

**BAB 3**  
**LANDASAN TEORI**

**3.1. Perencanaan**

**3.1.1. Definisi Perencanaan**

Perencanaan merupakan suatu spesifikasi dari tujuan yang ingin dicapai serta cara-cara yang akan ditempuh untuk mencapai tujuan tersebut. Hal-hal yang terdapat dalam perencanaan antara lain:

- a. Perencanaan melibatkan proses penetapan dari suatu keadaan pada masa yang akan datang.
- b. Perlu adanya identifikasi dari keadaan sekarang dan keadaan pada masa datang yang diinginkan.
- c. Perlu diketahui spesifikasi dari keadaan yang akan datang maupun keadaan sekarang.
- d. Perlu dilakukan usaha untuk melakukan transformasi agar dapat memperoleh keadaan di masa yang akan datang sesuai yang diinginkan berdasar dari keadaan di masa kini.
- e. Usaha yang akan dilakukan untuk mentransformasikan keadaan masa kini menjadi keadaan masa depan dapat berupa kegiatan yang beraneka ragam dan kesemuanya merupakan alternatif yang dapat dipilih.
- f. Perlu dilakukan analisis untuk memilih alternatif terbaik terbaik yang paling sesuai dengan situasi dan kondisi.
- g. Alternatif hasil analisis tersebut diperinci sehingga dapat dijadikan pedoman pelaksanaan kerja untuk pelaksanaan kegiatan dalam suatu instansi (Ahyari, 1986).

Kiranya dapatlah disebutkan pengertian dari perencanaan secara singkat sebagai serangkaian keputusan yang diambil sekarang untuk dikerjakan pada waktu yang akan datang (Ahyari, 1986).

Fungsi utama dari rencana kerja adalah untuk dapat menggunakan sumber daya, baik yang berasal dari alam maupun manusia secara efektif, efisien, mengurangi pemborosan, dan memperoleh kegunaan yang maksimal. Perencanaan tidak lain adalah penentuan tujuan pokok (tujuan utama) organisasi beserta cara-cara untuk mencapai tujuan tersebut (Gitosudarmo, 1985). Hal itu menyebabkan dalam pelaksanaannya dapat mengurangi kemungkinan kegagalan pencapaian tujuan sampai pada tingkat kemungkinan yang terendah.

Perencanaan berarti mengandung pengertian sebagai berikut:

- a. Penentuan tujuan tentang keadaan masa depan yang diinginkan.
- b. Pemilihan dan penentuan cara yang akan ditempuh (dari semua alternatif yang mungkin).
- c. Usaha mencapai tujuan tersebut (Gitosudarmo, 1985).

### **3.1.2. Kegunaan Perencanaan**

Perencanaan mempunyai banyak kegunaan dalam penerapannya di dunia industri. Kegunaan dari perencanaan antara lain:

- a. Suatu perencanaan meliputi usaha untuk menetapkan tujuan atau memformulasikan tujuan yang akan dipilih untuk dicapai, maka perencanaan dapat membedakan arah bagi setiap kegiatan produksi dengan jelas. Kegiatan akan dapat dilaksanakan dengan efisiensi

dan efektivitas yang setinggi mungkin dengan adanya kejelasan arah tersebut. Tanpa adanya arah yang jelas maka kita tidak akan mengetahui apakah hasil yang kita capai dalam kegiatan itu masih dalam kerangka pencapaian tujuan.

- b. Akan ada kemungkinan untuk mengetahui apakah tujuan-tujuan tersebut telah kita capai dengan adanya perencanaan yang memberikan formulasi tujuan yang hendak dicapai. Penyimpangan dari tujuan yang telah ditetapkan dapat diketahui seawal mungkin dengan adanya koreksi. Pemborosan dan usaha-usaha yang tidak menunjang pencapaian tujuan dapat dihindari akibat dari penilaian berdasarkan tujuan yang telah direncanakan ini.
- c. Memudahkan pelaksanaan kegiatan untuk mengidentifikasi hambatan-hambatan yang mungkin timbul dalam usaha mencapai tujuan tersebut. Persiapan untuk mengatasinya menjadi lebih terarah dengan memperhitungkan hambatan-hambatan itu. Pemecahan masalah hambatan ini juga akan mendorong anggota organisasi untuk selanjutnya waspada dalam memilih suatu persoalan yang muncul, melatih mereka dalam pemecahan masalah dan dapat mempertinggi kepekaan mereka terhadap adanya gangguan organisasi.
- d. Menghindari pertumbuhan yang tidak terkendali, misalkan dalam pengembangan usaha, kita selalu mempunyai kecenderungan untuk selalu menambah jumlah dan jenis tenaga kerja dari yang sudah kita miliki untuk memperbaiki mutu serta jumlah *output* (Gitosudarmo, 1985).

## **3.2. Kapasitas**

### **3.2.1. Definisi Kapasitas**

Menurut Oden (1993), kapasitas yang tersedia (*available capacity*) adalah kemampuan yang tersedia saat sistem produktif (tenaga kerja, mesin, *work center*, departemen, pabrik, dll.) berproduksi. Pengertian dari kapasitas yang diperlukan (*required capacity*) adalah kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi jadwal produksi. Menurut Narasimhan, dkk. (1995), kapasitas adalah tingkat maksimum dimana sistem dapat bekerja secara penuh.

Menurut Handoko (1984), secara konsep kapasitas adalah suatu tingkat keluaran, suatu kuantitas keluaran dalam periode tertentu, dan merupakan kuantitas keluaran tertinggi yang mungkin selama periode waktu itu. Kapasitas adalah suatu ukuran kemampuan produktif suatu fasilitas per unit waktu. Beberapa definisi kapasitas yang secara umum diterima, dapat diperinci sebagai berikut:

#### **a. Design capacity**

Merupakan tingkat keluaran per satuan waktu untuk mana pabrik dirancang.

#### **b. Rated capacity**

Merupakan tingkat keluaran per satuan waktu yang menunjukkan bahwa fasilitas secara teoritik mempunyai kemampuan memproduksinya. Biasanya lebih besar dari pada *design capacity* karena perbaikan-perbaikan periodik dilakukan terhadap mesin-mesin atau proses-proses.

#### **c. Standard capacity**

Merupakan tingkat keluaran per satuan waktu yang

ditetapkan sebagai "sasaran" pengoperasian bagi manajemen, supervisi, dan para operator mesin; dapat digunakan sebagai dasar bagi penyusunan anggaran. Kapasitas standar adalah sama dengan *rated capacity* dikurangi cadangan keperluan pribadi standar, tingkat sisa (*scrap*) standar, berhenti untuk pemeliharaan standar, cadangan untuk pengawasan kualitas standar, dan sebagainya.

**d. Actual/operating capacity**

Merupakan tingkat keluaran rata-rata per satuan waktu selama periode-periode waktu yang telah lewat. Ini adalah kapasitas standar +/- cadangan-cadangan, penundaan, tingkat sisa nyata, dan sebagainya.

**e. Peak capacity**

Merupakan jumlah keluaran per satuan waktu (mungkin lebih rendah daripada *rated*, tetapi lebih besar dari pada *standard*) yang dapat dicapai melalui maksimisasi keluaran, dan akan mungkin dilakukan dengan kerja lembur, menambah tenaga kerja, menghapuskan penundaan-penundaan, mengurangi jam istirahat, dan sebagainya (Handoko, 1984).

Kapasitas teoritis atau maksimum atau desain adalah kapasitas maksimum yang dimungkinkan dari sistem produktif. Pengertian di atas berdasarkan pada asumsi situasi yang ideal seperti: 3 shift, 7 hari/minggu, dan tidak ada *down time*. Menurut Oden (1993), waktu yang tersedia adalah jumlah jam kerja yang dijadwalkan atau tersedia di *work center* selama periode yang telah ditentukan. Kapasitas maksimum/teoritis sulit di capai pada kondisi nyata. Menurut Silver, dkk. (1998), perhitungan kapasitas juga harus diambil dari adanya

kerusakan mesin, waktu untuk perawatan minor, penundaan akibat komponen yang hilang, dan lain sebagainya.

Pada saat perhitungan kapasitas, harus dapat dibedakan antara beban dan kapasitas. Menurut Oden (1993), kapasitas sendiri dapat dikatakan sebagai kondisi dimana pekerjaan dapat diselesaikan oleh sistem. Beban dapat diartikan sebagai keadaan dimana pekerjaan dibebankan kepada sistem.

### **3.2.2. Perencanaan Kebutuhan Kapasitas**

Menurut Narasimhan, dkk. (1995), perencanaan kapasitas (*capacity planning*) adalah suatu proses dari menentukan kebutuhan pekerja, mesin-mesin, sumber daya fisik untuk memenuhi tujuan produksi suatu perusahaan. Pengendalian kapasitas (*capacity control*) didefinisikan sebagai suatu proses untuk memantau *output*, membandingkannya dengan perencanaan kapasitas, menentukan jika variasi melebihi batas standar, dan mengambil langkah-langkah perbaikan.

Menurut Silver, dkk. (1998), perencanaan kebutuhan kapasitas (*capacity requirement planning/CRP*) adalah menentukan kebutuhan kapasitas suatu waktu pada tiap *work center* seperti yang sudah ditentukan atau diusulkan oleh *master production schedule*. Input utama dari perencanaan kapasitas produksi adalah:

- a. *Routing file* tiap komponen.
- b. *Output* dari MRP.
- c. Data *work center* dan kapasitasnya.

Menurut Gasperstz (1998), *routing file* adalah sekumpulan informasi yang memerinci metode pembuatan komponen tertentu, termasuk operasi yang dilakukan,

urutan operasi, berbagai *work center* yang terlibat, waktu setup dan waktu pelaksanaan. *Load time*, *wait/queue time*, dan *move time* juga diperlukan saat akan membuat CRP yang lengkap.

### **3.2.3. Tujuan Perencanaan Kebutuhan Kapasitas**

Perencanaan kebutuhan kapasitas (*capacity requirement planning*) mengidentifikasi kapan beban melebihi kapasitas dan kapan beban di bawah kapasitas. Beban tersebut dibandingkan beban pada tiap *work center* berdasarkan *material requirement planning* (MRP) yang telah disusun sebelumnya dengan kapasitas yang ada pada tiap periode perencanaan.

Menurut Sumayang (2003), perencanaan kapasitas melalui tahapan berikut ini:

- a. Memperkirakan kapasitas yang ada sekarang ini.
- b. Meramalkan kebutuhan akan kapasitas.
- c. Mencari alternatif lain untuk mengubah kapasitas.
- d. Evaluasi keuangan ekonomi, dan teknologi terhadap kapasitas alternatif.
- e. Memilih alternatif yang paling sesuai untuk mencapai misi strategis perusahaan.

Fungsi dari perencanaan kebutuhan kapasitas adalah melakukan verifikasi terhadap kapasitas yang tersedia apakah cukup untuk melakukan semua order yang dilakukan dalam periode perencanaan. Perencanaan kebutuhan kapasitas juga berfungsi untuk melakukan validasi terhadap MRP. Perencanaan kebutuhan kapasitas dikatakan layak jika beban kerja tidak melebihi kapasitas yang tersedia sehingga MRP dapat dikatakan valid. Proses untuk memeriksa validitas suatu rencana produksi dapat

dilakukan dengan cara:

- a. Menghitung kebutuhan kapasitas.
- b. Mengevaluasi ketersediaan kapasitas.
- c. Mempertimbangkan penyesuaian kapasitas.

Kapasitas produksi sering kali tidak mampu memenuhi beban produksi dan mengakibatkan kelebihan kapasitas. Tindakan yang harus dilakukan seandainya terjadi kelebihan kapasitas adalah:

- a. redistribusi beban (pemindahan periode operasi, redistribusi dengan revisi MPS, dll.).
- b. peningkatan kapasitas (lembur, penambahan shift, penambahan pekerja, subkontrak, dll.).
- c. penurunan beban (pembelian sebagian yang direncanakan dibuat, penurunan beban dengan revisi MPS).

Menurut Weiss dan Gershon (1998), pilihan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kapasitas adalah:

**a. Usaha jangka pendek**

Usaha dilakukan dengan menggunakan penambahan jam kerja, subkontrak, dan meningkatkan kapasitas server.

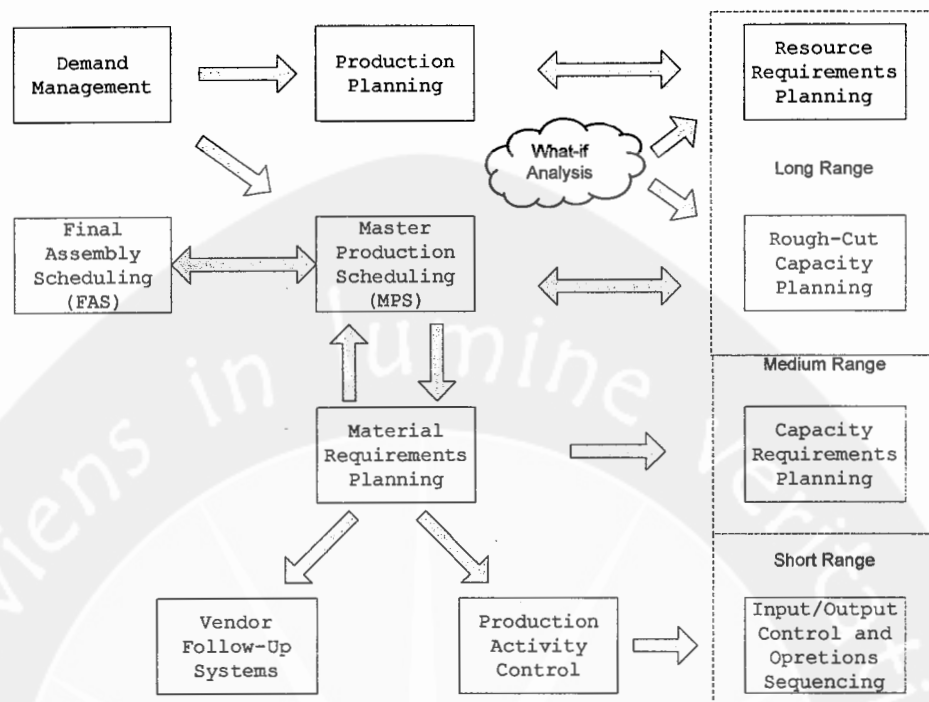
**b. Usaha jangka menengah**

Usaha dilakukan dengan menggunakan penambahan jam kerja, subkontrak, atau meningkatkan ukuran usaha pekerja. Usaha lain yang dapat dilakukan adalah penambahan mesin, restruktur fasilitas, penambahan shift kerja, alokasi sumber daya, dan restruktur definisi pekerjaan.

**c. Usaha jangka panjang**

Usaha dilakukan dengan membangun suatu fasilitas baru.





**Gambar 3.1. Teknik Manajemen Kapasitas**  
(Narasimhan, dkk., 1995)

#### 3.2.4. Metode Pengukuran Kapasitas

Pengukuran kapasitas dapat dilakukan dengan beberapa macam metode. Menurut Gasperstz (1998), metode yang dapat digunakan untuk mengukur kapasitas adalah:

**a. *theoretical capacity/maximum capacity***

Metode ini merupakan kapasitas maksimum yang mungkin dari sistem *manufacturing* yang didasarkan pada asumsi mengenai adanya kondisi ideal. Metode ini melakukan pengukuran kapasitas didasarkan pada jam kerja tersedia untuk melakukan pekerjaan tanpa disertai adanya saat untuk berhenti, kerusakan mesin, maupun alasan lain.

**b. *demonstrated capacity/actual capacity***

Metode ini merupakan metode kapasitas dimana tingkat keluaran yang dapat diharapkan berdasarkan

pengalaman. Metode jenis ini biasanya mengukur produksi secara aktual dari *work center* di masa lalu yang biasanya diukur dengan angka yang didapat dengan mengukur keluaran dari *work center* selama periode operasi normal. Metode ini digunakan saat data yang dibutuhkan untuk menghitung kapasitas terhitung tidak tersedia.

**c. *rated capacity/calculated capacity***

Metode ini memperhitungkan waktu kerja tersedia, utilitas, dan efisiensi. *Rated capacity* diukur berdasarkan penyesuaian kapasitas teoritis dengan faktor produktivitas yang telah ditentukan oleh *demonstrated capacity*.

Sering kali didapat kesulitan dalam mengukur kapasitas disebabkan karena terjadi perubahan seperti berikut ini:

- a. Pekerja datang terlambat atau tidak masuk kerja.
- b. Peralatan dan perlengkapan rusak.
- c. Fasilitas berhenti bekerja karena keperluan perawatan atau perbaikan.
- d. Perubahan jenis mesin karena ada perubahan produk (Sumayang, 2003).

**3.2.5. Perhitungan Kapasitas Terhitung**

Kapasitas terhitung (*calculated capacity*) dihitung dengan mengalikan waktu kerja yang tersedia dengan utilitas dan efisiensi, persamaannya dapat ditulis:

$$C_{calculated} = T_{available} \times U \times E \quad \dots(3.1.)$$

dimana:

$C_{calculated}$  = kapasitas terhitung

$T_{available}$  = waktu kerja tersedia

U = utilitas

E = efisiensi

$T_{available}$  adalah banyaknya jam kerja aktual yang dijadwalkan pada setiap work center selama periode tertentu. Rumus persamaan yang digunakan adalah:

$$T_{available} = Op \times \text{jam} \times \text{shift} \times \text{hari kerja} \dots (3.2.)$$

dimana:

$T_{available}$  = waktu kerja tersedia

Op = jumlah pekerja atau mesin

jam = jumlah jam tiap *shift*

*shift* = jumlah *shift* tiap hari

hari kerja = jumlah hari kerja tiap periode

Utilitas (U) adalah keefektifan pemakaian jam kerja, dimana utilitas merupakan rasio waktu kerja aktual dengan waktu kerja standar yang telah ditetapkan. Nilai utilitas berkisar antara 0 sampai dengan 1. Rumus persamaan utilitas yang digunakan adalah:

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Jam kerja aktual produksi}}{\text{Jam tersedia}} \dots (3.3.)$$

Menurut Narasimhan, dkk. (1995), efisiensi adalah rasio waktu baku terhadap waktu kerja nyata. Nilai efisiensi bervariasi. Nilai efisiensi  $> 1$  apabila pekerja bekerja lebih cepat dari waktu baku dan  $< 1$  bila pekerja bekerja lebih lambat dari waktu baku. Rumus persamaan efisiensi yang digunakan adalah:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Jam standar untuk produksi}}{\text{Jam kerja aktual untuk produksi}} \dots (3.4.)$$

### **3.3. Sistem dan Model**

#### **3.3.1. Sistem**

Menurut Law dan Kelton (2000), sistem adalah sekelompok komponen yang beroperasi secara bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu atau sekumpulan entitas yang bertindak dan berinteraksi bersama-sama untuk memenuhi suatu tujuan akhir yang logis. Sistem sangat bergantung pada tujuan awal sistem tersebut dibuat. Bukan tidak mungkin suatu sistem yang diteliti hanya merupakan bagian dari suatu sistem yang jauh lebih besar atau sistem keseluruhan.

Menurut Arifin (2009), elemen-elemen pembentuk dari suatu sistem adalah:

##### **a. Entitas dan atribut**

Entitas adalah *item-item* yang akan diproses oleh sistem. Karakteristik khas dari entitas adalah biaya, bentuk prioritas, kualitas dan kondisi. Atribut adalah segala sesuatu yang menjadi properti dari entitas.

##### **b. Aktivitas dan delay**

Aktivitas merupakan kejadian yang dilakukan sistem baik secara langsung maupun secara tidak langsung dalam memproses entitas. *Delay* merupakan keadaan di mana durasi dari proses tidak diketahui. *Delay* akan tampak pada saat melihat kesimpulan dari proses yang berlangsung. Aktivitas merupakan bagian dari perencanaan model.

### **c. Sumber daya dan kontrol**

Sumber daya di sini diartikan sebagai segala sesuatu yang dapat membantu aktivitas seperti fasilitas pendukung, peralatan dan personel, dan lain sebagainya. Sumber daya memiliki karakteristik seperti kapasitas, kecepatan, waktu siklus, dan reliabilitas. Kontrol mengatur bagaimana, kapan, dan di mana aktivitas dilaksanakan. Pengendalian menyediakan informasi dan logika keputusan bagaimana sistem dioperasikan.

Menurut Arifin (2009), ukuran kinerja dari suatu sistem dapat dinilai dengan melihat:

#### **a. Aliran waktu (*flow time*)**

Aliran waktu adalah waktu rata-rata yang diambil untuk *item* yang akan diproses dalam sistem. *Flow time* dapat dikurangi dengan mengurangi waktu proses yang berhubungan dengan *flow time*, yaitu *set up*, perpindahan operasi dan waktu pemeriksaan. *Flow time* juga dapat dikurangi dengan menurunkan *work in process* atau rata-rata jumlah entitas dalam sistem.

#### **b. Utilisasi**

Utilisasi adalah persentase dari jadwal waktu dari operator dan sumber daya lainnya pada saat produksi. Upaya peningkatan utilitas produktif dengan meningkatkan sumber daya atau menurunkan kapasitas sumber daya.

#### **c. Nilai waktu**

Nilai waktu adalah banyaknya waktu material, konsumen, dan nilai penerimaan aktual di mana nilai membatasi semua keinginan konsumen untuk membayar.

#### **d. Waktu tunggu**

Waktu tunggu adalah banyaknya waktu di mana material dan konsumen di mana sedang menunggu untuk diproses. Waktu tunggu dapat ditingkatkan dengan mengurangi jumlah *item* pada sistem.

#### **e. Rata-rata aliran**

Rata-rata aliran adalah banyaknya *item* yang diproduksi atau pelayanan konsumen per unit satuan waktu. Rata-rata aliran dapat ditingkatkan dengan manajemen lebih baik dan utilitas sumber daya khususnya membatasi sumber daya.

#### **f. Tingkat antrian**

Tingkat antrian adalah jumlah *item* atau konsumen saat sedang menunggu. Persediaan dapat dikontrol dengan membatasi produksi saat operasi sedang *bottleneck*.

#### **g. Produksi**

Dari tingkat produksi, persentase produk yang disesuaikan dengan spesifikasi atau persentase total jumlah produk yang masuk dalam sistem sebagai *raw material*.

#### **h. Variansi**

Variansi adalah derajat dari fluktuasi yang dapat dan sering terjadi pada kinerja pendahuluan. Variansi memperkenalkan ketidakpastian dan resiko dalam usaha mencapai tujuan dari performansi. Variansi dikurangi dengan mengontrol waktu proses dan meningkatkan sumber daya.

Data dari sistem nyata berguna untuk proses pengenalan sebelum proses pemodelan dari suatu objek/sistem nyata. Proses mengenali perilaku data

disebut dengan pemodelan sistem. Pemodelan suatu sistem merupakan suatu proses penyaringan dan pemilihan yang dilakukan terhadap berbagai data sehingga didapatkan data yang dapat dimodelkan.

### **3.3.2. Model**

Model dapat didefinisikan sebagai proses penggambaran operasi sistem nyata untuk menjelaskan atau menunjukkan relasi-relasi penting yang terlibat (Arifin, 2009). Model yang digunakan untuk mengenal suatu sistem dibedakan berdasarkan data yang diperoleh, yaitu:

#### **a. Model Fisik**

Model fisik didasarkan pada analogi dari sistem dengan sistem. Pada pemodelan jenis ini atribut atau data didapat dari pengukuran dan pengamatan secara langsung.

#### **b. Model Matematika**

Simbol-simbol dan persamaan matematika digunakan untuk menggambarkan sistem. Atribut atau data dipresentasikan oleh tiap variabel yang dideklarasikan dengan sebelumnya telah diidentifikasi lebih dulu dan kemudian digunakan fungsi matematika maka dari seluruh variabel tersebut akan dihasilkan aktivitas yang diharapkan.

Model matematika dapat dibagi menjadi dua yang masing-masing memiliki perbedaan yang mendasar. Bagian pertama sangat dipengaruhi oleh perubahan waktu, disebut model dinamis, dan model yang kedua menunjukkan perilaku sistem secara spesifik pada kondisi tertentu saja, disebut model statis. Cara menganalisis dalam

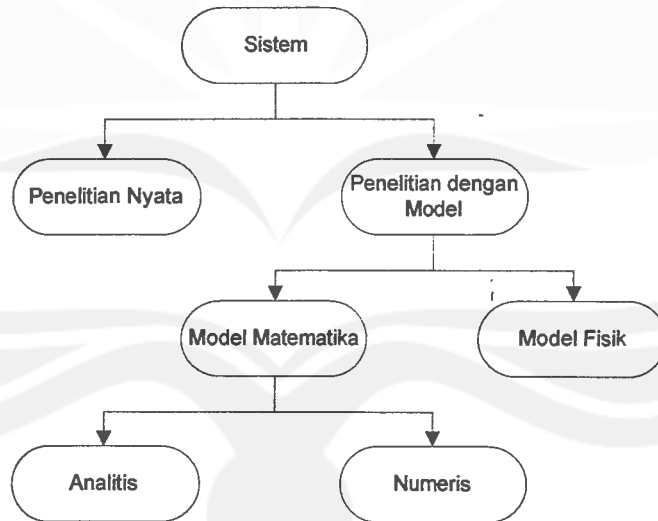
model matematika dibedakan lagi menjadi dua, yaitu:

**a. Metode analitis**

Menggunakan metode analitis berarti memakai teori matematika deduktif untuk menyelesaikan model, seperti matematika diferensial, matriks, analisis regresi, dan sebagainya.

**b. Metode numerik**

Metode numerik lebih sering menggunakan perhitungan matematika dan static untuk melakukan perhitungan angka-angka yang sangat besar dan rumit. Metode ini menggunakan data dengan teknik-teknik khusus dan melibatkan prosedur-prosedur komputasi untuk menyelesaikan persamaan-persamaannya. Teknik khusus tersebut adalah simulasi (Djati, 2007).



**Gambar 3.2. Penelitian dari Sistem (Djati, 2007)**

Menurut Arifin (2009), model harus memiliki karakteristik dasar agar model yang sudah dibuat sesuai dengan yang diinginkan pemodel. Karakter tersebut adalah:



**a. Model harus mempunyai tingkat generalisasi yang tinggi**

Semakin tinggi generalisasi suatu model, maka semakin baik model tersebut, sebab akan mempunyai kemampuan untuk menyelesaikan suatu permasalahan semakin tinggi.

**b. Model harus mempunyai mekanisme yang transparan**

Model yang baik adalah model yang mampu menjelaskan kembali mekanisme pemecahan masalah tanpa harus ada yang disembunyikan.

**c. Model harus punya potensi untuk dikembangkan**

Model yang baik harus mampu menarik minat peneliti untuk melanjutkan penelitiannya. Model itu juga membuka kemungkinan peneliti lain untuk mengembangkan menjadi model yang lebih kompleks dan berdaya guna untuk menjawab permasalahan sistem nyata.

**d. Model harus mempunyai kepekaan terhadap perubahan asumsi**

Model yang baik selalu memberi celah bagi para peneliti lainnya untuk membangkitkan asumsi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemodelan tidak pernah berakhir.

Model terdiri dari model analog dan model simbolik. Model analog adalah pemodelan sistem nyata melalui tingkah laku, misalnya aliran minyak di dalam pipa. Model simbolik berdasarkan pada perspektif, verbal, matematik, dan logika berpikir dari si pembuat model. Menurut Arifin (2009), terdapat paling sedikit empat jenis model yang berdasarkan model simbolik yaitu:

**a. Model stokastik**

Model yang mencakup distribusi kemungkinan untuk input dan memberikan serangkaian nilai dari sekurang-kurangnya 1 variabel output dengan probabilitas yang berkaitan pada tiap nilai. Contohnya adalah waktu kedatangan pelanggan, waktu antrian pelanggan, dll.

**b. Model deterministik**

Model yang digunakan untuk memecahkan suatu persoalan dalam situasi yang pasti. Contohnya adalah proses kimia, peta, dll.

**c. Model statis**

Model yang berhubungan dengan keadaan sistem pada suatu saat tidak mempertimbangkan perubahan waktu. Biasanya hanya melibatkan pembangkitan bilangan random untuk menjalankan simulasi. Contohnya adalah penentuan jumlah persediaan di gudang, dll.

**d. Model dinamis**

Model yang berkaitan dengan keadaan sistem dalam waktu yang berkelanjutan, mengandung proses perubahan setiap saat akibat suatu aktivitas. Contohnya adalah simulasi suatu layanan perbankan yang buka dari jam 08.00-15.00.

**3.4. Sistem Antrian**

**3.4.1. Teori Antrian**

Antrian merupakan suatu keadaan di mana ada pihak yang harus menunggu untuk mendapatkan pelayanan. Situasi menunggu merupakan bagian dari keadaan yang terjadi dalam rangkaian kegiatan operasional yang bersifat *random* dalam suatu fasilitas pelayanan.

Penyedia layanan dapat mengusahakan agar dapat melayani pelanggannya dengan baik dan tanpa harus menunggu lama dengan mempelajari teori antrian terlebih dulu (Kakiay, 2004).

Tujuan sebenarnya dari teori antrian adalah meneliti kegiatan dan fasilitas pelayanan dalam rangkaian kondisi random dari suatu sistem antrian yang terjadi. Faktor penting dalam pengembangan teori antrian adalah:

- a. Sistem pemilihan untuk pelanggan mana yang harus dilayani terlebih dahulu, yang mana ini menunjukkan disiplin pelayanan yang digunakan.
- b. Fasilitas pelayanan yang dirancang untuk menampung pelanggan yang sekaligus banyak dan kemudian dilayani secara simultan.
- c. Perhatian terhadap ukuran jumlah antrian.
- d. Faktor yang berasal dari sumber tertentu yang harus dilayani secara urut (*Calling Sources*), dimana pelanggan datang secara terbatas atau dapat juga secara tidak terhingga.
- e. Perhitungan bahwa yang ada dalam sistem adalah manusia yang berperilaku (Kakiay, 2004).

#### **3.4.2. Faktor-Faktor dalam Sistem Antrian**

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap barisan antrian dan pelayanan adalah sebagai berikut:

##### **a. Distribusi Kedatangan**

Distribusi ini terbagi menjadi dua yaitu:

1. Kedatangan secara individu (*single arrival*).
2. Kedatangan secara kelompok (*bulk arrival*).

#### **b. Distribusi Waktu Pelayanan**

Distribusi waktu pelayanan berkaitan dengan banyaknya fasilitas pelayanan yang disediakan. Distribusi ini terbagi dua, yaitu:

1. Pelayanan secara individual (*single service*).
2. Pelayanan secara kelompok (*bulk service*).

#### **c. Fasilitas Pelayanan**

Desain fasilitas pelayanan terbagi dalam tiga bentuk:

1. Bentuk *series*, dalam satu garis lurus atau melingkar.
2. Bentuk paralel, dalam beberapa garis lurus yang antara satu dan lain paralel.
3. Bentuk *network station*, yang dapat dibentuk secara seri dengan pelayanan lebih dari satu pada tiap stasiun.

#### **d. Disiplin Pelayanan**

Disiplin pelayanan terbagi dalam empat bentuk, yaitu:

1. Pertama datang, pertama dilayani (*First Come First Service/FCFS*).
2. Terakhir datang, pertama dilayani (*Last Come First Service/LCFS*).
3. Pelayanan dalam *random order* (*Service In Random Order/SIRO*).
4. Prioritas pelayanan, yang berarti pelayanan dilakukan khusus pada pelanggan utama.

#### **e. Ukuran dalam Antrian**

Ada dua desain yang dipilih dalam menentukan besarnya antrian, yaitu:

1. Ukuran kedatangan secara tidak terbatas.

2. Ukuran kedatangan secara terbatas.

**f. Sumber Pemanggilan**

Sumber pemanggilan dapat berupa mesin maupun manusia. Bila ada sejumlah mesin yang rusak maka sumber pemanggilan akan berkurang dan tidak dapat melayani pelanggan. Sumber masalahnya adalah:

1. Sumber pemanggilan terbatas.
2. Sumber pemanggilan tidak terbatas (Kakiay, 2004).

**3.4.3. Proses Masukan dan Keluaran**

Hal yang diperlukan dalam proses masukan adalah pola distribusi kedatangan. Ketidakadaan pola distribusi masukan mengakibatkan diperlukan penanganan yang mendalam. Kadang ada pelanggan yang meninggalkan barisan antrian dan tidak kembali karena terlalu lama dan jemu dalam suatu antrian yang sedang berlangsung,. Di sisi lain ada pelanggan yang berpindah-pindah dari antrian satu ke lainnya karena ada barisan yang lebih pendek dan pelanggan ini ingin cepat dilayani (Kakiay, 2004).

Proses keluaran banyak dipengaruhi oleh waktu pelayanan. Proses pelayanan pada umumnya menggunakan distribusi peluang tertentu. Terdapat bentuk pelayanan tunggal (*single server*) dan pelayanan majemuk (*multiple server*). Sistem pelayanan mengikuti kedatangan pelanggan, yang dapat dinyatakan dengan:

- a. Pelayanan tunggal dengan kedatangan tidak terhingga.
- b. Pelayanan majemuk dengan kedatangan tidak terhingga.
- c. Pelayanan tunggal dengan kedatangan terbatas.

- d. Pelayanan majemuk dengan kedatangan terbatas (Kakiay, 2004).

### **3.5. Simulasi**

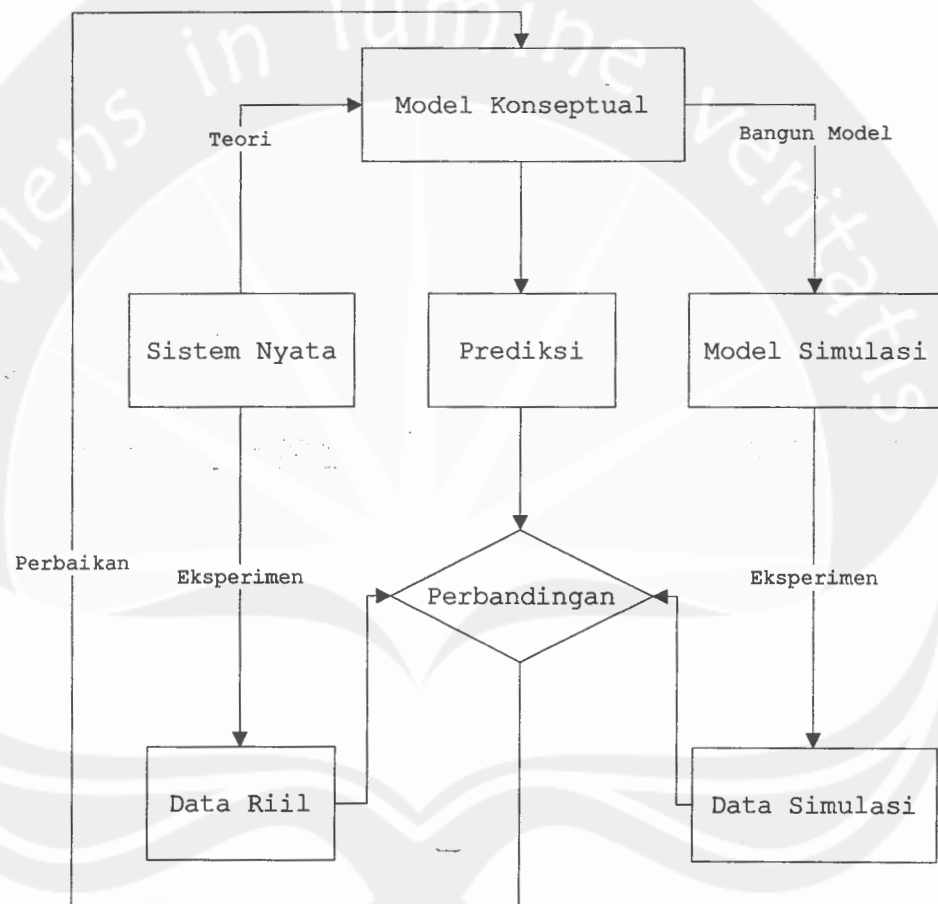
#### **3.5.1. Konsep Simulasi**

Menurut Arifin (2009), simulasi merupakan suatu alat yang hanya digunakan jika ada suatu pemahaman alamiah dari masalah yang akan dipecahkan. Simulasi dirancang untuk membantu pemecahan masalah yang berhubungan dengan sistem yang dioperasikan secara alamiah. Kegagalan dalam simulasi untuk menciptakan suatu hasil, lebih sering dikarenakan oleh kurangnya suatu pemahaman terhadap sistem dibandingkan dengan suatu pengetahuan bagaimana menggunakan *software* simulasi.

Simulasi bukan hanya suatu solusi pemecahan masalah dengan menggunakan model yang dibuat untuk menghasilkan nilai tertentu. Simulasi juga dapat menduga perilaku sistem yang kita amati. Simulasi memerlukan data yang merupakan hasil pengamatan dari objek permasalahan yang nyata.

Data yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk membuat suatu prediksi yang akan memudahkan untuk membantu mengambil keputusan dan tindakan terhadap masalah yang dimodelkan. Suatu sistem perlu dipelajari sebelum kita membuat suatu prediksi dengan simulasi. Pembelajaran tentang sistem dapat membantu dalam memodelkan permasalahan yang dihadapi untuk kemudian disimulasikan. Menurut Arifin (2009), konseptual model dibangun dengan mempelajari sistem akan menghasilkan suatu teori dan memunculkan prediksi yang jika

dibandingkan dengan riil data dari eksperimentasi riil sistem dan konseptual model yang dibangun untuk menjadi simulasi ketika dieksperimentasi, akhirnya akan tetap menghasilkan suatu konseptual/skenario bagi sistem itu sendiri.



**Gambar 3.3. Pendekatan dalam Simulasi (Arifin, 2009)**

### 3.5.2. Definisi Simulasi

Simulasi adalah suatu proses merancang sebuah model matematika atau logis tentang sistem nyata dan menjalankan eksperimen dengan komputer terhadap model itu untuk menguraikan, menerangkan, dan meramalkan

kelakuan suatu sistem nyata tersebut (Perry dan Hoover dalam Widodo, 2007). Simulasi adalah suatu proses menyusun model matematis atau logis dari suatu sistem, dan bereksperimen dengan model tersebut untuk mempelajari karakteristik dan perilaku sistem (Cheng dalam Widodo, 2007).

Simulasi merupakan miniatur buatan yang merupakan model untuk percobaan suatu sistem nyata. Keunggulan simulasi antara lain kemampuannya menangani masalah-masalah kompleks di sistem nyata yang sulit untuk diselesaikan dengan metode analitis. Pendekatan ini memberikan suatu solusi dengan pendekatan sistem sehingga lebih memudahkan pada identifikasi masalah dan pengembangan alternatif solusi (Law dan Kelton, 2000).

Perilaku variabel pada model simulasi dapat diklarifikasikan menjadi dua, yaitu:

- a. **Discrete system** yaitu sistem yang variabelnya berubah hanya pada keadaan tertentu dan dapat dihitung pada saat tertentu.
- b. **Continuous system** yaitu sistem yang variabelnya berubah secara terus menerus serta dipengaruhi oleh waktu.

Perilaku data dapat digolongkan menjadi dua, yaitu:

**a. Statis**

Statis berarti kondisi variabel dan parameter selalu tetap dan tidak berubah.

**b. Dinamis**

Dinamis berarti kondisi variabel dan parameter dari komponen selalu berubah seiring perubahan waktu.



### 3.5.3. Tahapan Simulasi

Model simulasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang kompleks memiliki 5 (lima) langkah pokok, yaitu (Djati, 2007):

- a. Menentukan system atau permasalahan yang akan disimulasikan.
- b. Menentukan tujuan simulasi (apa yang harus dipecahkan, dijawab dan disimpulkan atas permasalahan itu) dan hal-hal lain yang mendukung terwujudnya model simulasi.
- c. Pengembangan model simulasi dan uji terhadap kebenaran proses perhitungan yang ada di dalamnya.
- d. Menentukan model simulasi dengan menentukan lamanya simulasi (dilakukan beberapa kali) dan uji.
- e. Analisis hasil dari simulasi.

Law dan Kelton (2000) menyebutkan prosedur atau tahapan dalam melakukan simulasi, yaitu:

#### **a. Mempelajari dan merumuskan masalah**

Langkah ini mencoba untuk mengetahui garis besar dari suatu sistem nyata. Perlu dikenali permasalahan, objek yang menjadi fokus analisa, variabel yang terlibat, kendala-kendala, dan ukuran performansi yang ingin dicapai.

#### **b. Mengumpulkan data dan memodelkan sistem**

Informasi dan data yang menunjang pemodelan dikumpulkan dan dimasukkan ke dalam model setelah model terbentuk.

#### **c. Membuat program komputer dan pengembangan model**

Model mulai disusun dan dikembangkan dengan cara dan bahasa yang sesuai dengan program komputer yang digunakan.

**d. Melakukan verifikasi dan validasi**

Verifikasi adalah langkah memastikan bahwa model berlaku benar sesuai dengan konsep dan asumsi yang dibuat dan diterjemahkan secara benar ke dalam bahasa pemrograman. Verifikasi dilakukan dengan cara meneliti jalannya simulasi untuk setiap bagian model. Validasi adalah langkah untuk memastikan bahwa model benar-benar merepresentasikan sistem nyata dan dapat digunakan untuk pembelajaran sistem tersebut.

**e. Melakukan analisis dan eksplorasi model**

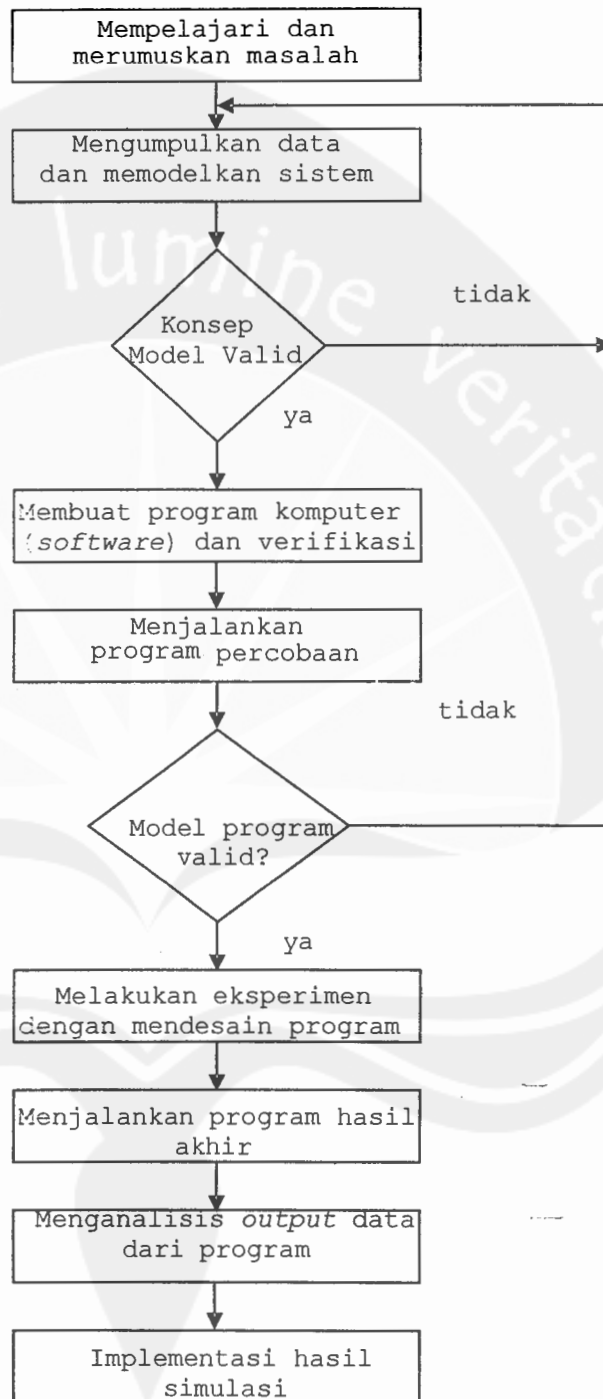
Sistem dapat dianalisis lewat model yang telah valid pada tahap ini. Sistem yang bersifat terbuka dimungkinkan untuk melakukan eksplorasi model dengan melakukan perubahan kondisi *input* atau kejadian lain.

**f. Melakukan eksperimen optimasi model**

*Output* simulasi, perilaku sistem, dan analisisnya diteliti dan dilakukan percobaan untuk menjawab pertanyaan formulasi masalahnya. Dapat diperoleh gambaran optimal sistem melalui modelnya yang dapat dijadikan pertimbangan untuk perbaikan dan pengembangan sistem nyata.

**g. Mengimplementasikan hasil simulasi**

Hasil simulasi perlu disampaikan pada pihak manajemen sebagai perbaikan sistem. Pelaksanaan hasil simulasi pada sistem nyata perlu terus dipantau dan dapat menjadi masukan bagi analisis agar optimasi sistem dapat berkelanjutan.



**Gambar 3.4. Tahapan Simulasi (Law dan Kelton,2000)**

#### **3.5.4. Keuntungan dan Kelemahan menggunakan Simulasi**

Sedikitnya ada sembilan keuntungan dari penggunaan simulasi, keuntungan tersebut antara lain:

- a. Simulasi merupakan salah satu metode yang dapat memberikan perkiraan sistem yang lebih nyata.
- b. Memberikan alternatif terhadap kebijakan operasional dalam satu sistem sehingga dengan menggunakan simulasi dapat diketahui bahwa alternatif sistem yang dipilih dapat memberikan pelayanan yang lebih baik dari alternatif sistem lainnya.
- c. Sistem pada dunia kerja umumnya tidak dapat atau terlalu sulit untuk dibuat menjadi model matematika. Model yang banyak digunakan di dunia kerja lebih mengarah pada model analitis sehingga simulasi menjadi salah satu alternatif yang tepat untuk digunakan.
- d. Simulasi memudahkan pengontrolan beberapa kondisi sehingga kondisi terbaik dapat dicoba diterapkan dalam dunia nyata.
- e. Simulasi relatif membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk dilakukan dari pada harus melakukan percobaan dengan sistem nyata.
- f. Tidak merusak sistem nyata dan menampilkan realitas sistem.
- g. Mudah digunakan serta dimengerti.
- h. Hasil simulasi dapat digunakan sebagai saran perbaikan sistem nyata.
- i. Dapat memodelkan berbagai macam tipe sistem dan dapat melihat performansi sistem tiap saat.

Menurut Djati (2007), kelemahan yang ada dari penggunaan simulasi adalah:

- a. Model simulasi yang bersifat probabilistik hanya menghasilkan perkiraan yang berupa sekumpulan karakteristik yang sebenarnya dari suatu model lewat parameter yang di-*input*-kan. Apabila dijalankan sendiri maka dimungkinkan model membutuhkan sekumpulan parameter yang di-*input*-kan untuk dipelajari. Alasan yang lebih tepat adalah simulasi umumnya tidak dapat digunakan untuk mengoptimalkan. Simulasi hanya digunakan untuk membandingkan suatu angka, sebab simulasi hanya dapat menentukan alternatif desain suatu sistem yang lebih baik.
- b. Lebih mudah menghasilkan karakteristik yang tetap dari suatu model sesuai dengan jenis yang dibutuhkan dari sekumpulan parameter yang di-*input*-kan dalam suatu model analitik. Model analitik lebih mudah dikembangkan dengan demikian dapat dikatakan bahwa model analitik lebih baik dari pada model simulasi karena model simulasi hanya mampu menghasilkan nilai perkiraannya saja, sulit untuk mendapatkan hasil pasti dari parameternya.
- c. Model simulasi lebih mahal dan membutuhkan waktu untuk pengembangannya.
- d. Simulasi menghasilkan kumpulan angka yang banyak dan panjang atau membutuhkan animasi atau pengolahan aplikasi yang *user friendly* dan realistis agar meyakinkan, sehingga lebih sering membuat kecenderungan untuk mempercayai hasil pengamatan dari pada pembuktian.

### 3.6. Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data digunakan untuk mengetahui apakah banyaknya data yang diperoleh dari pengukuran telah cukup diuji. Menurut Dewa dalam Widodo (2007), dua hal yang sangat mempengaruhi pengujian data tersebut adalah:

- a. Tingkat ketelitian (dalam %), yaitu penyimpangan maksimum dari hasil pengukuran terhadap nilai yang sebenarnya.
- b. Tingkat kepercayaan (dalam %), yaitu besarnya keyakinan atau besarnya probabilitas bahwa data yang kita dapatkan terletak dalam tingkat ketelitian yang telah ditentukan.

Tingkat ketelitian yang digunakan dalam pengamatan ini adalah 10% dan tingkat kepercayaan 95%. Rumus yang digunakan untuk uji kecukupan data adalah:

$$N' = \left( \frac{K / s \sqrt{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \dots (3.5)$$

$N'$  = Jumlah pengamatan yang seharusnya diamati (jumlah pengamatan dari hasil perhitungan).

$N$  = Pengamatan pendahuluan (sembarang).

Jika  $N' < N$ , maka data pengamatan cukup.

Jika  $N' > N$ , maka data pengamatan kurang dan perlu tambahan data.

Nilai  $K$  untuk tingkat kepercayaan tertentu dapat dilihat dari Tabel 3.1.

---

Tabel 3.1. Tingkat Kepercayaan

Tingkat Kepercayaan	Nilai K
68%	1
95%	2
99%	3

---

Nilai  $s$  untuk tingkat ketelitian tertentu dapat dilihat dari Tabel 3.2. di bawah ini.

---

Tabel 3.2. Tingkat Ketelitian

Tingkat Ketelitian	Nilai $s$
5%	0,05
10%	0,10

---

### 3.7. Penentuan Jumlah Replikasi

Menurut Harrington dan Tumay dalam Widodo (2007), replikasi adalah suatu siklus yang terus menerus pada proses model simulasi. Replikasi dilakukan lebih dari satu kali agar menjamin bahwa model yang dibuat mampu merepresentasikan sistem nyata. Pengertian dari jumlah replikasi adalah frekuensi hasil simulasi suatu model. Parameter yang digunakan untuk menentukan jumlah replikasi adalah *average flowtime*.

Terlebih dahulu ditetapkan nilai  $\alpha$  (nilai *confidence interval*) dan nilai  $\gamma$  untuk menetapkan jumlah replikasi. Nilai  $\alpha$  yang digunakan adalah 0,1 dan nilai  $\gamma$  yang digunakan adalah 0,1. Didapatkan kemungkinan 0,1 nilai *mean* ( $\mu$ ) akan berada diluar *range*  $\bar{x} \pm \sigma$  dengan nilai  $\alpha$  sebesar 0,1. Nilai  $\sigma$  merupakan standar deviasi. Nilai  $\gamma$  merupakan lambang penyimpangan nilai  $\bar{x}$  dari *mean*

( $\mu$ ).

Kita dapat mengetahui nilai *relative error* ( $\gamma'$ ) dengan diketahuinya nilai  $\gamma$ . Rumus yang digunakan untuk perhitungan *relative error* ( $\gamma'$ ) sebagai berikut:

$$\gamma = \left| \frac{\bar{x} - \mu}{\mu} \right| \quad \dots (3.6)$$

$$\gamma' = \left| \frac{\gamma}{1 + \gamma} \right| = \left| \frac{0,1}{1 + 0,1} \right| = 0,09 \quad \dots (3.7)$$

Rumus yang digunakan untuk menentukan jumlah replikasi adalah:

$$\frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\sigma^2(i)/i}}{|\bar{x}|} \quad \dots (3.8)$$

Banyaknya jumlah replikasi didapat dengan tercapainya kondisi:

$$n_r^*(\gamma) = \min i \geq n; \left\{ \frac{t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\sigma^2(i)/i}}{|\bar{x}|} \leq \gamma' \right\} \quad \dots (3.9)$$

Keterangan:

$n_r^*$  = jumlah replikasi

$\bar{x}_{(i)}$  = rata-rata *sample* ke- $i$

$\gamma$  = *relative error*

$\alpha$  = *confidence interval*

$\sigma$  = standar deviasi

$n$  = jumlah data

$i$  = jumlah *sample*



$t_{i-1, 1-\alpha/2}$  diperoleh dari Tabel distribusi-t  
(Law dan Kelton, 2000)

### **3.8. Verifikasi dan Validasi Simulasi**

Pembuatan suatu representasi sistem nyata yang dapat dipercaya memerlukan suatu verifikasi dan validasi model. Verifikasi adalah proses pemeriksaan kesesuaian logika operasional model (program komputer) dengan diagram alur. Law dan Kelton (2000) menyebutkan bahwa yang dimaksud dengan verifikasi adalah pemeriksaan apakah program komputer atau simulasi berjalan sesuai dengan yang diinginkan dengan pemeriksaan program komputer. Menurut Law dan Kelton (2000), validasi adalah penentuan apakah model konseptual simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang dimodelkan.

### **3.9. Software ARENA 7.01**

#### **3.9.1. Sekilas tentang Software ARENA 7.01**

Simulasi dengan ARENA menyediakan penanganan yang menyeluruh tentang konsep simulasi secara umum dan perangkat simulasi ARENA secara khususnya. Hal ini dimulai dengan pembuatan model secara mudah, animasi yang baik, model tingkat tinggi, dan dapat berkembang pada pemodelan tingkat mahir dan statistiknya (Kelton, 2000). Simulasi dengan ARENA meliputi pembuatan model dasar, analisis *input*, pembangunan pemodelan tambahan, analisis *output*, dan pemodelan tingkat mahir.

### **3.9.2. Pembangkitan Bilangan Acak dan Input Analyzer pada ARENA 7.01**

Perlu diketahui terlebih dahulu suatu distribusi probabilitas untuk melakukan simulasi dengan menggunakan data yang bersifat acak. Model simulasi biasanya didukung oleh tipe data yang berhubungan langsung dengan angka acak (*random*), sedangkan tipe data umumnya bersifat probabilistik (Djati, 2007). Pola distribusi yang seringkali digunakan adalah pola distribusi *continue*. Hal ini disebabkan tidak ada suatu sistem yang murni *discrete* ataupun murni *continue*, maka sistem didekati dengan sistem *continue* (Law dan Kelton 2000).

Simulasi komputer adalah simulasi yang dilakukan dengan komputer menggunakan perangkat lunak tertentu (Kelton, 2007). Salah satu perangkat lunak untuk simulasi komputer adalah ARENA 7.01. Pada perangkat lunak ARENA 7.01 juga terdapat fasilitas yang disebut *input analyzer* untuk mencari fungsi distribusi probabilitas dari suatu data-data. Data-data harus disimpan dalam *notepad* dalam *file* ber-extension ".dst" untuk membuat distribusi tersebut. *File* tersebut di buka di aplikasi *input analyzer* pada *software* ARENA 7.01

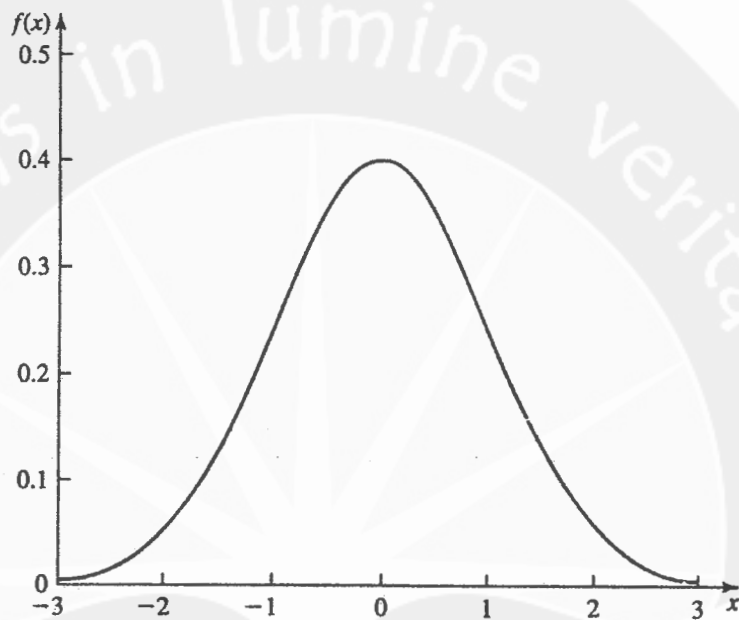
### **3.10. Distribusi Probabilitas**

Law dan Kelton (2000) menyebutkan ada beberapa macam distribusi probabilitas, antara lain:

#### **a. Distribusi Normal**

Format distribusi Normal adalah  $NORM(\text{Mean}, \text{Standard Deviation})$  atau  $NORM(\mu, \sigma)$  dengan parameter *mean* ( $\mu$ )

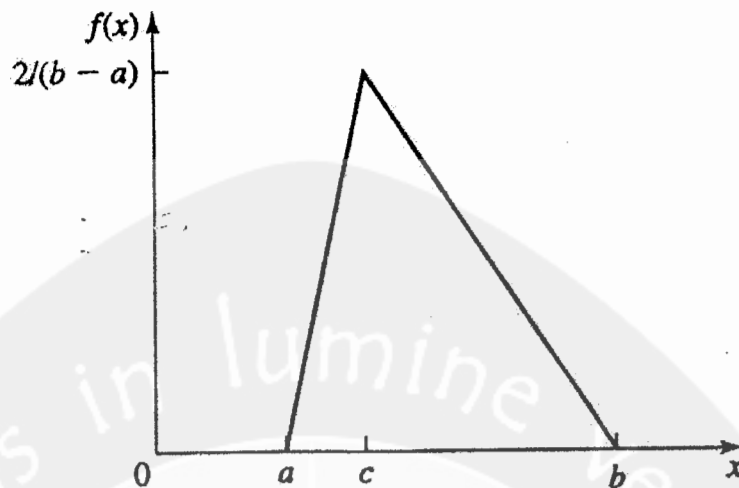
merupakan nilai riil dan skala parameter standar deviasi merupakan nilai riil yang positif. Contoh dari distribusi normal adalah  $NORM(7.03, 0.657)$  yang berarti memiliki nilai mean 7,03 dan dengan standar deviasi bernilai 0,657.



**Gambar 3.5. Probability Density Function Distribusi Normal (Law dan Kelton, 2000)**

b. Distribusi Triangular

Format distribusi Triangular adalah  $Tria(\text{Min}, \text{Mode}, \text{Max})$  atau  $Tria(a, c, b)$  dengan parameter  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  adalah nilai riil dengan ketentuan  $a < c < b$ . Distribusi ini berada diantara  $a$  sampai  $b$ . Contoh dari distribusi ini adalah  $TRIA(267, 288, 300)$  yang berarti memiliki nilai minimal 267, nilai maksimal 300, dan mode sebesar 288.



**Gambar 3.6. Probability Density Function Distribusi Triangular (Law dan Kelton, 2000)**

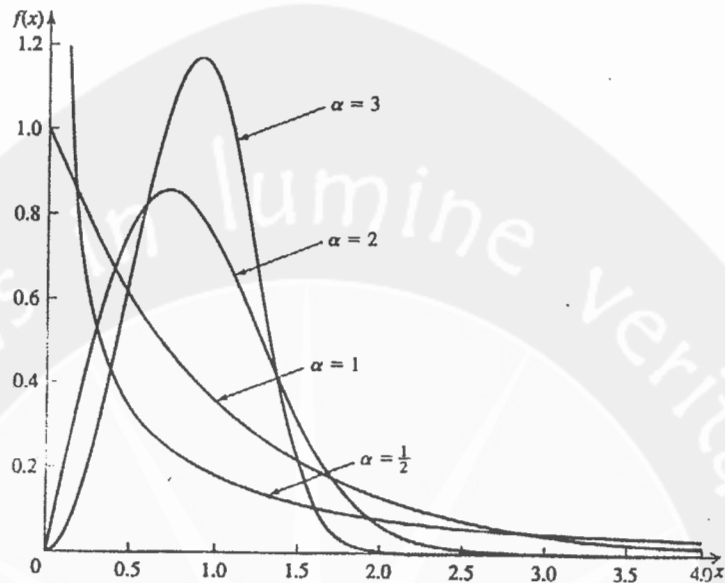
c. Distribusi Beta

Format distribusi Beta adalah *minimal data value* + BETA ( $\alpha_1, \alpha_2$ ) dimana  $\alpha > 0$ . A menentukan kemiringan dan kelengkungan *density functions*. Contoh dari distribusi ini adalah  $3.18e+003 + 588 * \text{BETA}(0.737, 1.94)$  yang berarti memiliki *minimal data value*  $3,18e+003$ , nilai  $\alpha_1$  sebesar  $0,737$ , dan nilai  $\alpha_2$  sebesar  $1,94$ .

d. Distribusi Weibull

Format distribusi Weibull adalah *minimal histogram range* + WEIB(Beta, Alpha) atau Weibull( $\beta, \alpha$ ) dengan kondisi parameter  $\alpha > 0$ . dan skala parameter  $\beta > 0$ . Distribusi ini berada diantara 0 sampai  $+\infty$  (tak hingga positif). Contoh dari distribusi ini adalah  $15.5 + \text{WEIB}(3.67, 1.78)$  dimana *minimal histogram range* bernilai

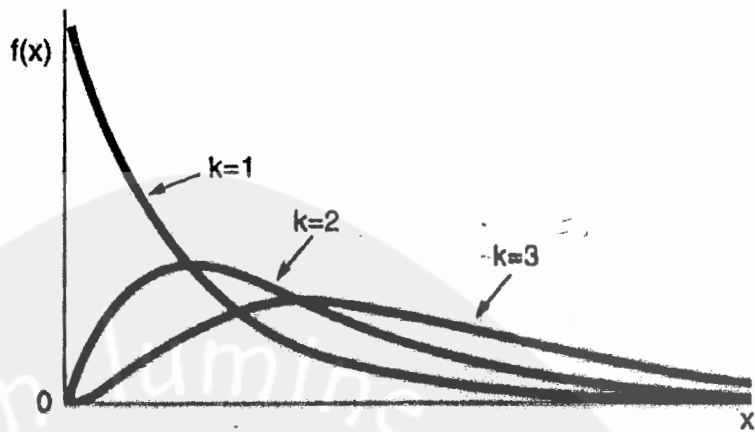
15,5 dan nilai  $\beta$  bernilai 3,67 dan nilai  $\alpha$  bernilai 1,78.



**Gambar 3.7. Probability Density Function Distribusi Weibull (Law dan Kelton, 2000)**

e. Distribusi *m*-Erlang

Format distribusi *m*-Erlang adalah *minimal histogram range* + ERLA(Mean, *k*) atau ERLA( $\beta$ , *m*) dengan parameter *mean* ( $\beta$ ) dari tiap komponen distribusi *exponential* adalah nilai riil positif, dan *variable acak exponential* (*m*) adalah bilangan bulat positif, dimana  $U_1, U_2, \dots, U_m$  adalah variabel acak *exponential* IID, dengan setiap *mean* ( $\beta/m$ ). Distribusi ini berada diantara 0 sampai  $+\infty$  (tak hingga positif). Contoh dari distribusi ini adalah 20.5 + ERLA(2.74, 4) yang berarti *minimal histogram range* adalah 20,5 dan parameter *mean* ( $\beta$ ) 2,74 serta *variable acak exponential* (*m*) 4.



**Gambar 3.8. Probability Density Function Distribusi  $m$ -  
Erlang (Law dan Kelton, 2000)**