# Bab 2
# Tinjauan Pustaka

## 2.1. Simulasi

### 2.1.1. Definisi Simulasi

Simulasi didefinisikan oleh Harrell (2004) "*from simulation perspective, a system said to consist of entities, activities, resources, and controls, these elements define the who, what, where, when and how of entity processing*", "Dari perspektif simulasi, simulasi dikatakan terdiri dari entitas, aktivitas, sumber daya dan kontrol, elemen-elemen tersebut mendefinisikan siapa, apa, di mana, kapan dan bagaimana proses dari entitas tersebut". Bisa di bilang bahwa simulasi merupakan suatu cara perbaikan menggunakan model yang meliputi entitas, aktivitas, sumber daya dan kontrol. Program yang biasa mendemonstrasikan suatu simulasi yaitu ProModel. Program tersebut pada dasarnya memiliki fungsi untuk memodelkan suatu sistem yang di buat.

### 2.1.2. Kegunaan Simulasi

Pada dasarnya kesalahan-kesalahan dalam suatu sistem atau model bisa di perbaiki. Simulasi merupakan metode yang memiliki kemampuan dalam mencoba setiap alternatif solusi kebijakan dan hasilnya dapat diketahui secara cepat dan akurat. Dalam buku harrell (2004) "kekuatan simulasi terletak pada fakta bahwa ia menyediakan suatu metode analisis yang tidak formal dan prediktif tapi juga mampu secara akurat memprediksi performansi bahkan sistem yang kompleks sekalipun"

Kelebihan simulasi tersebut merupakan nilai penting dalam mengambil keputasan tanpa resiko, karena hasil dari setiap alternatif kebijakan atau solusi dapat di prediksi secara akurat dalam waktu relatif singkat. Pada penggunaan model simulasi sebelum benar-benar di terapkan pada sistem nyata menyebabkan

berbagai masalah yang tidak terduga pada perencanaan dapat di identifikasi dan dapat langsung di cari solusinya. Dalam segi perbaikan sistem yang membutuhkan waktu lama metode simulasi hanya membutuhkan beberapa jam atau menit karena dalama simulasi ini berjalan menggunakan waktu yang di percepat. Dari segi biaya pun lebih kecil karena biaya yang di lakukan terhadap percobaan atau experimen nyata lebih besar dibandikan dengan percobaan model simulasi. Tetapi dalam penggunaan simulasi pun harus dilihat biaya dan keuntungannya. Faktanya biaya pada tahap kesalahan di lapangan lebih besar dari pada tahap konsep dan desain, dengan simulasi kesalahan-kesalahan tersbut bisa di hindari.

### 2.1.3. Jenis-jenis Simulasi

Simulasi di golongkan menjadi 3 kategori, tergantung bagaimana sifat dan cara kerjanya. Pada umumnya kategori simulasi adalah :

1. simulasi statis dan dinamis.
2. simulasi stokastik dan simulasi deteministik.
3. simulasi sistem diskrit dan simulasi sistem kontinyu.

#### 2.1.3.1. Simulasi statis dan dinamis

Pada kategori pertama simulasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu statis atau dinamis. Harrell (2004) menjelaskan simulasi statis sebagai “simulasi yang tidak berdasarkan waktu, biasanya melibatkan pengambilan sampel acak untuk menggenerasi keluaran statistik”. berdasarkan pernyataan tersebut simulasi statis tidak menyangkut perubahan waktu. Simulasi statis menggenerasi *output* yang dihasilkan melalui sampel acak dan tidak terikat waktu. Simulasi dinamis merupakan kebalikan dari simulasi statis. Jika pada simulasi statis perubahan waktu tidak berdasarkan waktu, pada simulasi dinamis kebalikannya. Harrell (2004) menyebutkan “simulasi dinamis meliputi perubahan waktu, memperhatikan perubahan status yang berubah-ubah sepanjang waktu, mekanisme jam akan bergerak sejalan waktu dan status variabel dalam simulasi berubah seiring dengan perubahan waktu tersebut”. Simulasi dinamis sesuai dengan sifatnya cocok dalam memodelkan sistem yang dinamis, seperti sistem

manufaktur ataupun sistem jasa. Simulasi antrian pembuatn paspor merupakan contoh simulasi dinamis karena melibatkan waktu dalam perubahan status variabel.

### 2.1.3.2. Simulasi Stokastik dan Simulasi Deterministik

Kategori kedua adalah simulasi stokastik dan simulasi deterministik. Simulasi stokastik atau probabilistik merupakan simulasi dimana beberapa variabel input pada simulasi bersifat acak atau *random*. Nilai variabel *input* yang bersifat acak menyebabkan *output* dari simulasi stokastik juga bersifat acak. Dalam simulasi stokastik simulasi perlu dijalankan berulang-ulang untuk mendapatkan *output* ukuran performansi sistem yang akurat. Simulasi deterministik merupakan kebalikan dari simlulasi stokastik dimana variabel input simulasi tidak ada satupun yang bersifat acak. Pada simulasi deterministik, *output* simulasi yang dihasilkan akan bersifat konstan tergantung variabel inputnya. Simulasi deterministik akan menghasilkan output yang tetap jika variablel inputnya tetap, meskipun simulasi dijalankan berulang kali. Untuk mendapatkan ukuran performansi sistem yang akurat, simulasi deterministik hanya perlu dijalankan satu kali. Simulasi antrian pembuatan paspor merupakan contoh simulasi stokastik dimana variabel-variabel inputnya bersifat acak mulai dari waktu pendaftaran, hingga waktu pelayanan pembuatan paspor.

### 2.1.3.3. Simulasi Sistem Diskrit dan Simulasi Sistem kontinyu

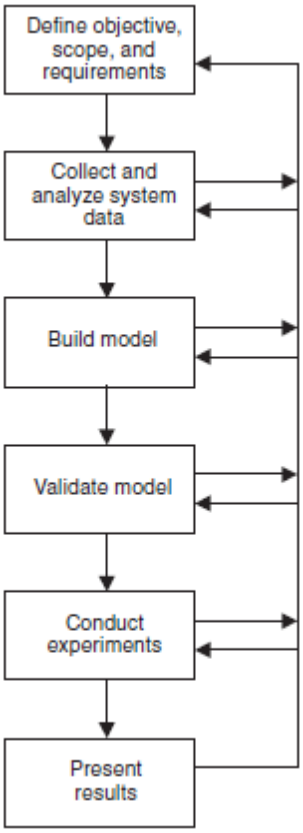
Harrel (2004) mendefinisikan simulasi sistem diskrit sebagai “simulasi dimana perubahan status terjadi pada titik-titik waktu diskrit yang di inisiasi oleh suatu kejadian atau event”. Perubahan status yang dimaksud dipicu oleh suatu kejadian yang terjadi pada suatu titik waktu. Sedangkan untuk simulasi sistem kontinyu, perubahan status variabel terjadi sepanjang waktu. Simulasi sistem kontinyu menggunakan persamaan diferensial untuk menentukan tingkat perubahan status variabelnya.

Contoh simulasi sitem kontinyu adalah simulasi pengisian bahan bakar kapal di pelabuahan, dimana perubahaan status variable, dalam hal perubahan jumlah bahan bakar pada tangki terjadi sepanjang waktu. Sedangkan contoh simulasi sistem diskrit adalah simulasi antrian, mulai dari antrian pelayanan, pembayaran, hingga antrian kendaraan di tempat parkir. Adapun program yang diperuntukan untuk pelaksanaan simulasi biasanya juga menyediakan simulasi sistem diskrit maupun kontinyu, memberikan fleksibilitas pemodel dalam memodelkan suatu sistem. Jenis simulasi juga mempengaruhi bagaimana tahapan proyek simulasi dilakukan. Tahapan atau prosedur pelaksanaan proyek simulasi akan menjadi lebih panjang jika simulasi bersifat dinamis dan stokastik, selain karena diperlukan pengumpulan dan analisis data sistem yang lebih ekstensif, juga karena hasil yang diperoleh tidak dapat langsung disajikan, diperlukan beberapa kali penjalanan model dan analisis lanjutan mengenai hasil sebelum hasil dapat disajikan dan rekomendasi dapat diusulkan.

### 2.1.4. Prosedur Simulasi

Menurut harrel (2004) " Simulasi secara esensial merupakan alat experimentasi dimana model computer dari sistem baru atau yang sudah di buat dengan tujuan untuk melakukan experimen", Shannon dalam Harrell (2004) memaparkan "pada dasarnya ketika melakukan simulasi kita berbicara mengenai proses mendisain suatu model dari sistem nyata dan melakukan experiment terhadap model ini" dengan dilakukannya experimen terhadap model mampu memberikan informasi terhadap menurunkan biaya, waktu, dan resiko. Dalam prosedur simulasi ini Harrell memberikan rekomendasi prosedur dalam simulasi, berikut prosedur yang di berikan :

1. penetuan tujuan, ruang klingkup dan kebutuhan
2. pengumpulan dan analisis data sistem
3. pembangunan model
4. validasi model
5. pelaksanaan experiment
6. persentil hasil




Gambar 2.1. tahapan pelaksanaan proyek simulasi

(sumber: harrell 2004)

Harrel (2004) menyatakan bahwa " setiap tahap tidak perlu diselesaikan secara keseluruhan untuk memulai tahap berikutnya. Prosedur dalam melakukan simulasi merukapan proses iteratif dimana setiap aktivitas disempurnakan dan kadang ditentukan ulang oleh setiapp iterasi". Dalam melakukan simulasi proses penentuan tujuan, ruang lingkup, dan kebutuhan hingga presentasi hasil dapat disempurnakan setiap kali ada tambahan informasi baru mengenai sistem yang dimodelkan, ataupun informasi tambahan berkenaan dengan proyek simulasi. Gambar 2.3 menunjukan bagaimana tahap-tahap iteratif dalam proyek simulasi.

### 2.1.4.1. Penentuan tujuan, ruang lingkup dan kebutuhan

Tahap ini merupakan fokus dalam penentuan tujuan dilaksanakannya proyek simulasi , menentukan ruang lingkup simulasi dan menentukan kebutuhan ruang lingkup simulasi yang berkaitan dengan proyek pembuatan simulasi. Menurut Harrel (2004) tujuan simulasi di kelompokan menjadi beberapa kategori umum yaitu :

1. Analisis performansi, dilakuakan untuk mengidentifikasi bagai mana performansi sistem dalam utilitas sumber daya, waktu alira, tingkat *output* dan sebagainya.
2. Analisis kapasitas, dilakukan untuk mengidentifikasi bagaimana kapasitas produksi atau proses sistem jika dipaksa bekerja secara maksimum, dan mengidentifikasi dimana terjadi *bottleneck.*
3. Perbandingan konfigurasi, dilakukan untuk mengidentifikasi bagaimana suatu konfigurasi sistem memenuhi tujuan performansi dibandingkan dengan konfigurasi yang lain.
4. Optimisasi, dilakukan untuk mengidentifikasi konfigurasi kebijakan tertentu yang dapat mencapai ukuran performansi yang lebih baik.
5. Analisis sensitivitas, dilakukan untuk mengidentifikasi variabel keputusan yang paling berpengaruh pada ukuran performansi, dan seberapa berpengaruh variabel tersebut.
6. Visualisasi, dilakukan untuk menggambarkan bagaimana memvisualisasikan suatu sistem dinamis.

Harrell (2004) menyatakan “pada dasarnya, suatu proyek simulasi dapat memiliki bermacam-macam tujuan dan termasuk kedalam beberapa kategori yang disebutkan.”

Tahap selanjutnya menetukan ruang lingkup simulasi. Harrell (2004) menjelaskan bagaimana pentingnya menetapkan ruang lingkup karena merupakan spesifikasi dari model yang dibangun, terutama dalam kaitannya dengan ekspektasi pihak lain mengenai bagian-bagian yang dimodelkan dalam simulasi. Penentuan ruang

lingkup menjadi bagian yang penting karena berkaitan dengan elemen-elemen apa saja di dalam sistem yang akan dimodelkan di dalam simulasi. Ruang lingkup harus ditentukan berkaitan dengan tujuan dilakukannya simulasi, agar model simulasi yang dibangun dipastikan dapat bekerja dalam mencapai tujuan yang ditentukan.

Tahap berikutnya menetukan kebutuhan proyek dalam hal sumber daya, waktu dan biaya yang di perlukan. Harrell (2004) berpendapat "tugas utama dalam titik ini adalah untuk mengembangkan jadwal dan rencana anggaran untuk proyek". Simulasi yang dibuat dengan baik akan terasa percuma jika dibuat dengan anggaran yang besar dan waktu pengerjaan yang lama, mengakibatkan biaya menjadi lebih besar dari keuntungan yang diharapkan. Penetapan waktu dan biaya yang tidak tepat juga dapat mengacaukan model simulasi yang dibuat, model yang dibuat dengan baik pada awal mula proyek dapat berubah bahkan menjadi tidak sesuai ketika mendekati *deadline* waktu pengerjaan.

**2.1.4.2. Pengumpulan dan analisis data sistem**

Pada proses ini Harrell menyatakan bahwa "hasil dari aktivitas pengumpulan data adalah model mental atau konseptual tentang bagaimana sistem dikonfigurasi dan bagaimana sistem beroperasi". Model konseptual tersebut dapat berbentuk sketsa dasar mengenai aliran kerja sistem, deskprisi bagaimana sistem bekerja, atau diagram aliran proses.

Pada pengumpulan data merupakan tahap yang memakan waktu lama dikarenakan berbagai hal seperti kurang nya data di lapangan, tidak ketersediaanya atau tidak memenuhi syarat untuk di jadikannya data. sehingga dalam hal ini memerlukan proses analisis, penyusunan ulang dan analisis terhadap data kemudian di saring sehingga data layak untuk digunakan.

Harrel (2004) mengatakan "seringkali aktivitas pengumpulan data berakhir dengan data yang sangat banyak namun dengan sedikit informasi yang berguna,

data harus dikumpulkan dengan hati-hati untuk menghidari kesia-siaan tidak hanya waktu pemodelan namun juga individu yang menyediakan data". Untuk menghindari waktu yang terbuang tersebut proses pengumpulan data perlu dilakukan secara sistematis, hanya mengumpulkan data yang benar-benar diperlukan dalam proyek tersebut. Untuk itu Harrell (2004) menyarankan prosedur pengumpulan data sistem yang efektif, yaitu:

1. Menetukan kebutuhan data

   Pada proses ini data dikumpulkan, Harrell (2004) membagi data menjadi data struktural, data operasional, dan data numeris5. Data struktural melibatkan seluruh objek yang akan dimodelkan, meliputi entitas, sumber daya, dan lokasi. Data operasional menunjukan bagaimana sistem beroperasi, meliputi penjadwalan, aliran kerja atau material, dan lain-lain. Sedangkan data numeris merupakan data yang bersifat kuantitatif berkaitan dengan sistem yang dimodelkan, contohnya adalah tingkat kedatangan entitas, waktu proses, dan kapasitas.

2. Mengidentifikasi sumber data

   Pada proses ini dilakukan identifikasi mengenai sumber-sumber data yang mungkin. Pada umumnya, data yang diperlukan tidak diperoleh dari satu sumber melainkan dari berbagai sumber. Harrell (2004) menjelaskan bahwa "jenis-jenis sumber yang akan digunakan pada saat pengumpulan data sebagian besar bergantung pada apakah yang disimulasikan sistem eksisting yang sudah ada atau sistem baru". Sumber data yang digunakan untuk memodelkan sistem yang sudah ada akan berbeda dengan sumber data yang digunakan untuk memodelkan sistem baru. Tergantung dari situasinya.

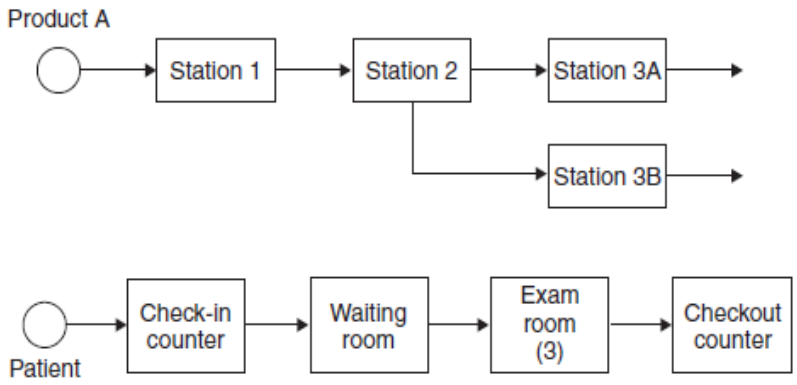
   sumber data yang baik menurut Harrell (2004) meliputi:

   1. Catatan historis, seperti produksi, penjualan, tingkat *scrap*, keandalan peralatan.

2. Dokumentasi sistem, seperti perencanaan proses, *layout* fasilitas, prosedur kerja.
3. Observasi personal, seperti kunjungan fasilitas, studi waktu, *work sampling*.
4. Wawancara personal, seperti operator, personil perawatan, insinyur, dan manajer.
5. Perbandingan dengan sistem serupa, di dalam perusahan yang sama atau dalam industri yang sama.
6. Klaim vendor, seperti waktu proses dan keandalan mesin.
7. Estimasi desain, seperti waktu proses, waktu pergerakan, dan lain-lain.
8. Literatur hasil riset, seperti hasil riset mengenai kurva belajar, dan *predetermined time studies*.

3. Mengumpulkan data

   Pada tahap ini data-data yang diperlukan yang sudah ditetapkan sebelumnya dikumpulkan. Proses mengumpulkan data dimulai dengan membuat EFD atau *entity flow diagram* yang memberikan kerangka kerja dalam mengumpulkan data yang diperlukan. EFD menggambarkan bagaimana aliran pergerakan entitas pada lokasi di dalam sistem. Contoh EFD ditunjukan oleh gambar 2.2. Langkah selanjutnya adalah mendeskripsikan operasi sistem. Seperti yang dijelaskan oleh Harrell (2004) “ketika EFD selesai dibuat, deskripsi operasi yang menjelaskan bagaimana entitas diproses sistem harus dibuat.” Deskripsi operasi dapat dibuat dalam berbagai bentuk mulai dari deskripsi naratif, prosedur bertahap, dan tabel




Gambar 2.2. Contoh EFD
(sumber: Harrell 2004)

4. Membuat asumsi

   Dalam tahap ini asumsi perlu dibuat untuk mengisi data-data yang tidak reliable atau akurat. Harrel (2004) mengatakan "tidak ada yang salah dengan asumsi ketika melakukan simulasi selama tingkat konfidensi pada hasil tidak melebihi konfidensi pada asumsi yang dibuat". Melalui penggunaan asumsi pada model sebenarnya dapat membantu proses validasi asumsi yang digunakan dengan mengamati apakah hasil simulasi menunjukan hasil yang masuk akal atau tidak.

5. Analisis data

   Data yang telah dikumpulkan perlu dianalisis agar menjadi bentuk yang dapat diinputkan pada model. Pada tahap ini dilakukan analisis mengenai data yang telah dikumpulkan. Menurut Harrell (2004) "penting untuk melakukan identifikasi hubungan sebab dan akibat, penghapusan data yang tidak relevan, isolasi waktu proses, generalisasi aktivitas-aktivitas spesifik, translasi operasi yang kompleks menjadi abstraksi sederhana, dan pemisahan antara variabel sistem dengan variabel respon." Dalam melakukan proses analisis, pengujian-pengujian statistik seringkali

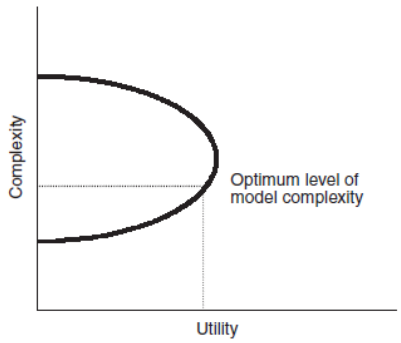
diperlukan untuk mengidentifikasi karakteristik data seperti uji independensi, uji homogenitas, dan penetapan distribusi.

6. Mendokumentasikan data

   Pada tahap ini data yang sudah di analisis dan di kumpulkan didokumentasikan dalam bentuk yang sudah dapat di inputkan padal model simulasi.

### 2.1.4.3. Pembangunan model

Model menurut Harrell (2004) merupakan "representasi realitas yang disederhanakan, dengan penekanan pada makna sederhana". Penekanan pada makna sederhana mengisyaratkan bahwa model yang dibuat tidak perlu sesuai persis dengan bagaimana operasi pada sistem nyata. Yang lebih diutamakan adalah bagaimana memandang suatu aktivitas dari pengaruhnya terhadap sistem dibandingkan dengan memandang suatu aktivitas dari detail operasinya. Harrell (2004) menjelaskan bagaimana para pemula dalam simulasi cenderung membuat model yang terlalu detail. Kesalahan ini seringkali menyebabkan model menjadi sulit untuk diverifikasi dan di-*maintain* sehingga menurunkan tingkat utilitas model itu sendiri. Untuk menghindari pembuatan model yang terlalu kompleks Lou Keller dalam Harrell (2004) menggunakan konsep kurva Laffer yang menggambarkan hubungan antara kompleksitas model dengan utilitas model. Kurva ini ditunjukan pada gambar 2.3.




Gambar 2.3. hubungan antara kompleksitas dan utilitas model (sumber: Harrell 2004)

Agar model yang dibuat tidak terlampau kompleks, diperlukan prosedur-prosedur dalam memodelkan sistem, akan lebih baik jika memandang model sebagai sistem yang terdiri dari elemen-elemen entitas, aktivitas, sumber daya dan kontrol. Pada pembangunan model menggunakan program ProModel, elemen-elemen tersebut dibagi menjadi beberapa tingkatan yaitu elemen-elemen dasar dan elemen-elemen lanjutan, elemen dasar meliputi informasi umum model, lokasi, entitas, jaringan aliran, sumber daya, proses, kedatangan, sedangkan elemen-elemen lanjutan meliputi atribut, variabel, array, subrutin, siklus kedatangan, makro, dan distribusi

**2.1.4.4. Validasi Model**

Model pada dasarnya memiliki kerentanan terhadap *error*. Proses pembuatan model yang merupakan translasi dari sistem nyata ke model konseptual kemudian ditranslasikan kembali menjadi model simulasi menyediakan banyak ruang untuk kesalahan. Untuk itu diperlukan proses verifikasi dan validasi terhadap model yang dibuat. Harrell (2004) menjelaskan perbedaan antara verifikasi dan validasi, "verifikasi model merupakan proses menentukan apakah model simulasi benar-benar merefleksikan model konseptual", sedangkan validasi model "adalah proses menentukan apakah konseptual model benar-benar merefleksikan sistem nyata". Verifikasi merupakan proses dalam menentukan apakah model yang dibuat beroperasi sesuai rancangan model konseptual yang direncanakan. Model yang sudah diverifikasi belum tentu valid, hanya saja berjalan sesuai dengan rancangan model konseptual. Ketika proses verifikasi pemodel mencari dimana letak kesalahan pada mode. Kesalahan atau *error* pada model menurut Harrell (2004) digolongkan menjadi dua kategori yaitu *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* merupakan kesalahan notasi, penulisan, atau gramatisasi pada penulisan *syntax* kata pada saat membuat model. Sedangkan *semantic error* lebih berkatian dengan kesalahan logika pada pemodel yang menyebabkan hasil model menjadi tidak masuk akal.

Untuk validasi, Harrell (2004) mengutip pendapat Hoover dan Perry (1990) yang menyebutkan validasi sebagai "proses menentukan apakah model adalah

representasi yang akurat dan berarti dari sistem nyata". Dari sudut pandang fungsional menurut Sargent (1998) yang dikutip oleh Harrell (2004) proses validasi model adalah proses membangun sebuah *output* model dimana "perilaku model cukup akurat dalam mencapai tujuan yang ditentukan dalam domain aplikabilitas model". Yang dicari dalam proses validasi bukanlah validitas model secara sempurna melainkan tingkat keyakinan pada hasil yang diperoleh. Cara yang biasa digunakan dalam validasi adalah membandingkan performansi model dengan sistem nyata. Cara yang bisa dilakukan adalah melakukan uji t *Student* untuk menentukan apakah kedua sampel data dari model dan sistem nyata berasal dari distribusi yang sama atau tidak, atau uji F untuk menguji kesamaan varian antara sistem nyata dengan model.

**2.1.4.5. Pelaksanaan experimen**

Harrell (2004) menyatakan "jumlah dan sifat dari skenario atau konfigurasi alternatif yang akan dievaluasi harus direncanakan dari awal untuk menjamin cukupnya waktu yang digunakan". Dalam memodelkan setiap skenario atau konfigurasi, jika hanya beberapa skenario yang dievaluasi, satu model dapat dibuat dan dimodifikasi untuk setiap skenario. Jika setiap konfigurasi berbeda secara signifikan model bisa dibuat lebih dari satu sesuai dengan konfigurasi skenario yang akan dievaluasi. Untuk eksperimen skenario dalam konteks perbaikan sistem lama akan lebih baik jika konfigurasi sistem awal juga dimodelkan kemudian dibandingkan bagaimana ukuran performansi sistem awal dengan ukuran performansi dari konfigurasi perbaikan yang diajukan.

**2.1.4.6. Persentil Hasil**

Harrell (2004) menjelaskan " bagaimana bentuk informasi dari hasil simulasi yang ditampilkan bergantung pada siapa hasil tersebut dipresentasikan, karena hasil bagaimana simulasi dipresentasikan akan mempengaruhi bagaimana keputusan akan diambil." Pada dasarnya simulasi harus ditampilkan se-efektif mungkin dalam membantu pengambilan keputusan. Penggunaan grafik atau diagram yang

menggambarkan hasil simulasi akan menambah kemudahan pengambil keputusan dalam menggali informasi dari simulasi yang dibuat.