Bab 2
Tinjauan Pustaka

2.1. Simulasi

2.1.1. Definisi Simulasi

Simulasi didefinisikan oleh Harrell (2004) sebagai "...imitasi dari suatu sistem dinamis yang dibuat menggunakan model komputer dengan tujuan untuk mengevaluasi dan memperbaiki performansi sistem". Sistem, dalam hal ini menurut Blanchard (1991) yang dikutip oleh Harrel (2004) adalah "sekumpulan elemen-elemen yang berfungsi bersama untuk mencapai tujuan yang diharapkan". Di dalam simulasi, sistem yang diimitasi terdiri dari sekumpulan elemen-elemen yang meliputi entitas, aktivitas, sumber daya dan kontrol[1]. Simulasi, berdasarkan pengertian tersebut merupakan suatu cara untuk melakukan evaluasi dan perbaikan suatu sistem yang meliputi entitas, aktivitas, sumber daya dan kontrol, melalui suatu imitasi model yang dibuat menggunakan program komputer. Model simulasi seringkali dibuat menggunakan program yang ditujukan khusus untuk permodelan. Beberapa program yang sering digunakan diantaranya adalah ProModel, FlexSim, ARENA, dan Simul8. Program-program tersebut pada dasarnya memiliki fungsi yang sama yaitu untuk memodelkan suatu sistem.

2.1.2. Perkembangan Simulasi

Simulasi pertama kali digunakan secara komersil pada tahun 1960-an. Model seringkali diprogram di FORTRAN dan terdiri dari ribuan baris kode.[2]

Barulah pada beberapa dekade terkahir, simulasi mulai berkembang secara signifikan. Perkembangan teknologi yang semakin pesat merupakan salah satu sebab terbesar perkembangan simulasi. Pengembangan kapabilitas komputer dalam

[1] "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 entitiy processing" (Harrel 2004, hal-25)

[2]

mengolah data membuat proses pembuatan model simulasi menjadi lebih cepat. Selain itu perkembangan program-program simulasi juga menjadikan simulasi tidak hanya alat yang hanya dapat digunakan oleh para ahli simulasi seperti yang dijelaskan oleh Harrel (2004) bahwa "ketersediaan program-program simulasi yang *easy-to-use* membuat simulasi tidak hanya lebih aksesibel, tapi juga lebih menarik bagi para perencana dan manajer yang cenderung menghindari berbagai solusi yang tampak terlalu kompleks".

Perkembangan simulasi yang demikian pesat menjadikan simulasi semakin banyak digunakan dalam bisnis baik bidang manufaktur maupun jasa. Sistem manufaktur yang mencakup sistem produksi, sistem pergudangan, dan sistem distribusi merupakan sistem yang cocok untuk dimodelkan. Sistem-sistem tersebut beresiko tinggi terhadap kondisi proses bisnis perusahaan jika operasinya tidak direncanakan dengan baik. Harrell (2004) mengutip Harrington yang menjelaskan bahwa "80 persen dari seluruh proses bisnis adalah proses repetitif dan dapat dianalisis menggunakan analisis yang sama yang digunakan untuk perbaikan sistem manufaktur".

Sehingga didasarkan pada anggapan tersebut, penggunaan simulasi dalam mendesain dan memperbaiki sistem diperkirakan akan terus meningkat dikarenakan fleksibilitas dan kemampuannya dalam evaluasi dan perbaikan sistem. Dalam ruang lingkup yang lebih kecil, simulasi juga dapat digunakan oleh para *management trainee* dalam mengasah kemampuannya dalam pengambilan keputusan. Peran simulasi dalam mendukung suatu pengambilan keputusan dapat diaplikasikan dalam berbagai area evaluasi dan perbaikan sistem baik jasa maupun manufaktur.

2.1.3. Kelebihan Simulasi

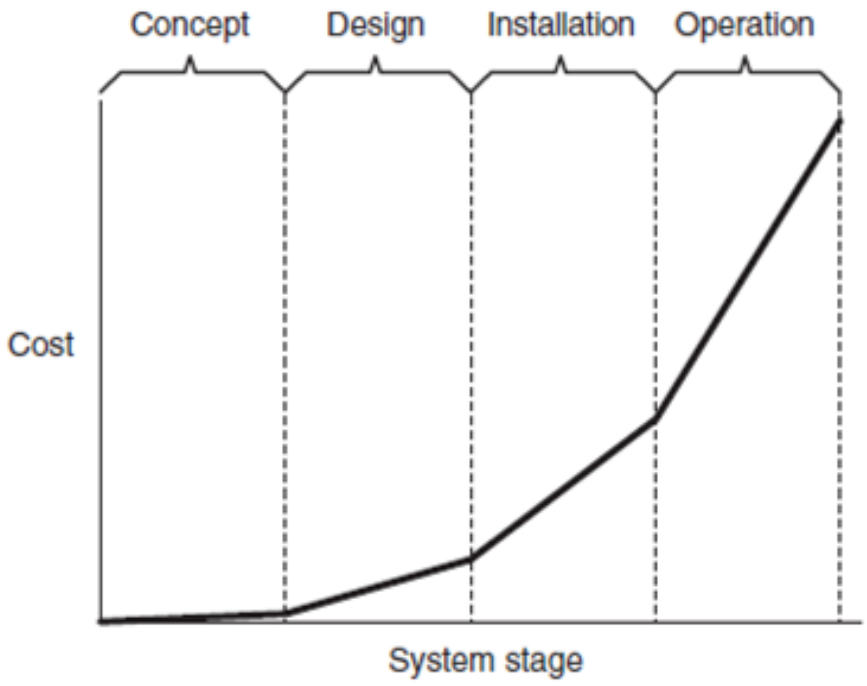
Dengan tingkat persaingan yang tinggi saat ini, metode lama seperti *trial and error* sudah tidak lagi relevan dalam dunia bisnis. Metode *trial and error* memakan banyak biaya dan waktu terutama dalam validasi dan evaluasi hasil yang diperoleh.

Simulasi merupakan alat yang mampu mengatasi permasalahan tersebut. Simulasi memiliki kemampuan dalam mencoba setiap alternatif solusi atau kebijakan dan hasilnya dapat diketahui dengan cepat dan akurat. Harrell (2004) menjelaskan "Kekuatan simulasi terletak pada fakta bahwa ia menyediakan suatu metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif tapi juga mampu secara akurat memprediksi performansi bahkan sistem yang paling kompleks sekalipun".

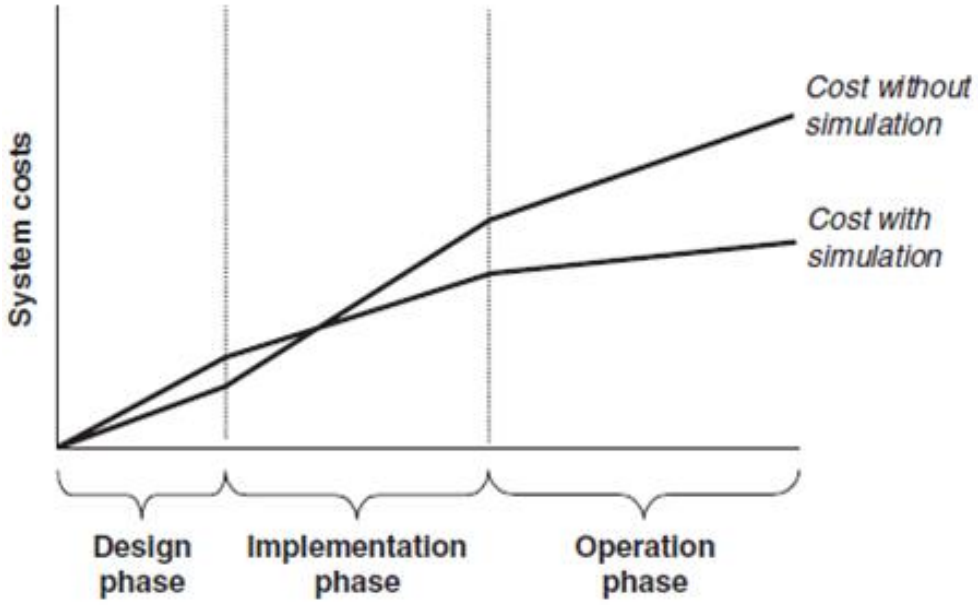
Kelebihan inilah yang akan sangat membantu manajemen dalam mengambil keputusan karena hasil dari setiap alternatif kebijakan atau solusi dapat diprediksi secara akurat dalam waktu yang relatif singkat, sehingga memungkinkan percobaan setiap alternatif dilakukan tanpa resiko yang muncul ketika implementasi langsung pada sistem nyata. Dalam bidang perencanaan, melalui penggunaan model simulasi, sistem yang akan dibangun dapat diprediksi operasi dan performansinya sebelum benar-benar diimplementasikan pada sistem nyata. Hal ini menyebabkan berbagai masalah yang tidak terduga pada saat perencanaan dapat diidentifikasi dan dapat langsung dicari solusinya. Selain itu, dalam hal perbaikan sistem, setiap alternatif yang diusulkan dapat dicoba dalam waktu yang jauh lebih singkat karena simulasi berjalan menggunakan waktu yang dipercepat, percobaan yang diperlukan waktu beberapa minggu dapat disimulasikan dalam beberapa jam atau beberapa menit.

Kelebihan lain dari simulasi adalah efisiensi dari segi biaya. Biaya yang dilakukan untuk melakukan percobaan atau eksperimen terhadap sistem nyata lebih besar dibandingkan dengan percobaan pada model simulasi. Namun dalam penggunaannnya, simulasi tetap harus memperhatikan biaya dan keuntungan yang diberikan. Simulasi seharusnya tidak digunakan apabila biaya proyeknya lebih besar dari keuntungan yang dihasilkan. Gambar 2.1 menunjukan bagaimana perkembangan biaya proyek sistem pada setiap tahap, terlihat bahwa biaya yang muncul akibat kesalahan pada tahap operasional jauh lebih besar dari tahap konsep dan desain, ini menunjukan urgensi untuk memprediksi dan menyelesaikan masalah yang muncul pada tahap operasional di tahap desain. Keuntungan dalam proyek

simulasi biasanya berupa penghematan-penghematan biaya. Pada gambar 2.2, penghematan dapat terlihat bersumber dari identifikasi dan eliminasi masalah yang menyebabkan beban biaya berlebih pada saat tahap implementasi dan operasional. Selain itu juga dari berkurangnya biaya melalui eliminasi desain yang berlebihan. Disamping itu, terdapat kesulitan dalam mengembangkan analisis ekonomi dari simulasi, ini dikarenakan biasanya tidak diketahui terlebih dahulu berapa penghematan yang dilakukan hingga kebijakan benar-benar diimplementasikan. "Identifikasi awal penghematan yang dilakukan akan berdampak pada analisis pengembalian investasi atau ROI yang lebih baik" (Harrell 2004).



Gambar 2.1. Grafik biaya tahapan proyek sistem
(Sumber: Harrell 2004)



Gambar 2.2. Perbandingan biaya proyek sistem dengan dan tanpa simulasi
(Sumber: Harrell 2004)

2.1.4. Jenis-jenis Simulasi

Simulasi digolongkan menjadi beberapa kategori, tergantung bagaimana sifat dan cara kerjanya. Kategori simulasi pada umumnya adalah:

1. Simulasi statis atau simulasi dinamis
2. Simulasi stokastik atau simulasi deterministik
3. Simulasi sistem diskrit atau simulasi sistem kontinyu

2.1.4.1. Simulasi Statis dan Simulasi Dinamis

Pada kategori pertama simulasi terbagi menjadi dua jenis, yaitu yang bersifat statis atau dinamis. Harrell (2004) menjelaskan simulasi statis sebagai "simulasi yang tidak berdasarkan waktu, biasanya melibatkan pengambilan sampel acak untuk menggenerasi keluaran statistik". Simulasi statis berdasarkan pernyataan tersebut tidak menyangkut perubahan keadaan sistem seiring waktu. Simulasi statis menggenerasi *output* yang dihasilkan melalui bilangan acak hanya pada waktu tertentu ketika generasi bilangan acak dilakukan. Simulasi dinamis pada prinsipnya berkebalikan dengan simulasi statis. Jika pada simulasi statis perubahan waktu tidak

dilibatkan, pada simulasi dinamis justru sebaliknya. 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 pula, seperti sistem manufaktur ataupun sistem jasa. Simulasi gerbang tol merupakan contoh simulasi dinamis karena melibatkan waktu dalam perubahan status variabel.

2.1.4.2. 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*[3]. 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. Model simulasi gerbang tol merupakan contoh simulasi stokastik dimana variabel-variabel inputnya bersifat acak mulai dari lalu lintas kendaraan, hingga waktu pembayaran tol.

2.1.4.3. 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 diinisiasi oleh suatu kejadian atau *event*". Perubahan status yang dimaksud dipicu oleh suatu kejadian

[3] "Simulations in which one or more input variables are random are referred to as stochastic or probabilistic simulations" (Harrell 2004, Hal-48)

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 sistem kontinyu adalah simulasi pengisian isi truk bahan bakar, dimana perubahan status variabel, dalam hal ini perubahan jumlah bahan bakar dalam tangki terjadi sepanjang waktu. Sedangkan contoh simulasi sistem diskrit adalah simulasi lantai produksi dan simulasi antrian, mulai dari antrian pelayanan teller di bank, pembayaran di kasir, hingga antrian kendaraan di lampu merah ataupun antrian kendaraan di gerbang tol. Adapun program yang diperuntukan untuk pelaksanaan simulasi biasanya juga menyediakan simulasi sistem diskrit maupun kontinyu, memberikan fleksibilitas pemodel dalam memodelkan suatu sistem.

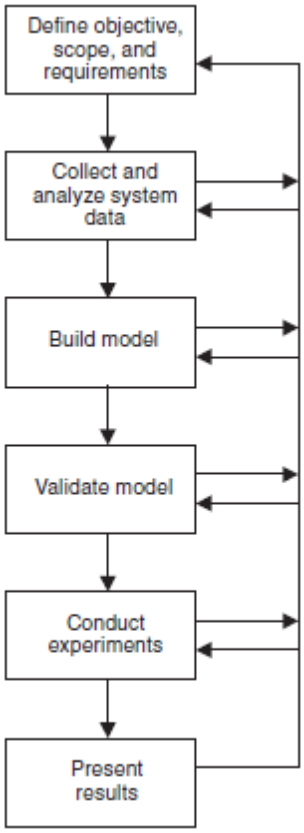
Jenis simulasi juga mempengaruhi bagaimana tahapan proyek simulasi dilakukan. Tahapan atau prosedur pelaksanaan proyek simulasi akan menjadi lebih panjang jika simulasi bersifat dinamis dan stokastik, selain karena diperlukan pengumpulan dan analisis data sistem yang lebih ekstensif, juga karena hasil yang diperoleh tidak dapat langsung disajikan, diperlukan beberapa kali penjalanan model dan analisis lanjutan mengenai hasil sebelum hasil dapat disajikan dan rekomendasi dapat diusulkan.

2.1.5. Prosedur Simulasi

Pada simulasi dinamis dan stokastik, prosedur simulasi dimulai dengan mengembangkan model untuk beberapa alternatif solusi, lalu model dijalankan untuk beberapa waktu sesuai dengan keperluan. Informasi mengenai performasi sistem dikumpulkan pada saat model berjalan dan dilaporkan pada saat akhir proses. Menurut Harrell (2004) “Simulasi secara esensial merupakan alat eksperimentasi dimana model komputer dari sistem baru atau yang sudah ada dibuat dengan tujuan untuk melakukan eksperimen". Shannon dalam Harrel (2004)

memaparkan “pada dasarnya ketika melakukan simulasi kita berbicara mengenai proses mendesain suatu model dari sistem nyata dan melakukan eksperimen terhadap model ini”. Dengan dilakukannya eksperimen terhadap model, mampu menurunkan biaya, waktu, dan resiko apabila eksperimen dilakukan langsung pada sistem nyata. Harrel (2004) juga memberikan rekomendasi prosedur dalam simulasi, berikut adalah prosedur yang direkomendasikan:

1. Penentuan tujuan, ruang lingkup, dan kebutuhan
2. Pengumpulan dan analisis data sistem
3. Pembangunan model
4. Validasi model
5. Pelaksanaan eksperimen
6. Presentasi hasil



Gambar 2.3. Tahap pelaksanaan proyek simulasi

(Sumber: Harrell 2004)

Harrell (2004) juga menyatakan bahwa “Setiap tahap tidak perlu diselesaikan secaraa keseluruhan untuk memulai tahap berikutnya. Prosedur dalam melakukan simulasi merupakan proses iteratif dimana setiap aktivitas disempurnakan dan kadang ditentukan ulang pada setiap 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.

2.1.5.1. Penentuan Tujuan, Ruang Lingkup, dan Kebutuhan

Pada tahap ini yang menjadi fokus utama adalah menentukan tujuan dilaksanakannya proyek simulasi, menentukan ruang lingkup simulasi, dan menentukan kebutuhan apa saja yang diperlukan berkaitan dengan proyek seperti waktu, sumber daya, dan dana. Tahap pertama adalah menentukan tujuan simulasi, tujuan yang ditentukan harus realistis dan memungkinkan untuk dicapai. Penentuan tujaun yang tidak realistis dapat menyebabkan keterlambatan waktu pengerjaan jika sudah ditetapkan sebelum proyek diinisiasi. Menurut Harrell (2004) tujuan simulasi dikelompokan menjadi beberapa kategori umum yaitu:

1. Analisis performansi, dilakukan untuk mengidentifikasi bagaimana performansi sistem dalam hal utilisasi sumber daya, waktu aliran, 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." Sebagai contoh adalah studi optimisasi, meskipun proyek simulasi mengisyaratkan suatu studi optimisasi namun di dalamnya juga dapat mencakup visualisasi, perbandingan konfigurasi dan analisis sensitivitas.

Tahap selanjutnya adalah menentukan ruang lingkup proyek 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.[4] 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 merupakan penentuan kebutuhan proyek. Setelah tujuan dan ruang lingkup ditentukan, langkah selanjutnya adalah menentukan kebutuhan proyek dalam hal sumber daya, waktu, dan biaya yang diperlukan. 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,

[4] "The scope of work is important for guiding the stuy as well as providing a specification of the work to be done upon which all can agree. The scope is essentially a project specification that helps set expectations by clarifying to others exactly what the simulation will include and exclude." (Harrel 2004, hal-112)

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.

2.1.5.2. Pengumpulan dan Analisis Data Sistem

Ketika tujuan, ruang lingkup dan kebutuhan telah diidentifikasi, prosedur berikutnya adalah melakukan pengumpulan dan analisis data sistem. Harrell (2004) 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.

Pengumpulan data merupakan tahap yang memakan waktu paling lama dari tahap lain dalam prosedur pelaksanaan proyek simulasi. Hal ini dikarenakan beberapa hal, pertama ketika tidak tersedianya data yang diperlukan sehingga diperlukan pengamatan langsung pada sistem. Kedua data tersedia namun tidak dalam bentuk yang diperlukan, sehingga diperlukan proses analisis, sortir, penyusunan ulang, penyaringan dan perubahan format hingga data layak digunakan.

Harrel (2004) menyebutkan "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 kesia-siaan waktu tersebut proses pengumpulan data perlu dilakukan secara sistematis, hanya mengumpulkan data yang benar-benar diperlukan dalam proyek. Untuk itu Harrell (2004) menyarankan prosedur pengumpulan data sistem yang efektif, yaitu:

1. Menentukan kebutuhan data

   Pada proses ini data dikumpulkan, Harrell (2004) membagi data menjadi data struktural, data operasional, dan data numeris[5]. 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:

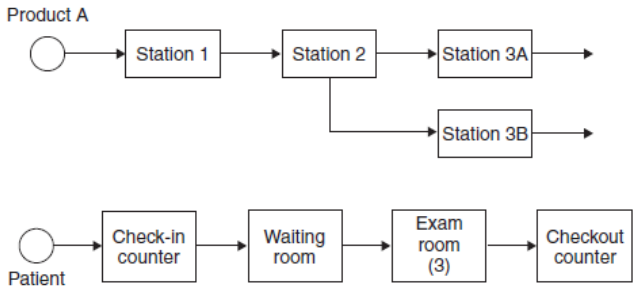
   1. Catatan historis, seperti produksi, penjualan, tingkat *scrap*, keandalan peralatan.
   2. Dokumentasi sistem, seperti perencanaan proses, *layout* fasilitas, prosedur kerja.
   3. Observasi personal, seperti kunjungan fasilitas, studi waktu, *work sampling*.
   4. Wawancara personal, seperti operator, personil perawatan, insinyur, dan manajer.

[5] Dapat dilihat di Simulation Using Promodel 2nd Edition, Harrel 2004 hal: 128-129

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[6]. EFD menggambarkan bagaimana aliran pergerakan entitas pada lokasi di dalam sistem. Contoh EFD ditunjukan oleh gambar 2.4. 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 2.4. Contoh EFD

(Sumber: Harrell 2004)

[6] "the first area of focus in data collection should be defining the basic entity flow through the system. This establishes a skeletal framework to which additional data can be attached. The entity flow is defined by following the entity movement through the system, taking the perspective of the entity itself. The overall entity flow is best described using an entity flow diagram (see Figure 6.1) or perhaps by superimposing the entity flow on an actual layout of the system." (Harrell 2004, Hal: 131)

4. Membuat asumsi

   Asumsi seringkai perlu dibuat, jika data yang diperlukan ternyata tidak tersedia atau tidak reliabel. Hal ini sering terjadi ketika memodelkan sistem baru dimana data-data yang diperlukan cenderung lebih sulit untuk diperoleh. Ketidakreliabelan data berdampak pada validitas model yang dibuat. Model yang valid bergantung pada sebearapa akurat dan reliabel data yang digunakan. Asumsi dalam hal ini perlu dibuat untuk mengisi data-data yang tidak reliabel atau akurat. Harrell (2004) menyatakan "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. Pada tahap ini 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[7]. Dalam melakukan proses analisis, pengujian-pengujian statistik seringkali diperlukan untuk mengidentifikasi karakteristik data seperti uji independensi, uji homogenitas, dan penetapan distribusi.

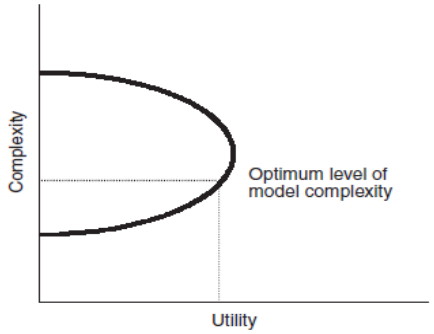
[7] "Triggering events and other cause-and-effect relationships need to be identified. Irrelevant or insignificant data need to be discarded. Actual activity times need to be isolated from system-caused delays. The numerous instances of a particular activity need to be generalized into a few defining patterns. Complex operation descriptions need to be translated into simplified abstractions. Input or defining system variables need to be separated from output or response variables. Finally, summarized historical data should be projected forward to the time period being studied by the simulation" (Harrell 2004 hal: 135)

6. Mendokumentasikan data

   Pada tahap ini data yang telah dikumpulkan dan dianalisis didokumentasikan dalam bentuk yang sudah dapat diinputkan pada model simulasi.

2.1.5.3. 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[8]. 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 2.5.



Gambar 2.5. Hubungan antara kompleksitas dan utilitas model

(Sumber: Harrell 2004)

[8] "Most models, especially those built by beginners, tend to err on the side of being overly detailed rather than being too general. The tendency is to reproduce the precise way that the system operates (sometimes referred to as *emulation*)" (Harrell 2004 hal: 174)

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[9].

2.1.5.4. 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*[10]. *Syntax error* merupakan kesalahan notasi, penulisan, atau gramatisasi pada penulisan *syntax* kata pada saat membuat model. Sedangkan *semantic error* lebih berkatian

[9] Selengkapnya dapat dilihat di ProModel 2014 User Guide hal: 74, 137, dan 295

[10] "In essence, verification is the process of debugging the model. A verified model is a bug-free model. Errors or bugs in a simulation model are of two types: syntax errors and semantic errors." (Harrell 2004, hal: 206)

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[11].

2.1.5.5. Pelaksanaan Eksperimen

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,

[11] "A common method of validating a model of an existing system is to compare the model performance with that of the actual system. This approach requires that an as-is simulation be built that corresponds to the current system. This helps "calibrate" the model so that it can be used for simulating variations of the same model. After running the as-is simulation, the performance data are compared to those of the real-world system. If sufficient data are available on a performance measure of the real system, a statistical test can be applied called the Student's *t* test to determine whether the sampled data sets from both the model and the actual system come from the same distribution. An *F* test can be performed to test the equality of variances of the real system and the simulation model." (Harrell 2004, hal: 214)

akan lebih baik jika konfigurasi sistem awal juga dimodelkan kemudian dibandingkan bagaimana ukuran performansi sistem awal dengan ukuran performansi dari konfigurasi perbaikan yang diajukan.

2.1.5.6. Presentasi Hasil

Bentuk dari hasil yang dipresentasikan berpengaruh secara signifikan terhadap waktu dalam pelaksanaan simulasi. Seringkali pada pelaksanaan proyek simulasi, hasil mensyaratkan visualisasi detail dari model yang dibuat, hal ini memerlukan waktu tambahan dari saat eksperimen selesai dilakukan. 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.[12] Pada dasarnya simulasi harus ditampilkan seefektif 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.

2.2. Analisis Statistik dalam Simulasi

2.2.1. Uji Independensi Data

2.2.2. Uji Homogeneitas Data

2.2.3. Distribusi Data

2.2.3.1. Jenis-jenis Distribusi

2.2.3.1.1. Distribusi.....

2.2.3.1.2. Distribusi.....

2.2.3.1.3. Distribusi.....

2.2.3.1.4. Distribusi.....

2.2.3.1.5. Distribusi.....

2.2.3.1.6. Distribusi.....

---

[12] "The key to determining the kind and quantity of information to present to the decision maker or stakeholder is to ask what decision is being made with the simulation and what the background is of the person(s) who will be making the decision. Attention should then be focused on providing adequate information and effective visualization to enable the right decision to be made."

2.2.3.2. Penetapan Distribusi Data

2.2.4. Penetapan Jumlah Replikasi

2.2.5. Pengujian Validitas

2.2.5.1. Uji t *Student* Dua Sampel

2.2.5.2. Uji F

2.3. Pembuatan Simulasi Menggunakan ProModel

2.5.1. Elemen-elemen Dasar

2.5.1.1. General Information

2.5.1.1. Locations

2.5.1.2. Entities

2.5.2. Elemen-elemen Lanjutan

2.4. Sistem Antrian

2.5. Sistem Antrian Gerbang Tol