0	1455650	6325
AVERAGE	0	996333	64808
STDEV	0	228061.3178	47841.35676

□□□□ □□□□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model simulasi ini adalah perubahan letak *crane* dan mesin *small corrugation* agar lebih dekat dengan area produksi sehingga penggunaan *forklift* tidak diperlukan lagi. Gambar 4.9 menunjukkan area layanan *overhead crane* pada skenario 5 ini.



Gambar 4.9 Pengaturan Crane pada Model dengan Skenario 5.

Dari gambar di atas dapat dilihat area arsiran yaitu area sekitar *buffer 2* dan *buffer 3* yang merupakan area yang digunakan bersama oleh *crane 2* dan *crane 4*. Garis putus-putus pada Gambar 4.9 adalah lintasan

forklift yang mengangkut material yang akan diproses pada mesin *corrugation 3*, sedangkan lintasan *forklift* ke mesin *corrugation 2* sudah dihilangkan.

Tabel 4.20 menunjukkan hasil produksi dalam setahun, sedangkan utilisasi mesin dan overhead crane dapat dilihat pada lampiran 2 yang memuat tabel utilisasi model referensi dan model alternatif. Pada lampiran 2 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan utilisasi mesin small corrugation, sedangkan pada mesin big corrugation 1 utilisasi relatif tidak berubah.

Dari tabel ini dapat dilihat perbandingan jumlah keluaran dari masing-masing stasiun. Karena proporsi produk yang diproduksi oleh mesin small corrugation (*corrugation 2*) cukup kecil, maka peningkatan produksi yang ada pada stasiun corrugation juga cukup kecil.

Tabel 4.20 Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 5

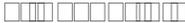
Replikasi	Annual Throughput (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4894750	3386775	3384350
Run 2	4867975	3369800	3367650
Run 3	4782050	3365600	3362700
Run 4	4866925	3368575	3364450
Run 5	4852225	3362800	3360500
Run 6	4852575	3367175	3363300
AVERAGE	4852750	3370120	□□□□□□□
STDEV	37935.54402	8515.447972	8743.306964

Dari Tabel 4.20 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah □□□□□□□ dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada model referensi sebesar □□□□□□□, maka terjadi peningkatan kapasitas produksi sebesar □□□□ □.

Tabel 4.21 menunjukkan work in process dari model dengan skenario 5 pada masing-masing stasiun kerja. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa buffer 1 yang terletak antara stasiun shearing dan galvanizing masih menampung jumlah material yang sangat besar, sebaliknya pada buffer 2 jumlah work in process justru makin berkurang akibat kecepatan operasi pemindahan material ke mesin small corrugation dapat berlangsung lebih cepat dari sebelumnya.

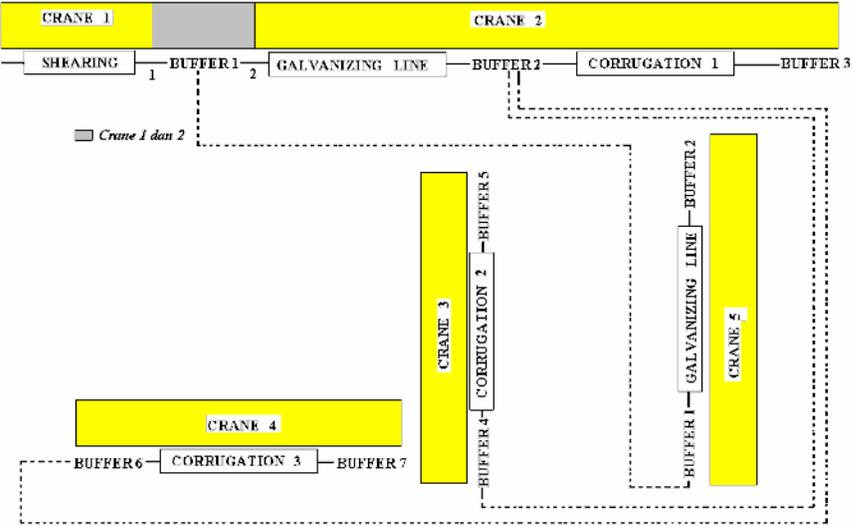
Tabel 4.21 Data WIP dari Model dengan Skenario 5

Replikasi	Work in Process (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	1507975	2425
Run 2	0	1498175	2150
Run 3	0	1416450	2900
Run 4	0	1498350	4125
Run 5	0	1489425	2300
Run 6	0	1485400	3875
AVERAGE	0	1482629	2962
STDEV	0	33360.97052	845.68759



Parameter yang diubah pada model ini adalah penambahan 1 unit *galvanizing line* dan 1 unit *overhead crane*. Gambar 4.9 menunjukkan area layanan *overhead crane* pada skenario 6 ini. Dari gambar dapat dilihat area arsiran yaitu area sekitar *buffer 1* yang merupakan area yang digunakan bersama oleh *crane 1* dan *crane 2*. Garis putus-putus pada Gambar 4.10 adalah lintasan *forklift* yang mengangkut material yang akan

diproses pada mesin *corrugation 2*, mesin *corrugation 3* serta lintasan ke *galvanizing line* yang baru.



Gambar 4.10 Pengaturan Crane pada Model dengan Skenario 6.

Jumlah produksi yang bisa diperoleh dari model simulasi dengan skenario ini dapat dilihat pada tabel 4.22 yang menunjukkan data laju produksi setelah skenario 6 ini dijalankan. Dari tabel ini dapat dilihat perbandingan jumlah keluaran dari masing-masing stasiun. Peningkatan produksi yang sangat signifikan terlihat pada stasiun galvanizing dan sebagai akibatnya peningkatan produksi juga terjadi pada stasiun corrugation.

Utilisasi mesin dan overhead crane ditunjukkan pada lampiran 2 yang memuat tabel utilisasi model referensi dan model alternatif. Pada lampiran 2 tersebut dapat dilihat bahwa ada peningkatan utilisasi baik pada mesin big corrugation 1 maupun pada mesin small corrugation.

Tabel 4.22 Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 6

Replikasi	Annual Throughput (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4877075	4841200	4830400
Run 2	4890900	4859225	4858650
Run 3	4844350	4818625	4813100
Run 4	4844175	4802525	4801300
Run 5	4809700	4791150	4786700
Run 6	4904550	4872175	4860600
AVERAGE	4861791	4830816	□□□□□□
STDEV	35319.26056	32086.93919	30328.00274

Dari Tabel 4.22 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah □□□□□□ dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada model referensi sebesar □□□□□□, maka terjadi peningkatan kapasitas produksi sebesar □□□□ □.

Banyaknya work in process yang terdapat pada masing-masing stasiun dapat dilihat pada Tabel 4.23. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa work in process pada buffer 1 dan buffer 2 telah menunjukkan angka yang sangat jauh berkurang dibanding kondisi sebelum ada penambahan galvanizing line.

Tabel 4.23 Data Work in Process dari Model dengan Skenario 6

Replikasi	Work in Process (sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	35875	10800
Run 2	0	31675	575
Run 3	0	25725	5525
Run 4	0	41650	1225
Run 5	0	18550	4450
Run 6	0	32375	11575
AVERAGE	0	30975	5692
STDEV	0	8029.430241	4656.38451

□□□□□□□□□□

Skenario 7 ini merupakan gabungan antara Skenario 4 dan Skenario 5. Parameter yang diubah pada model ini adalah perubahan letak crane dan mesin small corrugation agar lebih dekat dengan area produksi serta menambah jam operasi pada galvanizing line. Utilisasi mesin dan overhead crane dapat dilihat pada lampiran 2 yang memuat tabel utilisasi model referensi dan model alternatif.

Tabel 4.24 menunjukkan hasil produksi yang bisa diperoleh dengan skenario ini. Dari tabel ini dapat dilihat perbandingan jumlah keluaran dari masing-masing stasiun. Dibanding skenario 4 dan skenario 5 secara terpisah, gabungan kedua skenario ini memberikan kapasitas produksi yang lebih besar.

Tabel 4.24 Data Laju Produksi dari Model dengan Skenario 7.

Replikasi	Annual Throughput (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	4896675	3916850	3903200
Run 2	4867975	3945725	3896400
Run 3	4782050	3967250	3927050
Run 4	4866925	3954125	3941100
Run 5	4852225	3949225	3894250
Run 6	4852575	3936975	3926950
AVERAGE	4853070	3945025	□□□□□□
STDEV	38367.47456	17050.06598	19415.42557

Dari Tabel 4.24 ini diperoleh rata-rata kapasitas produksi adalah □□□□□□□□ dan jika dibandingkan dengan rata-rata kapasitas produksi pada

model referensi sebesar 00000000, maka terjadi peningkatan kapasitas produksi sebesar 00000000.

Tabel 4.25 menunjukkan work in process dari model dengan skenario 7 pada masing-masing stasiun kerja. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa pada buffer 1 dan buffer 2 terjadi penurunan work in process yang cukup signifikan. Pada buffer 1 penurunan work in process terjadi sebagai akibat penambahan jam operasi pada stasiun galvanizing, sedangkan penurunan work in process pada buffer 2 adalah akibat kecepatan operasi pemindahan material ke mesin small corrugation dapat berlangsung lebih cepat dari sebelumnya.

Tabel 4.25 Data WIP dari Model dengan Skenario 7.

Replikasi	Work in Process (unit sheet)		
	Shearing	Galvanizing Line	Corrugation
Run 1	0	979825	13650
Run 2	0	922250	49325
Run 3	0	814800	40200
Run 4	0	912800	13025
Run 5	0	903000	54975
Run 6	0	915600	10025
AVERAGE	0	908045	30200
STDEV	0	53205.11352	20275.50246

dengan menambah jumlah operator pada *galvanizing line*, atau memberi pelatihan kepada operator sehingga bisa bekerja dengan lebih cepat dan efisien.

Dari 7248 jam operasi, pada *galvanizing line* teridentifikasi ada rata-rata 9221 menit *utilization losses* pada saat pemasangan (*loading*) material baru, ada rata-rata 1020 menit pada saat pengambilan (*unloading*) produk jadi dan ada rata-rata 1009 menit akibat kemacetan kecil. Selain itu, utilisasi *crane* yang melayani *galvanizing line* juga harus mendapat perhatian. Hal ini bisa dilakukan dengan memanfaatkan *crane 3* atau *crane 4* yang sangat jarang digunakan (Lampiran 2).

□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model ini adalah prioritas penggunaan *crane 1*, dimana pada titik 1 (sebelum *buffer 1*) dan titik 2 (sesudah *buffer 1*) diprioritaskan penggunaan *crane 1*, *crane 2* hanya digunakan jika *crane 1* tidak tersedia.

Untuk menguji Skenario 1 apakah memiliki kapasitas produksi lebih tinggi dibanding dengan model Referensi (model standar) maka dilakukan uji hipotesa. Dari uji kesamaan dua rata-rata diperoleh $t_{hitung} = -0.12$ (lampiran 3), dan karena $t_{hitung} < t_{tabel} = 1.812$, maka □□□□□□□□□□ □ dan disimpulkan bahwa mengubah persentase penggunaan *overhead crane* ataupun memberikan prioritas lebih penggunaan salah satu *overhead crane* pada peralatan yang sifatnya dipakai bersama (*sharing equipment*) akan memberikan penurunan kapasitas produksi dibandingkan rata-rata kapasitas produksi model Referensi sebesar □□□□□□ .

Dari hasil simulasi model referensi standar, model dengan Skenario 1 dan Skenario 2 diketahui bahwa walaupun terdapat perbedaan nilai hasil produksi rata-rata, namun secara statistik ketiga model ini memberikan hasil yang tidak berbeda ($t_{hitung} < t_{tabel}$). Dengan demikian dapat dikatakan.

□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model ini adalah prioritas penggunaan *crane*, dimana pada titik 1 (sebelum *buffer* 1) hanya digunakan *crane* 1 dan titik 2 (sesudah *buffer* 1) digunakan *crane* 1 dan *crane* 2.

Untuk menguji Skenario 2 apakah memiliki kapasitas produksi lebih tinggi dibanding dengan model Referensi (model standar) maka dilakukan uji hipotesa. Dari uji kesamaan dua rata-rata diperoleh $t_{hitung} = 1.40$ (lampiran 3), dan karena $t_{hitung} < t_{tabel} = 1.812$, maka □□□□□□□□□□ □ dan disimpulkan bahwa tidak ada peningkatan rata-rata kapasitas produksi Skenario 2 dibandingkan rata-rata kapasitas produksi model Referensi. Meskipun pada Tabel 5.1 dapat diketahui persentase peningkatan kapasitas produksi Skenario 2 yaitu sebesar □□□□□□ .

□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model ini adalah penambahan 1 unit *crane*, yang khusus digunakan sebagai *crane* prioritas pada *buffer* 1.

Untuk menguji Skenario 3 apakah memiliki kapasitas produksi lebih tinggi dibanding dengan model Referensi (model standar) maka dilakukan uji hipotesa. Dari uji kesamaan dua rata-rata diperoleh $t_{hitung} = 2.26$ (lampiran 3), dan karena $t_{hitung} > t_{tabel} = 1.812$, maka □□□□□□□□□□ □ dan

(lampiran 3), dan karena $t_{hitung} > t_{tabel} = 1.812$, maka $\square\square\square\square\square\square\square$ dan disimpulkan bahwa ada peningkatan rata-rata kapasitas produksi Skenario 4 sebesar $\square\square\square\square$ dibandingkan rata-rata kapasitas produksi model Referensi.

Karena masih ada 20,52 % hasil produksi stasiun *shearing* yang tidak bisa diproses pada stasiun *galvanizing*, maka berarti dapat diiringi dengan pengurangan jam operasi pada stasiun sebelumnya (*shearing*). Karena terjadinya kondisi *blocking* pada stasiun ini maka bisa dilakukan pengurangan kapasitas produksi pada stasiun *shearing* sampai batas 80% dari kapasitas produksi semula, hal ini bisa dilakukan untuk mengurangi *work in process* antara stasiun *shearing* dan stasiun *galvanizing*.

Stasiun *corrugation* berada dalam kondisi *starving* akibat kurangnya pasokan dari stasiun *galvanizing*. Mesin *big corrugation 1* hanya bisa memproduksi 29,83 % dari kapasitas produksinya, sedangkan mesin *small corrugation* memang mempunyai utilisasi yang rendah karena hanya digunakan untuk memproses 11,89% dari keseluruhan baja lembaran lapis seng yang diproduksi dari stasiun *galvanizing*. Pada Tabel 5.1, dapat diketahui bahwa penambahan jam operasi stasiun *galvanizing* pada Skenario 4 dapat meningkatkan utilisasi mesin *big corrugation 1* sebesar 13,79% dibanding model referensi.

Pada *galvanizing line* model dengan Skenario 4 ini teridentifikasi ada rata-rata 10468 menit *utilization losses* pada saat pemasangan (*loading*) material baru, ada rata-rata 1170 menit pada saat pengambilan

□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□

Parameter yang diubah pada model ini adalah penambahan 1 unit *galvanizing line* dan 1 unit *overhead crane*.

Untuk menguji Skenario 6 apakah memiliki kapasitas produksi lebih tinggi dibanding dengan model Referensi (model standar) maka dilakukan uji hipotesa. Dari uji kesamaan dua rata-rata diperoleh $t_{hitung} = 108.90$ (lampiran 3), dan karena $t_{hitung} > t_{tabel} = 1.812$, maka □□□□□□□□□□ dan disimpulkan bahwa ada peningkatan rata-rata kapasitas produksi Skenario 6 sebesar □□□□□□□□□□ dibandingkan rata-rata kapasitas produksi model Referensi.

Kondisi yang terjadi pada model ini berbeda dengan model terdahulu dimana stasiun *galvanizing* kekurangan pasokan (*starving*) dari stasiun sebelumnya dan hanya bisa memproduksi 69.95% dari kapasitas produksinya. Stasiun *corrugation* juga masih berada dalam kondisi *starving* karena pasokan yang kurang dari stasiun *galvanizing*. Namun mesin *big corrugation 1* sudah bisa memproduksi 42,54 % dari kapasitas produksinya.

Dari Skenario 6 diketahui adanya peralihan *equipment bottleneck* ke stasiun *shearing*. Hal ini ditandai dengan nilai utilisasi yang tinggi yaitu 97,03 % dengan laju produksi yang rendah dari stasiun ini sehingga terjadi kondisi *starving*. Dari data juga terlihat bahwa ada peningkatan utilisasi baik pada mesin *big corrugation 1* sebesar 42,98 % maupun pada mesin *small corrugation* sebesar 45.06 % dibanding model referensi.

Pada Skenario 6 ini *utilization losses* yang harus diidentifikasi adalah yang terjadi pada stasiun *shearing* sebagai stasiun dengan *equipment bottleneck*. Dari data terlihat *utilization losses* rata-rata 19856 menit pada saat pemasangan (*loading*) dan pengambilan (*unloading*) produk, rata-rata 448 menit akibat kemacetan kecil.

□□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□□□□□

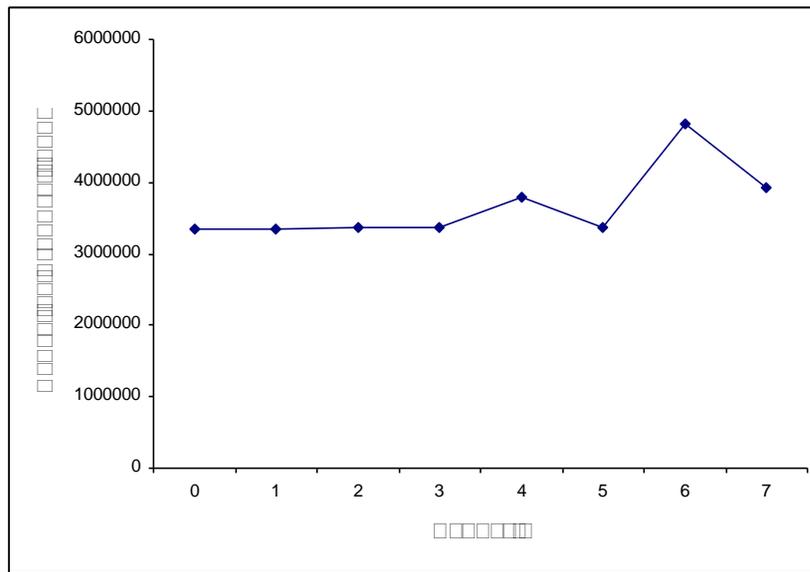
Parameter yang diubah pada model ini adalah:

- Penambahan jam operasi *galvanizing line* yang teridentifikasi sebagai *equipment bottleneck* dari 6 hari kerja/minggu menjadi 7 hari kerja/Minggu. Sedangkan jam operasi pada stasiun *shearing* dan *corrugation* tidak berubah, dan
- Perubahan letak *crane* dan mesin *small corrugation* agar lebih dekat dengan area produksi sehingga penggunaan *forklift* tidak diperlukan lagi.

Untuk menguji Skenario 7 apakah memiliki kapasitas produksi lebih tinggi dibanding dengan model Referensi (model standar) maka dilakukan uji hipotesa. Dari uji kesamaan dua rata-rata diperoleh $t_{hitung} = 58.49$ (lampiran 3), dan karena $t_{hitung} > t_{tabel} = 1.812$, maka □□□□□□□□ dan disimpulkan bahwa ada peningkatan rata-rata kapasitas produksi Skenario 7 sebesar □□□□□□□□ dibandingkan rata-rata kapasitas produksi model Referensi.

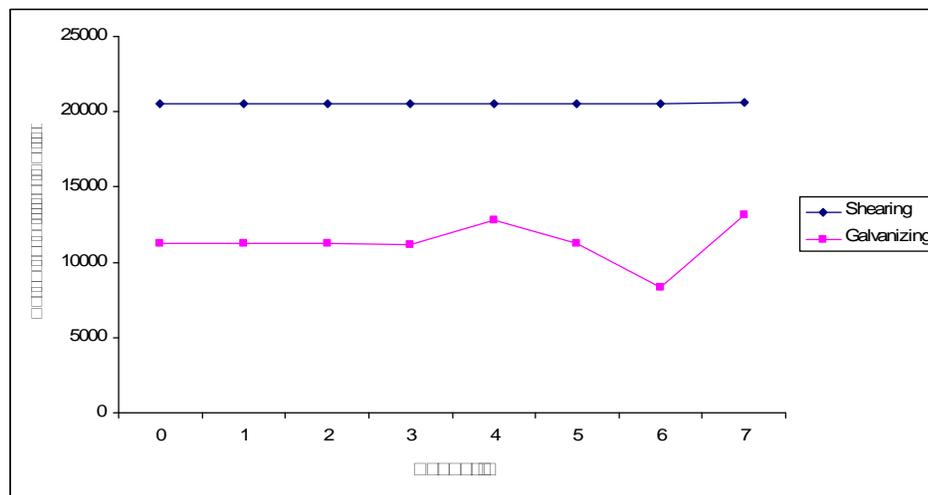
Tabel 5.1 Kapasitas Produksi, WIP, dan Utilitas

No	Model	Deskripsi Model	Kapasitas Produksi (unit sheet)			WIP (unit sheet)			Utilisasi			Peningkatan Kapasitas Produksi
			Shearing	Galvanizing	Corrugation	Shearing	Galvanizing	Corrugation	Shearing	Galvanizing	Big Corrugation	
1	Referensi	Model standar yang dijadikan pembanding	4866866	3359387	3352750	0	1507479	6637	0,970	0,971	0,297	-
2	Skenario 1	Prioritas penggunaan crane pada buffer 1 adalah crane 1, crane 2 hanya digunakan jika crane 1 tidak tersedia.	4867304	3360758	3351966	0	1506545	8791	0,970	0,970	0,293	-0,02 %
3	Skenario 2	Sebelum buffer 1 hanya digunakan crane 1, sesudah buffer 1 digunakan crane 1 dan 2	4858495	3368779	3363266	0	1489716	5512	0,970	0,971	0,297	0,31 %
4	Skenario 3	Menambah 1 unit overhead crane khusus untuk buffer 1	4856920	3373416	3368533	0	1483504	5083	0,970	0,971	0,298	0,47 %
5	Skenario 4	Menambah jam operasi pada Galvanizing Line yang teridentifikasi sebagai equipment bottleneck	4844466	3848133	3783325	0	996333	64808	0,970	0,973	0,338	12,84 %
6	Skenario 5	Merubah letak crane 3 dan mesin small corrugation	4852750	3370120	3367158	0	1482629	2926	0,969	0,971	0,297	0,43 %
7	Skenario 6	Menambah 1 unit Galvanizing Line dan crane	4861791	4830816	4825125	0	30975	5692	0,970	0,699	0,425	43,92 %
8	Skenario 7	Gabungan Skenario 4 dan Skenario 5	4853070	3945025	3914825	0	908045	30200	0,970	0,974	0,3478	16,76 %



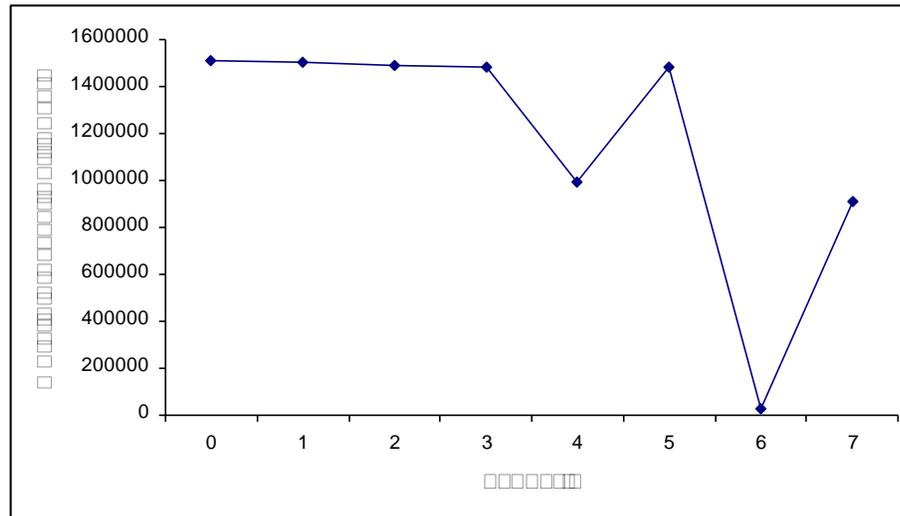
Gambar 5.2 Kapasitas Produksi per Skenario (*Sumber: Hasil Perhitungan*)

Gambar 5.2 di atas menunjukkan bahwa Skenario 6 dan Skenario 7 adalah merupakan skenario yang memenuhi kriteria model simulasi proses produksi PT. Sermani Steel yang dapat meningkatkan kapasitas produksi sesuai target produksi yang ada.



Gambar 5.3 Kerugian Utilisasi per Skenario (*Sumber: Hasil Perhitungan*)

Gambar 5.3 menunjukkan kerugian utilisasi pada stasiun *shearing* dan stasiun *galvanizing*. Dari Gambar 5.3 ini dapat diketahui bahwa model simulasi yang bisa memberikan pengurangan kerugian utilisasi pada stasiun *galvanizing* adalah model simulasi dengan Skenario 6.



Gambar 5.4 Work in Process per Skenario (Sumber: Hasil Perhitungan)

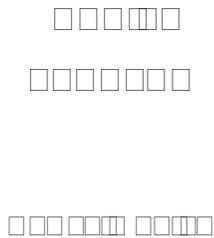
Gambar 5.4 menunjukkan *work in process* pada *buffer 1* (antara stasiun *shearing* dan stasiun *galvanizing*). Pada tingkat utilisasi stasiun *shearing* yang sama (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.1), peningkatan kapasitas produksi pada masing-masing skenario (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.2) selalu disertai dengan penurunan *work in process* (seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4).

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa peningkatan kapasitas produksi dapat diperoleh melalui beberapa skenario, yaitu:

1. Menambah 1 unit *overhead crane* pada *buffer 1* dapat meningkatkan kapasitas produksi sebesar 0,47 % (Skenario 3).

2. Menambah jam operasi stasiun *galvanizing* dari 6 hari kerja/minggu menjadi 7 hari kerja/minggu dapat meningkatkan kapasitas produksi sebesar 12,84 % (Skenario 4).
3. Memindahkan mesin *corrugation* dan *overhead crane* agar lebih dekat ke area produksi sehingga penggunaan *forklift* tidak diperlukan lagi. Dengan skenario ini diperoleh peningkatan produksi sebesar 0,43 %. (Skenario 5).
4. Menambah 1 unit *galvanizing line* bisa meningkatkan kapasitas produksi sebesar 43,92 % (Skenario 6).
5. Memindahkan mesin *corrugation* dan *overhead crane* agar lebih dekat ke area produksi dan menambah jam operasi stasiun *galvanizing* dapat meningkatkan kapasitas produksi sebesar 16,76 % (Skenario 7).

Sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka Skenario 7 adalah skenario yang dapat direkomendasikan karena sudah memenuhi target peningkatan produksi sebesar 15%. Sedangkan untuk kelangsungan proses produksi pada periode jangka panjang perlu dipertimbangkan Skenario 6 karena dapat memberikan peningkatan kapasitas produksi sebesar 43,92 % walaupun harus menambah satu unit *Galvanizing Line* dan *Crane*. Dan jika dilakukan analisis investasi pada skenario 6 yang memerlukan modal $\pm 20\%$ dari total investasi (US\$ 5.797.426) dengan laba pertahun (US\$ 156.700), maka pengembalian modal ini akan memakan waktu ± 20 tahun.



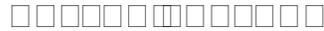
Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dijelaskan diatas, maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Proses produksi yang terdapat pada PT. Sermani Steel telah diidentifikasi dan dipahami yang terbagi atas 3 unit, yaitu: *Shearing*, *Galvanizing Line* dan *Corrugation*. Proses produksi ini kemudian dibuat dalam bentuk model konseptual (Gambar 4.2) dan model simulasi (Gambar 4.3). Model simulasi yang dibuat ini dinyatakan valid sehingga bisa merepresentasikan kondisi proses produksi PT. Sermani Steel yang sebenarnya.
2. Model simulasi proses produksi yang dapat meningkatkan kapasitas produksi telah dibuat dalam beberapa skenario, yaitu:
 - Skenario 1 dan 2 tidak menunjukkan peningkatan secara signifikan (-0,02 %) dan 0,31%
 - Skenario 3 dan 5 hanya memberikan peningkatan sebesar 0,47 % dan 0,43 %
 - Skenario 4 dan 7 memberikan peningkatan sebesar 12,84 % dan 16,76 %
 - Skenario 6 menunjukkan peningkatan yang besar yaitu 43,92 %, karena adanya penambahan 1 unit Galvanizing line.

3. Dari keseluruhan model yang disimulasikan, diperoleh model simulasi proses produksi dengan Skenario 7 sudah memenuhi peningkatan target produksi sebesar 15%. Namun untuk peningkatan kapasitas yang lebih besar pada periode jangka panjang, maka perlu dipertimbangkan Skenario 6 yang dapat memberikan peningkatan kapasitas produksi sebesar 43,92 %.



1. Bila diinginkan untuk meningkatkan kapasitas produksi 15% sampai 30%, dapat digunakan perbaikan sistem produksi yang mengacu Skenario 7.
2. Bila diinginkan untuk meningkatkan kapasitas lebih dari 30%, dapat digunakan perbaikan sistem produksi yang mengacu Skenario 6.



..... 1997-1998. *Extend™* v4. Web Site:
<http://www.imaginethatinc.com> Imaging That, Inc. San Jose. USA.

Blank, Leland. 1980. *Statistical Procedures for Engineering, Management, and Science*. MC Graw-Hill, USA.

Chance, F., Robinson, J., and Fowler, J. 1996. *Supporting Manufacturing with Simulation Model Design, Development and Deployment*. Proceedings of 1996 Winter Simulation Conference, pp 1 -8.

Choi, S. D., Anil, R. K., and Houshyar, A. 2002. *A Simulation Study of an Automotive Foundry Flat Manufacturing Engine Blocks*. Proceedings of 2002 Winter Simulation Conference, pp 1035 -1040.

Groover, Mikell P. 2001. *Automation, Production Systems, and CIM*, 2nd edition □ Prentice Hall, New Jersey, USA.

Law, Averill M. and Comas, M.G. 1997. *Simulation of Manufacturing System*. Proceedings of 1997 Winter Simulation Conference, pp 86 - 89.

Law, Averill M. and Kelton, W.D. 2000. *Simulation Modelling and Analysis*, 3rd edition, MC Graw-Hill, USA.

Oraifige, I.A. 2004. *Simulation Techniques Implementation to Reduce Production Lead Time in SMEs* □ Proceedings of International Conference on Advanced Manufacturing Processes, Systems, and Technologies AMPST 96, Bradford UK.

Petrides, D.P. 2001. *Throughput Analysis, Debottlenecking, and Economic Evaluation of Integrated Biochemical Processes*. Proceedings Annual AIChE Conference, Reno, NV, USA.

Pidd, Michael. 1992. *Computer Simulation in Management Services* □ 3rd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Suryani, Erma. 2006. *Pemodelan dan Simulasi* □ Edisi pertama. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Walpole, R.E and Myers R.H. 1995. *Probability and Statistics for Engineers and Scientists* □ 4th edition. Macmillan Publishing Co., Inc. Virginia. USA.

□□□ □□□□□ □□□□ □□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□□□

□□ □□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□

□ □□□□□ □□□□□□□□

Test of mu = 3358208 vs mu not = 3358208

Variable	N	Mean	StDev	SE Mean
SO	6	3352750	13306	5432

Variable	95.0% CI	T	P
SO	(3338785, 3366715)	-1.00	0.361

□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□

□□ □□□□ □□□□□□□□□□□□ □□□□□□□□

Two-sample T for S1 vs SO

	N	Mean	StDev	SE Mean
S1	6	3351967	9498	3877
SO	6	3352750	13306	5432

Difference = mu S1 - mu SO
 Estimate for difference : -783
 95% CI for difference : (-15654, 14087)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): **T-Value = -0.12** P-Value = 0.909 DF = 10
 Both use Pooled StDev = 11560

□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□

Level 1 S1
 Level 2 SO
 ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
5568.78	9497.6	27172.1	6	S1
7801.90	13306.2	38068.4	6	SO

F-Test (normal distribution)

Test Statistic : 0.509
 P-Value : 0.477

Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic : 1.758
 P-Value : 0.214

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
6082.85	10374.4	29680.5	6	S3
7801.90	13306.2	38068.4	6	SO

F-Test (normal distribution)

Test Statistic : 0.608
 P-Value : 0.598

Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic : 0.779
 P-Value : 0.398



Two-sample T for S4 vs SO

	N	Mean	StDev	SE Mean
S4	6	3783325	211271	86251
SO	6	3352750	13306	5432

Difference = mu. S4 - mu SO

Estimate for difference: 430575

95% CI for difference: (238015, 623135)

T-Test of difference = 0 (vs not =): **T-Value = 4.98**

P-Value = 0.001 DF = 10

Both use Pooled StDev = 149687



Level 1 S4
 Level 2 SO
 ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
123876	211271	604435	6	S4
7802	13306	38068	6	SO

F-Test (normal distribution)

Test Statistic : 252.098
 P-Value : 0.000

Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic : 1.826
 P-Value : 0.206



Two-sample T for S5 vs SO

	N	Mean	StDev	SE Mean
S5	6	3367158	8743	3569
SO	6	3352750	13306	5432

□□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ □□□□□ □□□□

Jarak jangkauan Crane 1

Jarak (ft)	Proporsi (%)	Kecepatan (ft/s) pada jarak 100 ft	Waktu tempuh pada $v = 1$ ft/s	Kecepatan (ft/s) pada jarak x
10	20	1	10 s	10
25	25	1	25 s	4
55	25	1	55 s	1.818
80	20	1	80 s	1.25
280	10	1	280 s	0.357

Jarak jangkauan Crane 2

Jarak (ft)	Proporsi (%)	Kecepatan (ft/s) pada jarak 100 ft	Waktu tempuh pada $v = 1$ ft/s	Kecepatan (ft/s) pada jarak x
10	20	1	10 s	10
25	10	1	25 s	4
30	10	1	30 s	3.333
80	10	1	80 s	1.25
150	10	1	150 s	0.667
175	10	1	175 s	0.571
200	10	1	200 s	0.5
205	10	1	205 s	0.488
280	10	1	280 s	0.357

Jarak jangkauan Crane 3

Jarak (ft)	Proporsi (%)	Kecepatan (ft/s) pada jarak 100 ft	Waktu tempuh pada $v = 1$ ft/s	Kecepatan (ft/s) pada jarak x
10	30	1	10 s	10
25	50	1	25 s	4
50	20	1	50 s	2

Jarak jangkauan Crane 4

Jarak (ft)	Proporsi (%)	Kecepatan (ft/s) pada jarak 100 ft	Waktu tempuh pada $v = 1$ ft/s	Kecepatan (ft/s) pada jarak x
10	30	1	10 s	10
25	50	1	25 s	4
50	20	1	50 s	2

Jarak jangkauan Crane 5

Jarak (ft)	Proporsi (%)	Kecepatan (ft/s) pada jarak 100 ft	Waktu tempuh pada $v = 1$ ft/s	Kecepatan (ft/s) pada jarak x
10	20	1	10 s	10
25	10	1	25 s	4
30	10	1	30 s	3.333
45	10	1	45 s	2.22
150	10	1	150 s	0.667
175	20	1	175 s	0.571
230	10	1	230 s	0.434
250	10	1	250 s	0.4

Jarak jangkauan Crane +

Jarak (ft)	Proporsi (%)	Kecepatan (ft/s) pada jarak 100 ft	Waktu tempuh pada $v = 1$ ft/s	Kecepatan (ft/s) pada jarak x
10	40	1	10 s	10
25	40	1	25 s	4
45	20	1	30 s	2.22

