

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Deduktif**

Kajian deduktif berisi penjelasan teori penunjang yang digunakan sebagai landasan dalam menyelesaikan permasalahan yang ada dan menjawab rumusan masalah yang diajukan.

##### **2.1.1 Kapasitas Produksi**

Kapasitas produksi merupakan salah satu tolak ukur yang penting dari suatu perusahaan. Kapasitas produksi adalah jumlah produk yang seharusnya dapat diproduksi oleh sebuah perusahaan guna mencapai keuntungan maksimal. Penentuan kapasitas produksi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jam kerja, jumlah pekerja, dan lain sebagainya (Putri, Widyadana, & Palit, 2015).

##### **2.1.2 Produktivitas**

Dalam rangka meningkatkan kualitas produk sebaiknya perusahaan memikirkan cara untuk meningkatkan produktivitas dengan tetap memperhatikan kualitas. Produktivitas

dianggap sebagai faktor yang mempengaruhi kualitas berkembangnya suatu perusahaan. Produktivitas merupakan salah satu faktor yang paling signifikan mempengaruhi performansi perusahaan (Rawat et al., 2018). Usaha untuk mengukur seberapa baik sebuah perusahaan berdasarkan penggunaan sumber dayanya dapat disebut sebagai produktivitas (Putri et al., 2015). Dalam upaya peningkatan produktivitas ini segala hal yang termasuk dalam kegiatan ketidakefesiensian perlu dikurangi dan bahkan dihilangkan (Pujotomo & Rusanti, 2015).

Secara konseptual, produktivitas adalah hubungan antara keluaran atau hasil organisasi dengan masukan yang diperlukan. Produktivitas dapat dikuantifikasi dengan membagi keluaran dan masukan. menurut (Misterek, Dooley, & Anderson, 1992), peningkatan produktivitas terjadi berdasarkan lima kondisi berbeda, yaitu: *input* maupun *output* meningkat namun peningkatan *input* lebih kecil dari *output*, *input* tetap namun *output* meningkat, *input* menurun namun *output* meningkat, *input* menurun namun *output* tetap dan *input* maupun *output* menurun namun penurunan *input* lebih besar.

Sehingga perusahaan harus mampu untuk meningkatkan jumlah *output* dengan memperkecil jumlah *input*. Hal ini dikarenakan kegiatan ketidakefesiensian tersebut akan mempengaruhi jumlah *input* saat produksi sehingga dapat menurunkan indeks produktivitas.

Terdapat beberapa cara yang dapat diterapkan dalam upaya meningkatkan indeks produktivitas, yaitu (Sastrowinoto, 1985)

1. Tingkatkan *input*, dengan catatan peningkatan *output* yang terjadi jauh lebih besar.
2. *Input* tetap, namun *output* yang dihasilkan meningkat.
3. Turunkan *input*, dengan catatan turunnya *output* yang dihasilkan jauh lebih sedikit.
4. Turunkan *input*, namun *output* tetap.
5. Turunkan *input*, namun *output* yang dihasilkan bertambah.

Produktivitas yang tinggi akan menciptakan efisiensi dalam kegiatan operasional perusahaan, yang mana tingkat produktivitas itu sendiri sangat dipengaruhi oleh kinerja pegawai perusahaan tersebut (Riggs, 1987). Akan tetapi pada nyatanya sumber daya manusia sebagai faktor produksi, yang merupakan *input*, masih perlu ditingkatkan lebih baik lagi, agar mampu mengantisipasi kendala dalam persaingan.

### 2.1.3 Lean Manufacturing

*Lean manufacturing* merupakan metode optimal untuk memproduksi barang melalui peniadaan *waste* (pemborosan) dan penerapan *flow* (aliran), sebagai ganti *batch* dan antrian. *Lean manufacturing* adalah filosofi manajemen proses yang berasal dari *Toyota Production System* (TPS), yang terkenal karena menitikberatkan pada peniadaan *seven waste* dengan tujuan peningkatan kepuasan konsumen secara keseluruhan (Krijnen, 2007).

Pemborosan (*waste*) merupakan segala aktivitas kerja yang tidak memberikan nilai tambah sepanjang aliran proses pada proses perubahan *input* menjadi *output* (Hazmi & Supriyanto, 2012). Pengurangan jumlah pemborosan ini bertujuan agar sistem produksi berjalan dengan lebih efektif dan efisien. Menurut McCurry, konsep pendekatan ini dirintis oleh Taichi Ohno dan Shigeo Shingo yang mana implementasi dari konsep ini didasarkan pada 5 prinsip yaitu (Anvari, Ismail, Mohammad, & Hojjati, 2011)

1. *Understand the customer value*. Sesuatu yang dianggap oleh pelanggan sebagai *value* adalah hal yang paling penting.
2. *Value Stream Analysis*. Setelah memahami *value* yang dianggap oleh pelanggan, maka langkah selanjutnya yaitu menganalisis proses bisnis untuk menentukan aktivitas mana yang benar-benar memberikan nilai. Jika aktivitas tersebut tidak memberikan nilai maka hal tersebut harus dimodifikasi atau dieliminasi dari proses.
3. *Flow*. Terfokus pada mengorganisir aliran secara terus menerus (*continuous flow*) melalui produksi atau rantai pasok dibandingkan dengan pergerakan barang dalam jumlah yang besar.
4. *Pull System*. Manajemen rantai permintaan untuk mencegah produksi barang yang berlebihan sehingga menambah jumlah inventori.
5. *Perfection*. Mengeliminasi elemen *non-value-adding* (*waste*) merupakan sebuah proses dari perbaikan secara terus-menerus.

Di dalam *Toyota Production System*, para manajer dan karyawan Toyota menggunakan istilah bahasa Jepang muda bila mereka berbicara tentang pemborosan dan menghilangkan muda menjadi fokus dari sebagian besar upaya *lean manufacturing*. Terdapat 7 Model pemborosan (Vincent & Avanti, 2011) yaitu:

1. *Over Production*

Memproduksi lebih dari kebutuhan pelanggan internal dan eksternal atau memproduksi lebih cepat dari waktu kebutuhan pelanggan. Akar penyebabnya karena kurang berkomunikasi, hanya berfokus pada kesibukan kerja masing-masing, tidak memenuhi kebutuhan pelanggan.

2. *Delays (waiting time)*

Keterlambatan saat menunggu mesin, peralatan, bahan baku, supplier, perawatan mesin dan sebagainya. Akar penyebabnya adalah waktu penggantian produk yang panjang (*long changover times*), dan lain-lain.

3. *Transportation*

Memindahkan material dengan jarak yang sangat jauh dari satu proses ke proses berikut yang dapat mengakibatkan waktu penanganan material bertambah. Akar penyebabnya adalah tata letak yang jelek, kurang berkoordinasi dalam proses, poor housekeeping, organisasi tempat kerja yang jelek (*poor workplace organization*), lokasi penyimpanan material yang banyak dan saling berjauhan (*multiple and long distance storage locations*).

4. *Innapropriate Processes*

Proses tambahan atau aktivitas kerja yang tidak perlu atau tidak efisien. Akar penyebabnya adalah ketidakpastian dalam penggunaan peralatan, pemeliharaan peralatan yang jelek (*poor tooling maintenance*), gagal mengombinasikan operasi kerja.

5. *Inventory*

Menyembunyikan masalah dan menimbulkan aktivitas penanganan tambahan yang seharusnya tidak diperlukan. Akar penyebabnya adalah Peralatan yang tidak andal (*unreliable equipment*), aliran kerja yang tidak seimbang (*unbalanced flow*), pemasok yang tidak kapabel (*incapable suppliers*), peramalan kebutuhan yang tidak akurat (*inaccurate forecasting*), ukuran *batch* yang besar (*large bath sizes*), *long changover times*.

6. *Unnecessary Motions*

Suatu pergerakan dari orang atau mesin yang tidak menambah nilai kepada barang dan jasa yang akan diserahkan kepada pelanggan, tetapi hanya menambah biaya dan waktu saja. Akar penyebabnya adalah metode kerja yang tidak konsisten, organisasi lokasi kerja yang jelek, tata letak tidak diatur dengan baik.

### 7. *Defect products*

Pengerjaan ulang terhadap produk atau bila produk cacat maka harus dimusnahkan. Akar penyebabnya adalah Incapable processes, insufficient training, ketiadaan prosedur-prosedur operasi standar.

#### 2.1.4 *Sustainable manufacturing*

*Sustainable manufacturing* adalah sebuah konsep dalam dunia manufaktur, yang dalam penerapannya bertujuan untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi, dan sumber daya alam, serta aman untuk pekerja dan konsumen. Tujuan ini dicapai dengan melakukan daur ulang limbah internal, penghapusan limbah dan emisi, konservasi air dan efisiensi energi. Dalam penerapannya *Sustainable manufacturing* dapat dicapai dengan beberapa langkah:

1. Mengurangi Pemborosan (*Waste*)
2. Penggunaan Energi Alternatif
3. Efisiensi Proses Transportasi

Menurut Stoycheva (2018), dalam *sustainable manufacturing* terdapat 3 parameter utama yang menjadi kriteria tercapainya *sustainablitiy* yakni dampak ekonomi, dampak lingkungan dan dampak social. Khusus pada dampak lingkungan, hal utama yang paling dipertimbangkan adalah bagaimana proses produksi memberikan efek terhadap alam dan lingkungan. Baik dari hasil emisi gas berbahaya, bahan kimia berbahaya, efek yang terkait pada spesies tanaman dan hewan, dan konsumsi sumber daya alam. Kriteria ini dievaluasi menggunakan parameter berikut:

1. Penggunaan Sumber daya pada kegiatan produksi seperti transportasi, pengolahan material, konsumsi energi, dan lain sebagainya.
2. Dampak terhadap makhluk hidup seperti binatang, tumbuhan, dan ekosistemnya. Seperti penggunaan plastic.
3. Emisi dalam berbeagai bentuk yang dapat mengakibatkan efek negative terhadap atmosfir seperti *Voliatile organic compound (VOC)* dan dampak *Aquactic* seperti pembuangan limbah pada sungai dan pencemaran air laut dari kegiatan industry.

Untuk melakukan pengukuran terhadap polusi yang dihasilkan perusahaan, pada kasus ini adalah polusi oleh emisi karbon dioksida, berikut merupakan langkah perhitungan emisi karbondioksida berdasarkan IPCC (2006) dalam penelitian yang dilakukan oleh Wulandari & Purwanto (2013):

Tabel 2. 1 Faktor Emisi Listrik

Bahan Bakar	CEF (Kg Co2/Kwh)
Listrik	0.59

Keterangan :

$$\text{Emisi CO}_2 = \sum \text{FC} \times \text{CEF}$$

$\sum \text{FC}$  = jumlah listrik yang dikonsumsi (Kwh)

CEF = *Carbon Emission Factor* (Kg CO<sub>2</sub>/Kwh)

Setelah mengetahui emisi yang dihasilkan, berikutnya perlu dilakukan perhitungan Ruang Terbuka Hijau yang dibutuhkan sebagai tanggung jawab terhadap emisi yang dihasilkan, berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung RTH yang dibutuhkan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Afiuddin & Priastuti (2016) :

$$\text{Luas RTH} = \frac{\text{emisi CO}_2}{\text{daya serap Co}_2}$$

Keterangan :

RTH = RTH (m<sup>2</sup>)

Emisi Co<sub>2</sub> = Total Emisi yang dihasilkan dari (KgCo<sub>2</sub>/Hari)

Daya Serap = Kemampuan serap Co<sub>2</sub> Oleh tanaman (KgCo<sub>2</sub>/hari)

### 2.1.5 Value Stream Mapping

*Value Stream Mapping* adalah salah satu metode pemetaan aliran produksi dan aliran informasi untuk memproduksi satu produk atau satu *family* produk, tidak hanya pada masing-masing area kerja, tetapi pada tingkat total produksi serta mengidentifikasi kegiatan yang *value added* dan *non value added* (Rother & Shook, 2003).

*Value Stream Mapping* secara visual memetakan aliran material dan informasi secara menyeluruh dimulai dari kedatangan bahan baku dari supplier melalui semua tahap proses produksi hingga pengiriman produk kepada pelanggan akhir.

Tujuan pemetaan ini adalah untuk mengidentifikasi seluruh jenis pemborosan di sepanjang proses produksi dan untuk mengambil langkah dalam upaya mengeliminasi pemborosan tersebut. Langkah yang diambil dalam upaya mengeliminasi pemborosan adalah dengan cara memperbaiki keseluruhan aliran bukan hanya mengoptimalkan aliran secara sepotong-sepotong. Hal ini dapat membantu pihak perusahaan mengambil keputusan dalam memperbaiki keseluruhan proses produksi.

*Value Stream Mapping* dapat menyajikan suatu titik balik yang optimal bagi setiap perusahaan yang ingin menjadi lean. Keuntungan-keuntungan yang diperoleh dengan penerapan konsep *Value Stream Mapping* adalah sebagai berikut:

1. Membantu perusahaan menggambarkan aliran produksi secara keseluruhan mulai dari proses awal hingga proses akhir, bukan hanya satu proses tunggal. Dengan demikian akan terlihat jelas seluruh aliran.
2. Pemetaan membantu perusahaan melihat segala pemborosan dan sumber pemborosan yang terjadi di sepanjang aliran produksi
3. *Value Stream Mapping* memberikan pemahaman mengenai proses manufaktur dalam bahasa yang umum.
4. *Value Stream Mapping* menggabungkan antara teknik dan konsep lean yang dapat membantu perusahaan untuk menghindari pemilihan teknik dan konsep yang asal-asalan.
5. Sebagai dasar dari rencana implementasi. Dengan membantu perusahaan merancang bagaimana mengoperasikan keseluruhan aliran dari setiap proses kegiatan. Value stream map merupakan sebuah rencana dalam strategi implementasi lean
6. *Value Stream Mapping* menunjukkan hubungan antara aliran informasi dan aliran

material.

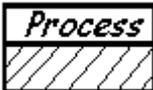
7. *Value Stream Mapping* jauh lebih berguna dibandingkan metode kuantitatif lainnya yang menghasilkan perhitungan non value added, lead time, jarak perpindahan, jumlah persediaan, dsb. *Value Stream Mapping* merupakan sebuah metode kualitatif yang menggambarkan secara terperinci bagaimana seharusnya fasilitas produksi dioperasikan dalam usaha menciptakan aliran. *Value Stream Mapping* merupakan metode yang bagus digunakan untuk menggambarkan apa yang sebenarnya akan dilakukan dalam upaya untuk memberikan pengaruh terhadap perhitungan-perhitungan yang dilakukan.

Dalam *Value Stream Mapping*, ada dua pemetaan yang harus digambarkan yaitu pembuatan *Current State Map* dan *Future State Map*. Pembuatan *Current State Map* dilakukan untuk memetakan kondisi rantai produksi aktual, dimana segala informasi yang terdapat dalam setiap proses dicantumkan dalam pemetaan. *Current State Map* digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan dan sumber pemborosan yang terjadi. Setelah identifikasi pemborosan dilakukan, maka dapat digambarkan *Future State Map*. *Future State Map* merupakan pemetaan kondisi perusahaan di masa mendatang sebagai usulan rancangan perbaikan dari *Current State Map* yang ada.

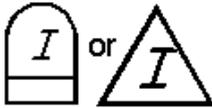
#### **2.1.6 Simbol – simbol *Value Stream Mapping***

Terdapat seperangkat simbol yang digunakan dalam *Value Stream Mapping*. Namun, *VSM* tidak memiliki simbol secara standar sehingga mungkin ada beberapa simbol baru untuk menggambarkan sistem yang sedang dilakukan pemetaan. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa simbol- simbol *VSM* yang pada umumnya digunakan (Rother & Shook, 2003):

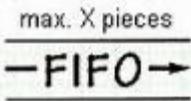
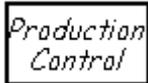
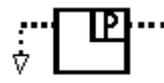
Tabel 2. 2 Simbol – simbol dalam VSM

Nama	Simbol	Fungsi
<b>Process Symbols</b>		
<i>Customer/ Supplier</i>		Simbol ini mewakili <i>supplier</i> ketika simbol ini berada pada posisi kiri atas dan digunakan untuk memuai aliran material. Simbol ini mewakili konsumen ketika simbol ini berada pada posisi kanan atas dan digunakan pada akhir aliran bahan.
<i>Dedicated Process Flow</i>		Menyatakan proses, operasi, mesin atau departemen yang melalui aliran material. Secara khusus, untuk menghindari pemetaan setiap langkah proses yang tidak diinginkan, maka lambang ini biasanya merepresentasikan satu departemen dengan aliran internal yang kontinu.
<i>Shared Process</i>		Menyatakan operasi proses, departemen atau stasiun kerja dengan <i>family-family</i> yang saling berbagi dalam <i>value stream</i> . Perkiraan jumlah operator yang dibutuhkan dalam <i>value stream</i> dipetakan, bukan sejumlah operator yang dibutuhkan untuk memproduksi seluruh produk.
<i>Data Box</i>		Lambang ini memiliki lambing-lambang didalamnya yang menyatakan informasi / data yang dibutuhkan untuk menganalisis dan mengamati sistem.

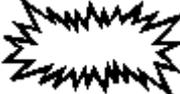
Lanjutan Tabel 2.2 Simbol – simbol dalam VSM

Nama	Simbol	Fungsi
<b>Process Symbols</b>		
<i>Inventory</i>		<p>Simbol ini menunjukkan adanya inventori di antara dua proses. Pada pembuatan <i>current state VSM</i>, jumlah inventori dapat ditentukan dengan perhitungan cepat dan jumlah tersebut ditulis di bawah simbol. Simbol ini juga menunjukkan inventori dari bahan baku dan <i>finish goods</i>.</p>
<i>Shipments</i>		<p>Simbol ini menunjukkan pergerakan bahan baku dari supplier menuju unloading dock pabrik/pergerakan dari finish goods menuju loading dock pabrik menuju konsumen.</p>
<i>Push Arrow</i>		<p>Simbol ini menunjukkan adanya aliran material dari satu proses ke proses selanjutnya dengan sistem <i>push</i>. Sistem push menunjukkan bahwa suatu proses tidak memproduksi produk berdasarkan permintaan dari proses sesudahnya (<i>downstream process</i>).</p>
<i>Supermarket</i>		<p>Simbol ini menunjukkan adanya inventori “<i>supermarket</i>”. Maksudnya tersedia sejumlah inventori dimana satu atau lebih <i>downstream process</i> akan mengambil produk dalam inventori sejumlah yang dibutuhkan. Upstream process akan melangkapi stok sesuai kebutuhan.</p>
<i>Material Pull</i>		<p>Simbol ini berhubungan dengan <i>downstream process</i>, dimana simbol ini menunjukkan adanya pergerakan fisik material.</p>

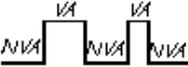
Lanjutan Tabel 2.2 Simbol – simbol dalam VSM

Nama	Simbol	Fungsi
<b>Process Symbols</b>		
<i>FIFO Lane</i>		Simbol ini menunjukkan suatu kegiatan FIFO ( <i>First In First Out</i> ). Misalnya kegiatan pergerakan material pada <i>conveyor</i> .
<i>Safety Stock</i>		Simbol ini menunjukkan indikasi <i>safety stock</i> sementara untuk mencegah masalah dalam hal kegagalan sistem atau masalah lainnya.
<i>External Shipment</i>		Simbol ini menunjukkan adanya pengiriman dari supplier atau pengiriman kepada konsumen dengan menggunakan transportasi eksternal.
<b>Information Symbols</b>		
<i>Production Control</i>		Kotak ini menunjukkan adanya suatu penjadwalan produksi atau departemen atau pihak yang mengontrol produksi
<i>Manual nfo</i>		Garis ini menunjukkan adanya aliran informasi secara manual, dapat berasal dari memo, laporan, atau percakapan. Frekuensi aliran informasi dapat dicantumkan.
<i>Electronic Info</i>		Garis ini menunjukkan adanya aliran informasi dengan menggunakan media elektronik seperti fax, telepon, <i>e-mail</i> , <i>conference call</i> , dan lain-lain. Frekuensi aliran informasi dapat dicantumkan.
<i>Production</i>		Simbol ini menunjukkan bahwa produksi perlu menyuplai <i>part</i> untuk <i>downstream process</i> .

Lanjutan Tabel 2.2 Simbol – simbol dalam VSM

Nama	Simbol	Fungsi
<b>Information Symbols</b>		
<i>Signal Kanban</i>		Simbol ini digunakan ketika level inventori pada “supermarket” di antara dua proses berada pada titik minimum. Ketika signal kanban tiba pada proses pensuplai, menunjukkan adanya pergantian dan dilakukan produksi sejumlah <i>part</i> yang telah ditentukan sebelumnya pada kanban.
<i>Load Leveling</i>		Simbol ini menunjukkan sejumlah kanban yang digunakan untuk meratakan volume produksi dengan cara melakukan penjadwalan.
<i>Go See</i>		Simbol ini menunjukkan adanya kegiatan mengumpulkan informasi
<i>Verbal Information</i>		Simbol ini menggambarkan aliran informasi <i>verbal</i> atau personal
<b>General Symbols</b>		
<i>Kaizen Burst</i>		Simbol ini digunakan untuk menandai adanya rencana perbaikan pada suatu proses
<i>Operator</i>		Ini adalah simbol untuk seorang pekerja. Hal ini ditambahkan ke kotak proses untuk menunjukkan seorang pekerja menyelesaikan sebagian atau seluruh proses tugas

Lanjutan Tabel 2.2 Simbol – simbol dalam VSM

Nama	Simbol	Fungsi
<i>General Symbols</i>		
<i>Timeline</i>		Segmen garis waktu menunjukkan waktu yang bernilai tambah dan waktu yang tidak memiliki nilai tambah. Waktu yang bernilai tambah merupakan waktu siklus pengolahan, dan waktu yang tidak memiliki nilai tambah adalah waktu menunggu
<i>Phone</i>		Ini merupakan pengumpulan informasi melalui telepon

### 2.1.7 *Environmental Value Stream Mapping*

*Value Stream Mapping (VSM)* dikembangkan sebagai oleh Rother dan Shook pada tahun 1998, sebagai alat untuk memvisualisasikan dan menganalisa aliran produksi. *VSM* konvensional pada umumnya digunakan pada industry untuk mengukur kegiatan yang memiliki *value-added* dan *non value-added* dalam sebuah rantai produksi dan untuk mengidentifikasi kemungkinan untuk melakukan penghematan biaya, dan mengurangi inventory. Penerapan *VSM* dilakukan pada berbagai macam sektor, seperti industry baja dan industry otomotif. Akan tetapi dalam *VSM* focus permasalahan yang diselesaikan adalah pada aspek ekonomi, sehingga *EVSM* dibutuhkan untuk mengakomodasi kebutuhan analisa pada aspek lingkungan.

### 2.1.8 *Simulasi*

Penggunaan simulasi komputer pada saat ini telah banyak digunakan untuk berbagai studi kasus dan berbagai aplikasi seperti pada bidang militer, manufaktur, jasa dan logistik.

Menurut Banks (2010) simulasi adalah tiruan sistem nyata yang dikerjakan secara manual atau komputer, yang kemudian di observasi dan disimpulkan untuk mempelajari karakterisasi sistem nyata yang diwakilinya. Simulasi juga dapat didefinisikan sebagai imitasi dari suatu sistem dinamis menggunakan model computer dengan tujuan mengevaluasi dan memperbaiki performa sistem

Simulasi merupakan metode yang sangat efektif dalam mendesain sistem manufaktur, namun simulasi bukan merupakan teknik optimasi. Simulasi digunakan pada sistem manufaktur karena dapat mengevaluasi kapasitas dan utilitasi fasilitas, mengidentifikasi terjadinya *bottleneck* dalam suatu sistem dan dapat melakukan perbandingan dari alternatif *design*. Selain itu simulasi dapat memberikan kontribusi dalam desain manajemen dan membuat keputusan produksi. Berikut merupakan keuntungan menggunakan simulasi menurut Solding & Gullander (2009) :

1. Dapat mensimulasikan semua aliran produk dalam bentuk model
2. Dapat mensimulasikan sesuatu yang kompleks maupun sederhana
3. Dapat menganalisa waktu yang dihabiskan dalam rentang waktu tertentu sehingga dapat melihat perilaku sistem secara lebih dinamis
4. Dapat menganalisa beberapa keadaan seperti *breakdown* mesin, *bottleneck* pada sistem dan *waiting* pada operator
5. Dapat menganalisa beberapa skenario, sehingga dapat diketahui pada skenario mana yang mencapai titik optimal

Selain itu simulasi juga memiliki beberapa keuntungan lain yaitu simulasi memberikan kita untuk menghemat biaya, waktu dan tidak merusak waktu dibandingkan dengan penerapan secara langsung. Namun demikian simulasi juga memiliki kerugian, berikut kerugian menggunakan simulasi Solding & Gullander (2009) :

1. Pada perangkat lunak tertentu membutuhkan investasi yang cukup besar
2. Pada kondisi tertentu sulit untuk mendapatkan validasi dari model yang sudah dibuat, meskipun seluruh variabel sudah dimasukan pada perintah yang ada
3. Pada kondisi tertentu ketika simulasi sudah dijalankan, hasil yang didapatkan tidak bias melakukan pendekatan ke dalam kondisi seperti nyata.

Simulasi berjalan bergantung kepada Model simulasi yang digunakan. Untuk itu pemilihan Model simulasi sangat penting. Terdapat beberapa kategori simulasi,

diantaranya sebagai berikut:

1. Simulasi statis dan dinamis

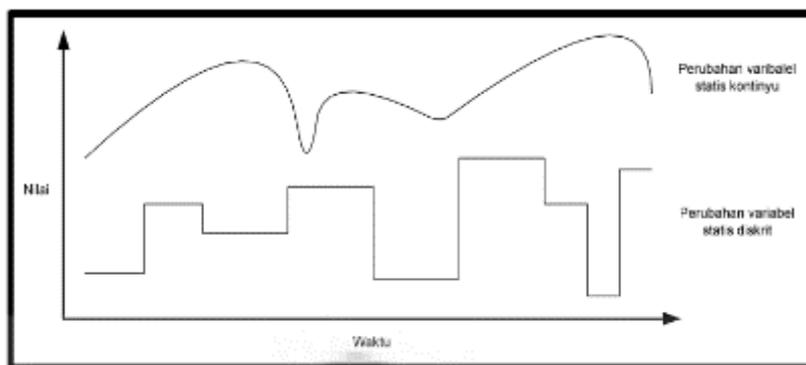
Simulasi statis merupakan simulasi yang dijalankan tidak berdasarkan waktu. Simulasi statis dilakukan dengan pengambilan sampel – sampel secara acak untuk menghasilkan hasil static sehingga terkadang disebut simulasi *Monte Carlo*. Simulasi dinamis berbeda dengan simulasi statis, simulasi dinamis dijalankan menurut waktu. Simulasi dinamis sangat baik digunakan untuk menganalisis sistem manufaktur dan jasa karena kedua sistem tersebut berjalan menurut waktu

2. Simulasi stokastik dan deterministic

Simulasi stokastik atau disebut juga dengan simulasi probabilistic, merupakan simulasi yang variabel – variabel *inputnya* bersifat acak secara alami. Simulasi stokastik menghasilkan hasil yang juga bersifat acak. Simulasi deterministic merupakan simulasi yang variabel – variabel *inputnya* tidak bersifat acak.

3. Simulasi diskrit dan kontinyu

Simulasi diskrit merupakan simulasi dimana perubahan keadaan terjadi pada titik – titik diskrit dalam waktu, disebabkan oleh kejadian seperti kedatangan entitas pada stasisun kerja, kegagalan sumber daya, akhir sebuah shift dan penyelesaian sebuah aktivitas. Simulasi kejadian diskrit memodelkan akibat kejadian dalam sebuah sistem seiring berjalanya waktu. Simulasi ini menggunakan metode – metode statistic untuk menghasilkan perilaku acak dan mengestimasi performa model. Pada simulasi kontinyu, variabel – variabel statis dikenal sebagai *continuous – change state* variabels, berubah secara terus- menerus tergantung waktu. Conth variabel ini adalah jumlah air yang mengalir ke dalam sebuah bak penampungan. Berikut perbedaan simulasi diskrit dan kontinyu ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



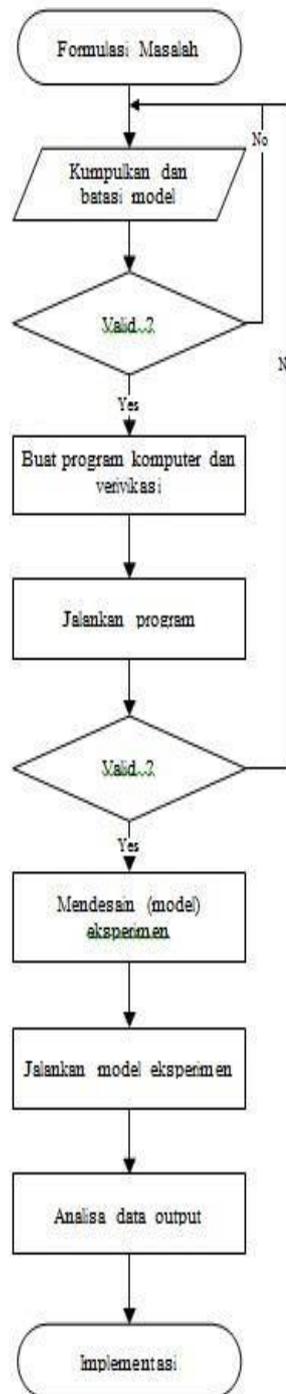
**Gambar 2. 1 Perbandingan sistem diskrit dan kontinu**

#### 4. Simulasi berbasis objek

Simulasi yang terdiri dari sekumpulan objek yang berinteraksi satu dengan yang lainnya dalam interval waktu tertentu. Objek tersebut pada sistem nyata manufaktur dapat berupa mesin proses, material, operator, *forklift*, dll. Simulasi berbasis objek memungkinkan pemetaan satu per satu antara objek dalam sistem manufaktur yang dimodelkan dan abstraksi dalam model simulasi (Joines & Roberts, 1998). Simulasi berbasis objek memungkinkan para pemegang keputusan mengambil kebijakan lebih tepat, karena dapat digunakan untuk memodelkan situasi yang kompleks. Simulasi berbasis objek ini dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat lunak computer seperti *arena simulation*, *plant simulation*, *promodel* dan *flexsim simulation*. Keuntungan dalam menggunakan simulasi berbasis objek adalah:

- a. Kemampuan menerapkan perubahan dalam program yang lebih efisien dan lebih cepat
- b. Kemampuan menciptakan sistem yang lebih efektif dalam menggunakan sekelompok proses
- c. Dapat mengintegrasikan sistem komputasi lebih fleksibel
- d. Kemampuan untuk membuat interface atau penampilan model yang lebih intuitif bagi pengguna grafis.

Berikut merupakan langkah – langkah dalam melakukan simulasi ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. 2 Alur Pemodelan dan Simulasi

1. Formulasi masalah

Simulasi dimulai dengan suatu pernyataan yang jelas tentang tujuan yang hendak dicapai. Secara keseluruhan harus direncanakan pula variabel - variabel yang terdapat dalam sistem objek.

2. Pengumpulan data

Data sebaiknya dikumpulkan secara terpusat dan digunakan untuk melakukan spesifikasi prosedur operasi dan distribusi probabilitas untuk variabel random yang terdapat dalam model. Data yang dikumpulkan meliputi:

- a. Data waktu proses
- b. Data waktu transfer
- c. Data penjadwalan bahan baku dan penjadwalan mesin
- d. Data lain yang berhubungan dengan system nyata

3. Validasi data *input*

Validasi data *input* dilakukan sebelum membuat simulasi. Validasi data *input* memiliki tujuan meyakinkan terlebih dahulu bahwa distribusi data, keragaman data, dan aktualitas variabel yang lain yang mendukung model sudah benar/sah.

4. Pembuatan simulasi dan verifikasi

Pembuatan simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak komputer. Penggunaan perangkat lunak yang tepat akan memudahkan dalam pembuatan simulasi. Selama melakukan pembuatan simulasi dilakukan verifikasi model terhadap sistem nyata apakah bentuk fisik model sudah seperti sistem nyatanya.

5. Jalankan program

Simulasi yang telah dibuat menggunakan bantuan perangkat lunak dijalankan (*run*) untuk melihat hasil.

6. Validasi

Simulasi yang dijalankan dapat digunakan untuk menguji sensitivitas hasil terhadap perubahan kecil pada parameter masukan. Jika hasilnya berubah secara ekstrim maka suatu estimasi yang baik harus diambil. Jika sistem sama dengan yang ada saat ini, data hasil dari simulasi dapat dibandingkan dengan sistem nyatanya. Jika hasilnya baik maka program simulasi dinyatakan valid dan dianggap representasi dari sistem nyata.

7. Mendesain eksperimen (skenario)

Jika simulasi dinyatakan valid maka dapat melakukan berbagai eksperimen terhadap program/model tersebut sesuai dengan tujuan penelitiannya.

8. Jalankan model eksperimen

Mengulangi langkah 5 sesuai dengan panjang waktu yang telah ditentukan sebelumnya.

9. Analisa data *output*

Mengingat faktor-faktor *input* bersifat random (probabilistik), maka digunakanlah teknik-teknik statistik untuk melakukan analisa data yang dihasilkan. Kemudian berdasarkan *output* hasil simulasi tersebut, maka performansi yang berbeda - beda untuk setiap desain dapat diketahui sehingga simulasi terbaik sesuai tujuan yang hendak dicapai.

10. Implementasi

Pada analisa data *output* dapat diketahui eksperiment/skenario mana dengan hasil terbaik. Skenario terbaik kemudian di implementasikan pada sistem nyata.

### 2.1.9 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi

Verifikasi adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model (program komputer) sesuai dengan logika diagram alur. Kalimat sederhananya, apakah ada kesalahan dalam program? (Stewart & Ronald, 1989). Verifikasi memeriksa penerjemahan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Law & Kelton, 1991).

Sedangkan validasi merupakan langkah untuk meyakinkan bahwa model berkelakuan atau bersifat seperti sistem nyatanya. Suatu pendekatan paling nyata dalam suatu validasi adalah membandingkan *output* model dengan *output* dari sistem nyatanya. Dua tujuan umum dalam validasi :

1. Menghasilkan suatu model yang representatif terhadap perilaku sistem nyatanya sedekat mungkin untuk dapat digunakan sebagai substitusi dari sistem nyata dalam melakukan eksperimen tanpa mengganggu jalannya sistem.

2. Meningkatkan kredibilitas model, sehingga model dapat digunakan oleh para manajer dan para pengambil keputusan lainnya.

Validasi dapat dilakukan dengan membandingkan *output* sistem nyata dengan *output* model simulasi, berikut merupakan beberapa teknik yang digunakan untuk melakukan validasi :

1. Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Uji kesamaan ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan performansi antara sistem riil dengan model simulasi yang diterjemahkan dalam nilai jumlah rata-rata *output* dari dua populasi tersebut. Jika dalam uji didapat hasil bahwa kedua nilai rata-rata tidak berbeda secara signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa model memiliki validitas yang cukup untuk parameter *output* rata – rata. Karena yang akan diuji adalah kesamaan dua populasi, maka uji yang akan dilakukan adalah uji dua sisi. dengan :

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$  : Rata-rata *output* sistem riil = rata-rata *output* model Simulasi

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$  : Rata-rata *output* sistem riil  $\neq$  Rata-rata *output* model Simulasi

Untuk mencari t hitung digunakan rumus sebagai berikut (Myers & Myers, 2007):

1. 
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

2. 
$$sp^2 = \frac{s_1^2(n-1) + s_2^2(n-1)}{n_1 + n_2 - 2}$$

3. 
$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Keterangan :

t hitung kemudian dibandingkan dengan t tabel  $t_{\alpha/2}^{N-1}$

N -1 adalah Derajat kebebasan

$\alpha$  adalah tingkat kepercayaan

## 2. Uji Kecocokan Model Simulas (Uji Chi Square)

Proses Validasi yang terakhir adalah menguji bahan antara hasil model simulasi memiliki kecocokan dengan dengan sistem riil yang diamati. Metode yang digunakan adalah uji kehomogenan dengan Chi-Kuadrat. Disebut juga uji kecocokan atau disebut uji kompatibilitas, memiliki tujuan adalah menguji apakah frekuensi yang diobservasikan (dihasilkan) melalui model simulasi memang konsisten dengan frekuensi teoritisnya (sistem riil). Rumus yang digunakan adalah (Walpole & Myers, 2007):

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Keterangan :

$O_i$  = observation data (data simulasi ke  $- i$ )

$E_i$  = expected data (data  $\frac{\text{teoritis}}{\text{sistem}}$  real ke  $- i$ )

$\chi^2$  merupakan ukuran perbedaan antara frekuensi observasi dengan frekuensi teoritis.

Apabila tidak ada perbedaan antar frekuensi observasi dengan frekuensi teoritis, maka  $\chi^2$  akan semakin besar pula.

## 2.2 Kajian Induktif

Penelitian terdahulu di atas dapat dijadikan sebagai referensi metode dan pembanding dengan penelitian yang dilakukan sekarang. Penelitian ini mengambil referensi dari penelitian mengenai perancangan *lean manufacturing* menggunakan metode *Value Stream Mapping* dengan pendekatan simulasi sebagai suatu alat untuk meningkatkan produktivitas yang terlihat pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Metode	Hasil
1	Al-Khafaji & Al- Rufaifi	2012	Lean Manufacturing, <i>Value Stream Mapping</i> , Pemodelan Simulasi	Terjadi pengurangan jumlah barang setengah jadi ( <i>work in process</i> ) sebesar 52% pada inventori dan level proses yang dapat diperoleh dan telah diverifikasi
2	Stadnicka & Antonelli	2015	<i>Value Stream Mapping</i> , <i>Computer Simulations</i>	Terjadi peningkatan tingkat utilitas yang sebelumnya berdasarkan <i>Current State Map</i> 36.61% pada PIS dan 36.33% pada PES menjadi 71.84% berdasarkan <i>Future State Map</i> .
3	Velarde, Saloni, Dyk, & Giunta	2009	<i>Value Stream Mapping</i>	Adanya potensi peningkatan performansi sistem dengan mengimplementasikan prinsip lean manufacturing yaitu CONWIP dan control ukuran batch yang mana menyediakan referensi untuk perusahaan.
4	Manjunath	2014	<i>Lean Manufacturing</i> , <i>Value Stream Mapping</i>	Terjadi penurunan inventori sebesar 15 unit, lead time sebesar 24.39 jam dan waktu proses sebesar 0.45 jam.
5	Mogbai & Salonitis	2016	<i>Lean Manufacturing</i> , <i>Discrete Event Simulation</i> (DES)	Terjadi peningkatan performansi kualitas yang terlihat dari pengurangan tingkat scrap sebesar 178%, peningkatan performansi setup dan produksi just in time sebesar 50%, peningkatan suplai just in time dan efisiensi operator sebesar 50% serta utilitas mesin meningkat sebesar 20%

Lanjutan Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Metode	Hasil
6	Xia & Sun	2013	<i>Value Stream Mapping, Lean Improvement</i>	Total produksi meningkat hingga 3300 unit dengan waktu kerja selama 22 hari dengan 2 shift pemotongan per hari dan 3 shift perakitan beserta pengemasan per hari, sehingga terjadi peningkatan sebesar 29.5% dari skenario awal.
7	Kulkarni, Kshire, & Chandratre	2014	<i>Lean Manufacturing, Work Study</i>	Dengan <i>critical lean tools</i> dapat mengklasifikasikan masalah-masalah tersebut dan diaplikasikan untuk mendapatkan hasil peningkatan produktivitas begitu juga dengan margin keuntungan.
8	Hazmi	2012	<i>Lean Manufacturing</i>	Terdapat sejumlah 41,18% aktivitas <i>non value added</i> pada proses persiapan pencetakan, proses pencetakan, proses pembuatan tube, proses packing box, dan proses wrapping sehingga perbaikannya yaitu menyelenggarakan pelatihan <i>autonomous maintenance</i> dan pembuatan mesin harian yang terjadwal.
9	Shodiq & Khannan	2015	<i>Lean Manufacturing, Value Stream Mapping</i>	Peningkatan throughput produksi pada VSM usulan sebesar 77 unit atau sebesar 5.8% dan dalam waktu siklus 602,25 menit sebelum perbaikan bisa digunakan untuk memproduksi 1.322 pcs sarung tangan, setelah perbaikan bisa memproduksi 1.399 pcs.

Lanjutan Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Tahun	Metode	Hasil
10	Trenggonowati	2017	Simulasi	Dilakukan penambahan 1 mesin cutting plasma, 2 operator marking, 1 drilling, dan 1 grinding dengan nilai rata-rata <i>output</i> optimal yang dihasilkan sebesar 9290,8 unit
11	Huang & Tomizuka	2017	EVSM	Terjadi pengurangan <i>waste</i> baik dari persepektif ekonomis ataupun lingkungan, pada perspektif ekonomis terjadi pengurangan WIP, transportasi dan pengurangan bottleneck. Sedangkan untuk perspetif lingkungan dapat diidentifikasi potensi pengurangan emisi CO2 sebesar 46%

Berdasarkan penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa penelitian ini akan dilakukan untuk merancang sebuah *Sustainable & Lean Production System* dengan pendekatan *Environmental Value Stream Mapping* sebagai alat bantu untuk memetakan alur proses produksi dan konsumsi energi serta untuk mengetahui penempatan perbaikan yang akan dilakukan. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan simulasi yang bertujuan untuk mengetahui dampak yang diberikan oleh rencana perbaikan yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas pada perusahaan.