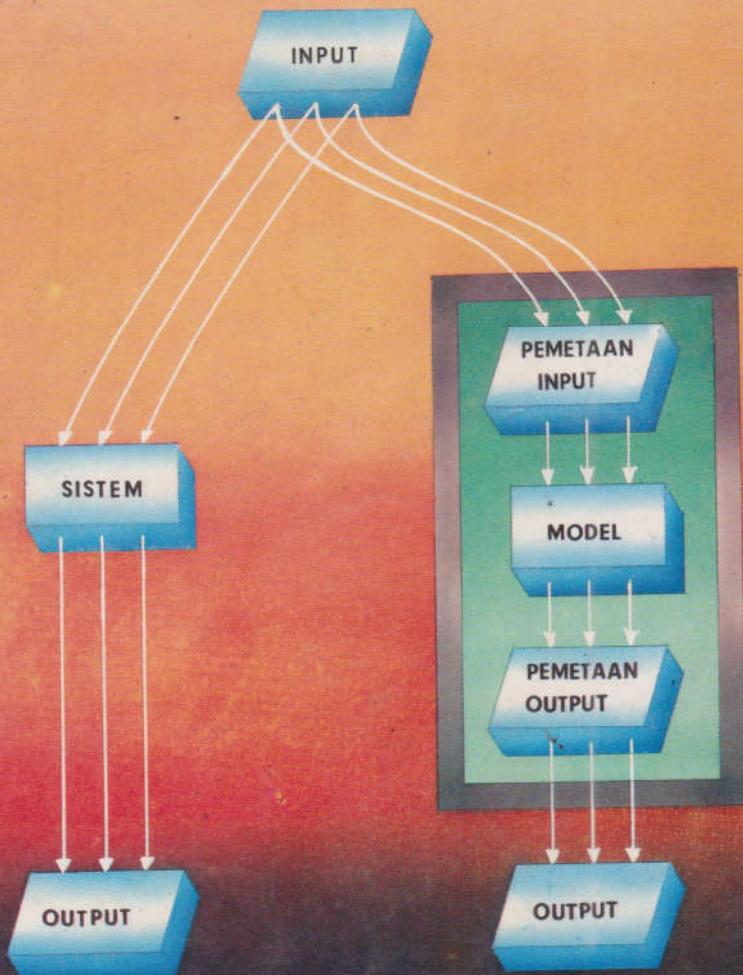


Dr. Ir. Vincent Gaspersz, M.Sc.

# ANALISIS SISTEM TERAPAN

BERDASARKAN PENDEKATAN  
TEKNIK INDUSTRI



Penerbit „TARSITO” Bandung

BUKU-BUKU TERBITAN  
PENERBIT "TARSITO"  
JLN. GUNTUR NO. 20 TELP. 304915  
BANDUNG

BUKU-BUKU KARANGAN DR. Ir. Vincent Gaspersz, M.Sc.  
YANG DITERBITKAN PENERBIT TARSITO, Jl. Guntur  
No. 20, Bandung, Telp. (022) 304915

1. ANALISIS KUANTITATIF UNTUK PERENCANAAN ..... Rp. ....
2. TEKNIK PENARIKAN CONTOH UNTUK PENELITIAN SURVEI ..... Rp. ....
3. EKONOMETRIKA TERAPAN 1
4. EKONOMETRIKA TERAPAN 2 ..... Rp. ....
5. TEKNIK ANALISIS DALAM PENELITIAN PERCOBAAN 1 ..... Rp. ....
6. TEKNIK ANALISIS DALAM PENELITIAN PERCOBAAN 2 ..... Rp. ....
7. ANALISIS SISTEM TERAPAN BERDASARKAN PENDEKATAN TEKNIK INDUSTRI ..... Rp. ....

BUKU-BUKU TERSEBUT DAPAT DIBELI DI TOKO BUKU LANGGANAN/  
PERWAKILAN PENERBIT TARSITO DI KOTA ANDA, ATAU MEMESAN  
LANGSUNG KE :

PENERBIT TARSITO,  
Jl. Guntur No. 20 Bandung, Telp. (022) 304915

ISBN 979-8903-34-x

Gaspersz, Vincent

Analisis Sistem Terapan : berdasarkan pendekatan teknik industri/  
Vincent Gaspersz. - Ed. 1. -- Bandung : Tarsito, 1996.

vi, 672 hlm. ; 21 cm.

ISBN 979-8903-34-x

1. Analisis 1. Judul

004.2

Edisi Pertama, Cetak Ulang Penerbit "TARSITO" 1996

*Dilarang memperbanyak, menjiplak,  
sebagian atau seluruhnya dalam bentuk  
apapun tanpa seizin tertulis Penerbit.*

ANGGOTA IKAPI  
030/JBA (I)



Hak Cipta (C) 1996

Dilindungi Undang-undang

Hak Penerbit dipegang Penerbit "TARSITO" Bandung.

## KATA PENGANTAR (Cetak Ulang Edisi pertama)

Buku Analisis Sistem Terapan berdasarkan pendekatan teknik industri edisi pertama ini, untuk memenuhi permintaan para peminat kami Cetak ulang lagi. Pada Cetak ulang ini boleh dikatakan tidak ada perubahan isi, hanya pada kesempatan ini kami lakukan perbaikan seperlunya. Selain itu juga pada Cetak ulang ini telah dicantumkan ISBN yang terdaftar pada Perpustakaan Nasional Katalog Dalam Terbitan (KDT).

Semoga usaha kami ini dapat kiranya membantu dan bermanfaat bagi para pemakai buku ini di bidangnya masing-masing.

Bandung, September 1996

Penerbit

## KATA PENGANTAR

Dalam dasawarsa terakhir ini, metodologi analisis sistem telah berkembang pesat dan dipergunakan secara luas dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan, lapangan industri, militer, dan lain-lain, yang pada dasarnya untuk dijadikan sebagai suatu panduan dalam mengambil keputusan yang didasarkan pada studi-studi analitik secara sistematis.

Menyadari pentingnya metodologi analisis sistem serta mengingat di Indonesia belum banyak buku teks berbahasa Indonesia yang membahas tentang aspek ini, maka mendorong penulis yang secara kebetulan mendalami bidang ini untuk menyebarluaskan hal-hal mendasar yang berkaitan dengan analisis sistem. Atas dasar itu, penulis mengemukakan buku berjudul : *ANALISIS SISTEM TERAPAN BERDASARKAN PENDEKATAN TEKNIK INDUSTRI*. Buku ini bersifat terapan serta mengambil kasus-kasus industri dengan maksud agar dapat dipergunakan secara luas oleh berbagai kalangan, baik ilmuwan maupun praktisi. Meskipun kasus-kasus yang dikemukakan adalah bidang industri, namun pada dasarnya prinsip-prinsip analisis sistem dapat diterapkan dalam semua bidang, dengan demikian buku ini akan dapat dimanfaatkan pula secara luas untuk analisis permasalahan bidang-bidang lain berdasarkan pendekatan sistem.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada anggota keluarganya yang telah memberikan dukungan penuh selama penulisan buku ini, yaitu: dokter Christine, Albert Ganesha, dan Aldo Varian (isteri dan anak-anak penulis). Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Drs. Trianus Sitorus, atas kesediaannya menerbitkan buku ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tidak ada hasil karya yang sempurna, oleh karena itu berbagai kritik dan saran yang akan dilontarkan pembaca demi menyempurnakan isi buku ini akan disambut dengan senang hati dan untuk itu diucapkan terima kasih.

Akhirnya kepada ALMA-MATER INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG (ITB), buku ini dipersembahkan.

Kampus Ganesha, ITB, Januari 1992

Vincent Gaspersz

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	iii
<b>BAGIAN PERTAMA: PENDAHULUAN</b>	
<b>BAB I</b>	
<b>PENGANTAR MEMAHAMI STUDI TEKNIK INDUSTRI</b>	
1.1. Sejarah Singkat Perkembangan Studi Teknik Industri .....	1
1.2. Pendekatan Teknik Industri dalam Analisis dan Perancangan Sistem .....	7
<b>BAGIAN KEDUA: PENGANTAR MEMAHAMI KONSEP SISTEM</b>	
<b>BAB II</b>	
<b>KONSEP DASAR SISTEM</b>	
2.1. Definisi Sistem .....	11
2.2. Klasifikasi Sistem .....	21
2.3. Jenis-jenis Permasalahan Mengenai Sistem .....	24
2.4. Tinjauan Singkat Tentang Pemodelan Sistem .....	45
2.5. Pengendalian Umpan Balik dalam Sistem .....	56
<b>BAGIAN KETIGA: ALAT-ALAT UNTUK ANALISIS SISTEM</b>	
<b>BAB III</b>	
<b>MODEL-MODEL DALAM PEMBUATAN KEPUTUSAN</b>	
3.1. Pengantar .....	59
3.2. Pembuatan Keputusan di Bawah Risiko .....	59
3.3. Pembuatan Keputusan di Bawah Kondisi Ketidakpastian .....	94
<b>BAB IV</b>	
<b>MODEL-MODEL UNTUK EVALUASI PROYEK</b>	
4.1. Pengantar .....	104
4.2. Pengaruh Waktu Terhadap Nilai Uang .....	106
4.3. Kriteria Evaluasi Proyek Industri .....	108
4.4. Analisis Break-Even (Break-Even Analysis) .....	139
4.5. Analisis Break Even di Bawah Risiko .....	148

**BAB V**  
**MODEL-MODEL INVENTORI**

5.1.	Pengantar	151
5.2.	Model Kuantitas Pesanan Ekonomis (EOQ Model)	151
5.3.	Analisis Sensitivitas	159
5.4.	Model EOQ yang Mempertimbangkan Adanya Discount Kuantitas	163
5.5.	Hubungan antara EOQ dan Titik Pemesanan Kembali	166
5.6.	Penentuan Tingkat Pemesanan Kembali untuk Permintaan Selama Waktu Menunggu Berdistribusi Normal	169

**BAB VI**  
**MODEL INPUT-OUTPUT**

6.1.	Pengantar	176
6.2.	Model Input-Output Leontief	176

**BAB VII**  
**MODEL-MODEL OPTIMASI**

7.1.	Pengantar	201
7.2.	Tinjauan Umum Teori Optimasi Klasik Secara Singkat	201
7.3.	Penggunaan Model Optimasi Klasik Tanpa Kendala	208
7.4.	Optimasi Berkendala Menggunakan Model Pemrograman Linear	221
7.5.	Tinjauan Teoritik Pemodelan Struktur Produksi Optimum Secara Makro	257
7.6.	Optimasi Berkendala Menggunakan Model Pemrograman Nonlinear	262
7.7.	Model Optimasi Menggunakan Pemrograman Dinamik	274
7.8.	Solusi Masalah Pemrograman Linear Menggunakan Teknik Pemrograman Dinamik	283

**BAB VIII**  
**MODEL PENGUKURAN PRODUKTIVITAS  
PADA TINGKAT PERUSAHAAN**

8.1.	Pengantar	288
8.2.	Pendekatan Rasio Output/Input	289
8.3.	Pendekatan Angka Indeks	292

**BAB IX**  
**MODEL-MODEL ANTRIAN**

9.1.	Pengantar	312
9.2.	Struktur Sistem Antrian (Sistem Pelayanan)	312
9.3.	Model Antrian Saluran-Tunggal	314
9.4.	Model Antrian Saluran-Ganda	322

**BAB X**  
**MODEL-MODEL JARINGAN**

10.1.	Pengantar	326
10.2.	Penggunaan Peta Gantt	326
10.3.	Representasi Diagram Jaringan	328
10.4.	Perhitungan Lintasan Kritis	332
10.5.	Penggunaan CPM	341
10.6.	Penggunaan PERT	347

**BAB XI**  
**MODEL-MODEL DALAM PENGENDALIAN MUTU TERPADU**

11.1.	Pengantar	353
11.2.	Konsep Pengendalian Mutu Terpadu	355
11.3.	Konsep Biaya dalam Pengendalian Mutu	359
11.4.	Alat-alat yang Dipergunakan dalam Pengendalian Mutu	369
11.5.	Pengukuran dalam Pengendalian Mutu	373
11.6.	Penerapan Teknik Statistika dalam Proses Pengendalian Mutu (Suatu Tinjauan Umum)	386

**BAB XII**  
**MODEL-MODEL PERAMALAN**

12.1.	Pengantar	430
12.2.	Model-model Ekstrapolasi	432
12.3.	Model-model Penjelas	464

**BAB XIII**  
**MODEL-MODEL UNTUK ANALISIS SISTEM PERAWATAN**

13.1.	Pengantar	516
13.2.	Konsep Keandalan	517

13.3.	Keputusan Penggantian Komponen Sistem dalam Manajemen Perawatan Preventif yang Meminimumkan "Downtime" .....	552
-------	--	-----

**BAGIAN KEEMPAT: PERANCANGAN SISTEM TERINTEGRASI**

**BAB XIV**

**PERENCANAAN OPERASIONAL DAN PENGENDALIAN SISTEM**

14.1.	Pengantar .....	571
14.2.	Perancangan Sistem .....	572

**BAB XV**

**PERANCANGAN SISTEM YANG MEMPERHATIKAN ASPEK-ASPEK ORGANISASI**

15.1.	Pengantar .....	584
15.2.	Interaksi antara Organisasi dan Sistem Informasi .....	586
15.3.	Kebutuhan dan Sumber Informasi Bagi Manajer .....	601
15.4.	Metodologi Perancangan Sistem Informasi Manajemen .....	613

**BAB XVI**

**PERANCANGAN SISTEM YANG MEMPERHATIKAN ASPEK SUMBER DAYA MANUSIA**

16.1.	Pengantar .....	621
16.2.	Proses Motivasi .....	621
16.3.	Sistem Manajemen Terintegrasi (Pengalaman Jepang) .....	639

**DAFTAR PUSTAKA**

DAFTAR LAMPIRAN .....	649
-----------------------	-----

Lampiran 1.	Distribusi Normal Kumulatif Z .....	655
Lampiran 2.	Ordinat dari Kurva Normal Z .....	656
Lampiran 3.	Distribusi t-Student .....	657
Lampiran 4.	Distribusi Khi-kuadrat .....	658
Lampiran 5.	Distribusi F .....	660
Lampiran 6.	Nilai Sekarang dari Uang Rp. 1 : $PVIF = \frac{1}{(1+k)^t}$ .....	666
Lampiran 7.	Nilai Yang Akan Datang dari Uang Rp 1 pada Akhir dari n periode $FVIF_{k,n} = (1+k)^n$ .....	668
Lampiran 8.	Abjad Yunani .....	670

**BAGIAN PERTAMA : PENDAHULUAN**

**BAB I**

**PENGANTAR MEMAHAMI STUDI TEKNIK INDUSTRI**

**1.1 SEJARAH SINGKAT PERKEMBANGAN STUDI TEKNIK INDUSTRI**

Perkembangan disiplin studi teknik industri (industrial engineering) tidak terlepas dari perkembangan disiplin studi teknik lainnya. Berdasarkan pustaka yang ada diketahui bahwa era teknologi secara modern dimulai sekitar tahun 1750. Alasan mengatakan bahwa teknologi modern dimulai pada tahun 1750, adalah (1) sekolah teknik dimunculkan pertama kali di Perancis dalam abad ke-18, dan (2) perkataan teknik sipil (civil engineering) dipergunakan pertama kali pada tahun 1750.

Prinsip-prinsip dasar teknologi pada mulanya diajarkan dalam akademi-akademi militer terutama yang berkaitan dengan konstruksi jalan dan jembatan serta strategi pertahanannya. Bagian dari pelatihan akademik ini selanjutnya dikenal sebagai *teknik militer (military engineering)*. Apabila beberapa prinsip teknologi yang sama itu diterapkan dalam lapangan nonmiliter, maka ia dikenal sebagai *teknik sipil (civil engineering)*. Dengan demikian istilah teknik sipil dan teknik militer pada dasarnya hanya membedakan tempat di mana teknologi itu diterapkan, sedangkan materinya secara prinsip adalah tidak berbeda. Dengan demikian pada awalnya berkembang disiplin studi teknik sipil.

Dalam perkembangan selanjutnya, disiplin studi teknik sipil bersama-sama dengan disiplin studi fisika dan matematika telah meletakkan dasar-dasar bagi penerapan prinsip-prinsip mekanikal (mechanical principles). Suatu hal penting dalam perkembangan selanjutnya bahwa secara praktis ternyata mesin-mesin uap mampu memberikan kemanfaatan dalam pelaksanaan kerja.

Selanjutnya karena banyak peralatan kerja yang menggunakan mesin-mesin, maka mendorong berkembangnya disiplin studi yang dikenal sebagai *teknik mesin (mechanical engineering)*. Disiplin studi teknik mesin berkembang sekitar awal abad ke-19.

Sebenarnya dalam waktu yang hampir bersamaan dengan berkembangnya mesin-mesin uap telah dikenal pula listrik dan magnet, namun para ilmuwan pada saat itu belum memulai mengembangkan studi tentang fenomena ini sampai dilaksanakannya suatu percobaan yang terkenal oleh Benjamin Franklin sekitar tahun 1752. Sekitar setengah abad kemudian setelah percobaan yang terkenal itu, para ilmuwan terutama ilmuwan Jerman dan Perancis mulai mengembangkan disiplin *studi elektro (electrical engineering)*. Penerapan pertama kali dari ilmu elektro yang dianggap sebagai tonggak sejarah perkembangannya adalah pada pengembangan telegraf oleh Samuel Morse sekitar tahun 1840 yang selanjutnya berkembang terus secara meluas di mana disiplin studi elektro telah memberikan kontribusi yang besar dalam berbagai penggunaannya.

Sejalan dengan perkembangan teknologi mekanikal dan elektikal, maka ilmu kimia pun berkembang di mana terus dipelajari tentang bagaimana menghasilkan perubahan-perubahan dalam material sesuai dengan yang diinginkan. Bahan bakar serta minyak pelumas diperlukan oleh mesin-mesin agar dapat beroperasi. Lapisan-lapisan pengaman diperlukan untuk rumah-rumah, kapal-kapal, produk-produk logam, dan sebagainya. Bahan-bahan pencelupan diperlukan oleh pabrik-pabrik untuk keperluan menghasilkan produk-produk bagi konsumen. Kesemuanya ini mendorong berkembangnya teknologi kimia dan lapangan studi yang berkaitan dengan hal ini dikenal sebagai *teknik kimia (chemical engineering)*.

Dalam perkembangan selanjutnya muncul organisasi-organisasi industri yang padat modal dengan secara cepat mengembangkan inovasi teknologi sehingga ukuran serta kompleksitasnya meningkat secara dramatis. Sistem produksi massal yang dibangun mengakibatkan pengurangan ongkos per unit secara dramatis. Dengan berkembangnya industri-industri telah mengubah pola hidup dan budaya dari masyarakat agraris menjadi masyarakat industri. Amerika Serikat dan negara-negara maju lainnya dalam masa kurang dari 50 tahun telah berubah dari semula merupakan negara agraris menjadi negara industri maju. Dengan berkembangnya sistem industri mengakibatkan manajemen praktis yang biasanya diterapkan dalam organisasi bisnis kecil serta organisasi usaha tani menjadi tidak cocok lagi untuk dipergunakan dalam organisasi-organisasi industri besar yang bersifat kompleks itu. Kebutuhan akan manajemen sistem yang lebih baik telah mendorong pengembangan disiplin studi *teknik industri (industrial engineering)*.

Dengan demikian tampak adanya 5 disiplin utama dalam bidang teknik yang muncul sebelum masa Perang Dunia I, yaitu: (1) teknik sipil, (2) teknik mesin, (3) teknik elektro, (4) teknik kimia, dan (5) teknik industri. Kelima disiplin studi ini sering disebut sebagai "lima besar" (the big five).

Khusus tentang disiplin teknik industri, di mana disiplin ini telah berkembang pesat dan dapat dikatakan berawal dari masa revolusi industri. Dengan demikian kita boleh mengatakan bahwa munculnya teknik industri sebagai suatu profesi merupakan hasil dari revolusi industri yang membutuhkan orang-orang terlatih yang mampu merencanakan, mengorganisasikan, dan mengatur operasi dari sistem-sistem kompleks yang besar.

Sejarah perkembangan studi teknik industri tidak terlepas dari kontribusi Frederick W. Taylor yang merupakan pelopor manajemen ilmiah (scientific management), yang juga dikenal sebagai "Bapak Teknik Industri" di dunia. Prinsip-prinsip manajemen ilmiah yang dikemukakan Taylor sekitar tahun 1911 telah diterapkan pada pabrik baja Bethlehem di Amerika Serikat pada saat itu dan menunjukkan adanya peningkatan produktivitas. Prinsip pendekatan manajemen ilmiah yang dikemukakan Taylor tidak hanya diterapkan dalam perusahaan-perusahaan industri di Amerika Serikat, tetapi juga populer di Eropa dan Jepang. Semuanya ini tidak terlepas dari jerih payah Taylor yang terus melakukan percobaan-percobaan selama kurang lebih 26 tahun. Prinsip pendekatan manajemen ilmiah yang dirumuskan Taylor memiliki pola sebagai berikut :

1. Identifikasi permasalahan
2. Pengumpulan data secara obyektif
3. Perumusan dan pengujian hipotesis yang berkaitan dengan permasalahan
4. Penarikan kesimpulan yang harus mampu menjawab permasalahan
5. Pendekatan studi bersifat sistematis dan kumulatif.

Selain Taylor, dapat pula disebutkan ilmuwan lain yang juga merupakan pelopor manajemen ilmiah yang sangat berjasa dalam mengembangkan disiplin studi teknik industri.

Pasangan suami-isteri, Frank B. Gilbreth dan Lillian M. Gilbreth dapat disebut juga sebagai ilmuwan yang berjasa dalam mengembangkan studi teknik industri. Mereka telah mengembangkan studi "pergerakan" orang-orang dalam bekerja, di mana pekerjaan-pekerjaan dipecah ke dalam elemen-elemen yang lebih kecil kemudian me-

nempatkan orang-orang pada jabatan itu serta menggerakkan mereka untuk bekerja lebih baik pada elemen-elemen kerja itu. Kontribusi mereka adalah meletakkan dasar dalam pengembangan teknik industri sebagai suatu profesi yang berdasarkan pada "sains (science)" daripada sekedar "seni (art)".

Pelopop lain dalam studi teknik industri adalah Henry Laurence Gantt. Henry L. Gantt memberikan kontribusi bagi pengembangan studi teknik industri yang dapat digunakan untuk memotivasi dan mengontrol aktivitas kerja sehingga mampu meningkatkan produktivitas. Pemberian bonus (insentif) kepada pekerja yang dikenal dalam perusahaan-perusahaan hingga sekarang merupakan konsep Gantt untuk meningkatkan produktivitas kerja. Demikian pula peta Gantt (Gantt chart) merupakan kontribusi dari Henry L. Gantt, di mana dengan menggunakan peta itu dapat dibangun grafik secara sistematis tentang hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan kerja. Peta Gantt telah diterapkan pada awalnya dalam proses pembangunan kapal barang selama masa perang dunia pertama, di mana peta itu dipergunakan untuk mengantisipasi dan mencatat pelaksanaan kerja secara lebih akurat sehingga proses pembangunan kapal barang itu menjadi lebih cepat selesai. Peta Gantt masih dipergunakan secara luas sampai sekarang.

Berikutnya dapat disebutkan pula nama W. A. Shewhart yang mengembangkan prinsip-prinsip pengendalian mutu secara statistik sekitar tahun 1924. Peta kendali Shewhart telah diterapkan secara luas dalam proses pengendalian sistem dan masih terus dipergunakan sampai sekarang. Shewhart telah meletakkan dasar-dasar ilmiah bagi keperluan praktek dalam bidang teknik industri.

Bagaimana pun masih banyak lagi para ilmuwan yang telah berkontribusi secara nyata pada masa awal perkembangan studi teknik industri. Selama masa periode 1920 - 1930 telah banyak diletakkan dasar-dasar kerangka kerja yang berkaitan dengan aspek-aspek ekonomi dari keputusan manajerial, masalah inventori, perencanaan insentif, masalah tata letak pabrik, masalah penanganan material, serta prinsip-prinsip organisasi.

Jika kita ingin membagi periode dalam perkembangan studi teknik industri, maka dapat disebutkan beberapa periode penting berikut ini. Patut dicatat bahwa dalam hal ini telah terjadi tumpang-tindih di antara masa periode tersebut. Periode dari sekitar tahun 1900 sampai pertengahan tahun 1930-an secara umum dikenal sebagai "periode manajemen ilmiah". Periode berikutnya yang dimulai

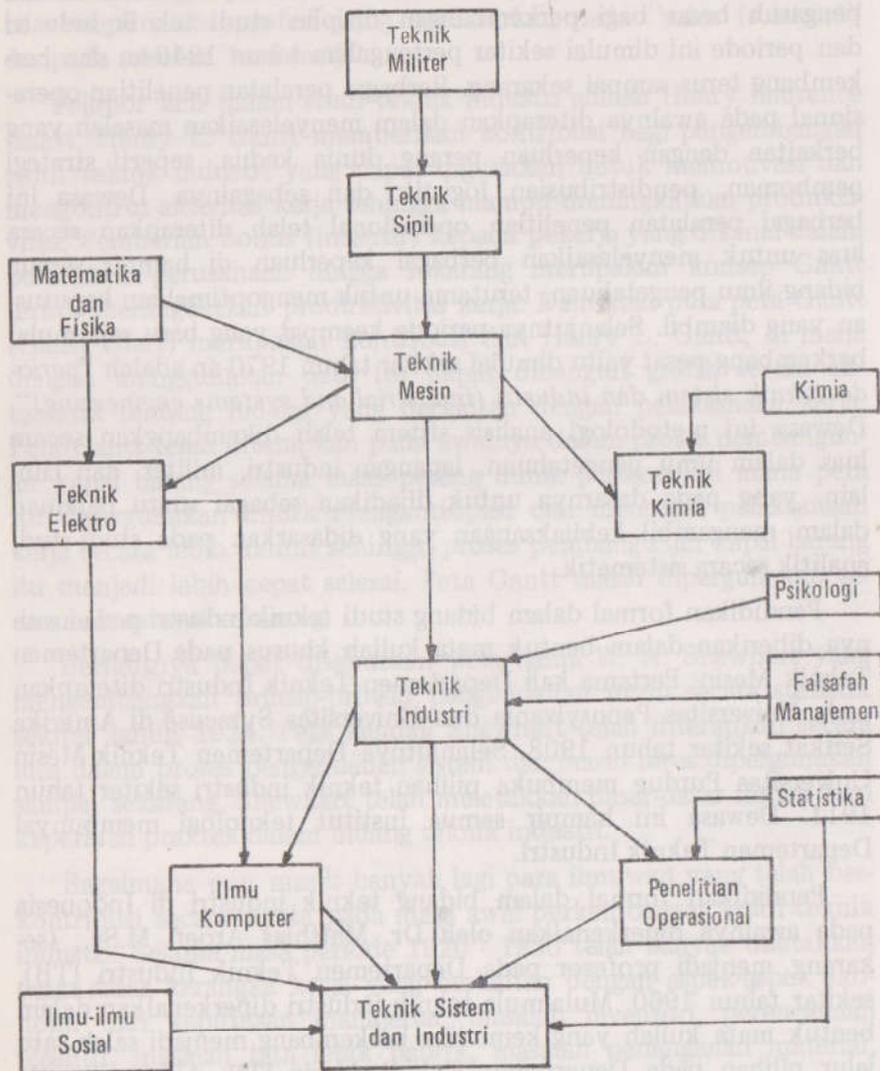
sekitar akhir tahun 1920-an dan berkembang sampai masa sekarang dikenal sebagai "periode teknik industri". Kemudian dikenal periode "penelitian operasional (operations research)" yang memberikan pengaruh besar bagi perkembangan disiplin studi teknik industri dan periode ini dimulai sekitar pertengahan tahun 1940-an dan berkembang terus sampai sekarang. Berbagai peralatan penelitian operasional pada awalnya diterapkan dalam menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan keperluan perang dunia kedua, seperti strategi pemboman, pendistribusian logistik, dan sebagainya. Dewasa ini berbagai peralatan penelitian operasional telah diterapkan secara luas untuk menyelesaikan berbagai keperluan di hampir semua bidang ilmu pengetahuan, terutama untuk mengoptimalkan keputusan yang diambil. Selanjutnya periode keempat yang baru saja mulai berkembang pesat yaitu dimulai sekitar tahun 1970-an adalah "periode teknik sistem dan industri (industrial and systems engineering)". Dewasa ini metodologi analisis sistem telah dikembangkan secara luas dalam ilmu pengetahuan, lapangan industri, militer, dan lain-lain, yang pada dasarnya untuk dijadikan sebagai suatu panduan dalam mengambil kebijaksanaan yang didasarkan pada studi-studi analitik secara sistematis.

Pendidikan formal dalam bidang studi teknik industri pada awalnya diberikan dalam bentuk mata kuliah khusus pada Departemen Teknik Mesin. Pertama kali Departemen Teknik Industri ditetapkan pada Universitas Pennsylvania dan Universitas Syracuse di Amerika Serikat sekitar tahun 1908. Selanjutnya Departemen Teknik Mesin Universitas Purdue membuka pilihan teknik industri sekitar tahun 1911. Dewasa ini hampir semua institut teknologi mempunyai Departemen Teknik Industri.

Pendidikan formal dalam bidang teknik industri di Indonesia pada awalnya diperkenalkan oleh Dr. Matthias Aroef, M.Sc., (sekarang menjadi profesor pada Departemen Teknik Industri ITB), sekitar tahun 1960. Mula-mula teknik industri diperkenalkan dalam bentuk mata kuliah yang kemudian berkembang menjadi salah satu jalur pilihan pada Departemen Teknik Mesin ITB. Akhirnya pada tahun 1971, studi teknik industri diresmikan menjadi suatu jurusan yang berdiri sendiri di ITB dan dikenal dengan nama Departemen Teknik Industri ITB.

Terdapat keterkaitan antara disiplin studi teknik industri dan disiplin studi lain, yang kesemuanya diperlukan dalam membangun dan mengoperasikan sistem industri secara efektif dan efisien.

Hubungan teknik industri dengan disiplin studi lain ditunjukkan dalam Gambar 1.1.



Gambar 1.1  
Keterkaitan Disiplin Studi Teknik Industri  
dengan Disiplin Studi Lainnya

Sumber : Turner, W.C., Joe H. Mize, and Kenneth E. Case., "Introduction to Industrial and Systems Engineering", 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.

## 1.2 PENDEKATAN TEKNIK INDUSTRI DALAM ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Definisi formal dari teknik industri adalah bahwa teknik industri berkaitan dengan perancangan, peningkatan, serta instalasi sistem terintegrasi dari manusia, material, mesin (peralatan), informasi, dan energi, dengan menggunakan pengetahuan dan keterampilan khusus dalam matematika, fisika, dan ilmu-ilmu sosial secara bersama dengan prinsip-prinsip serta metode-metode analisis dan perancangan teknik untuk menspesifikasi, memperkirakan, dan mengevaluasi hasil yang diperoleh dari sistem itu.

Tugas utama seorang ahli teknik industri adalah merancang baru atau merancang kembali suatu sistem yang akan meningkatkan produktivitas sistem itu agar input atau komponen-komponen yang ada dalam sistem itu digunakan secara *efisien* dan *efektif*.

Pada dasarnya industri merupakan suatu sistem yang melakukan proses transformasi bahan sehingga memiliki nilai tambah yang lebih tinggi, jadi dalam hal ini industri berkaitan dengan proses transformasi input menjadi output atau merupakan proses penciptaan nilai tambah. Dengan demikian kata "industri" dapat diinterpretasikan secara luas pada berbagai aktivitas sistem. Meskipun dalam kenyataannya kata "industri" sering dikaitkan dengan organisasi manufaktur, namun hal itu tidak berarti bahwa prinsip-prinsip teknik industri hanya terbatas penerapannya dalam organisasi manufaktur. Pada dasarnya prinsip-prinsip teknik industri dapat diterapkan secara luas dalam berbagai bidang seperti pertanian, rumahsakit, bank, organisasi pemerintah, universitas, dan lain-lain.

Pada dasarnya apabila kita mulai berpikir bagaimana mengkombinasikan berbagai input yang ada agar proses transformasi menjadi output dapat berlangsung secara *efektif* dan *efisien*, maka sebenarnya kita telah menggunakan prinsip-prinsip dasar dari teknik industri. Dalam pengertian yang lebih luas, apabila kita mulai berpikir bagaimana agar suatu sistem tertentu dapat berjalan secara *efektif* dan *efisien*, maka kita telah menggunakan prinsip-prinsip dasar dari teknik industri. Dengan demikian terdapat dua kata kunci dalam konsep berpikir teknik industri yaitu: (1) efektivitas, (2) efisiensi, di mana keduanya merupakan elemen dasar dari produktivitas. Prinsip-prinsip dasar dari teknik industri ini perlu dikemukakan di sini, karena dalam kenyataannya masih banyak orang di luar disiplin teknik industri yang berpikir bahwa industri adalah identik dengan organisasi manufaktur. Hal ini tidak benar sama sekali, karena in-

dusti bukan sekedar organisasi manufaktur, tetapi industri adalah sesuai dengan definisi teknik industri yang telah dikemukakan di atas. Dengan demikian prinsip-prinsip dasar teknik industri dapat diterapkan dalam organisasi apa saja, baik organisasi produksi maupun organisasi jasa. Bahwa pada awalnya prinsip-prinsip dasar teknik industri diterapkan dalam organisasi manufaktur itu benar, namun hal itu tidak berarti bahwa prinsip-prinsip dasar dari disiplin studi teknik industri hanya terbatas penerapannya dalam organisasi manufaktur.

Sebagai misal, akan dikemukakan dua kasus berikut yang pada dasarnya menggunakan konsep berpikir teknik industri. Bayangkan pada kasus pertama bahwa terdapat suatu pabrik besar, di mana di dalamnya terdapat 1000 pekerja, 100 mesin, berbagai ragam material, serta modal bermilyar rupiah. Jika kita berpikir bagaimana agar input-input itu dikombinasikan agar mereka menjadi lebih produktif, dalam pengertian agar penggunaannya menjadi efektif dan efisien, maka sebenarnya kita telah menerapkan prinsip-prinsip dasar teknik industri dalam sistem produksi manufaktur itu. Dalam kasus pertama ini, kita menerapkan prinsip-prinsip dasar teknik industri agar sistem produksi manufaktur dapat berjalan secara efektif dan efisien, sehingga produktivitas sistem itu dapat ditingkatkan mencapai optimum.

Sekarang, bayangkan kasus kedua adalah terdapat sebuah kota besar yang juga membutuhkan 1000 orang pekerja, 100 kendaraan, mesin-mesin lain, material, dan dana bermilyar rupiah agar dapat memberikan pelayanan yang dibutuhkan oleh masyarakat kota itu. Jika kita berpikir bagaimana "mengatur" (mengkombinasikan) berbagai fasilitas yang ada itu agar mampu memberikan pelayanan secara efektif dan efisien kepada masyarakat, maka sebenarnya kita telah menerapkan prinsip-prinsip dasar teknik industri.

Dari kedua kasus yang dikemukakan, tampak bahwa prinsip-prinsip dasar teknik industri dapat diterapkan pada organisasi produksi maupun organisasi jasa. Dengan demikian pada dasarnya ingin dikemukakan bahwa prinsip-prinsip dasar teknik industri dapat diterapkan dalam semua organisasi, baik organisasi produksi maupun organisasi jasa, dan oleh karena itu tidak benar bahwa disiplin teknik industri hanya terbatas penggunaannya dalam organisasi manufaktur.

Berikut ini akan dikemukakan penerapan prinsip-prinsip dasar teknik industri dalam sistem produksi yang merupakan salah satu

bagian dari sistem industri secara keseluruhan, serta berbagai contoh sistem produksi dalam organisasi produksi maupun jasa.

Pada dasarnya sistem produksi merupakan sistem integral yang mempunyai komponen struktural dan fungsional. Di dalam sistem produksi terjadi suatu proses transformasi yang mengubah input menjadi output yang bermanfaat bagi manusia. Proses perubahan itu selalu melibatkan komponen struktural dan fungsional.

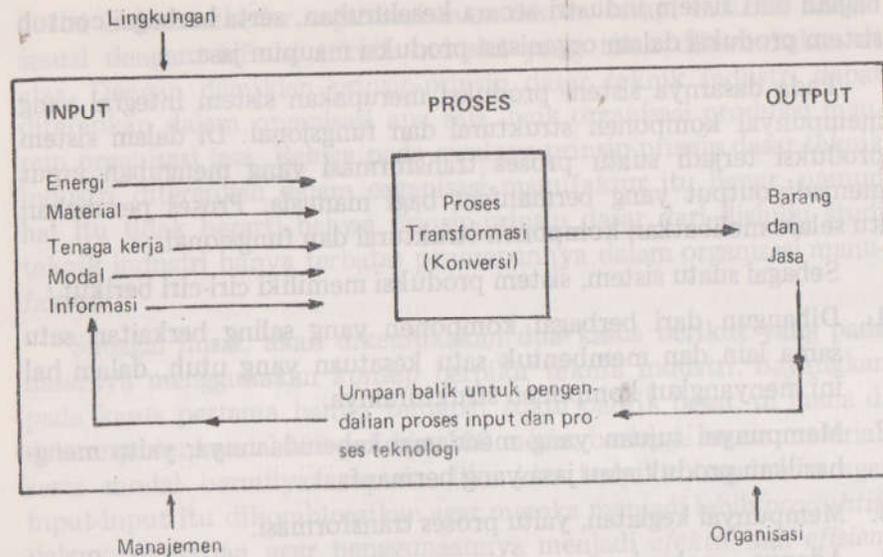
Sebagai suatu sistem, sistem produksi memiliki ciri-ciri berikut :

1. Dibangun dari berbagai komponen yang saling berkaitan satu sama lain dan membentuk satu kesatuan yang utuh, dalam hal ini menyangkut komponen strukturalnya.
2. Mempunyai tujuan yang mendasari keberadaannya, yaitu menghasilkan produk atau jasa yang bermanfaat.
3. Mempunyai kegiatan, yaitu proses transformasi.
4. Adanya mekanisme yang mengendalikan pengoperasiannya, yaitu optimasi pengalokasian sumber daya.

Dalam sistem produksi terdapat komponen struktural dan fungsional yang berperanan penting menunjang kelangsungan operasi sistem tersebut. Komponen struktural yang membentuk sistem produksi terdiri dari material, mesin dan peralatan, manusia, modal, energi, informasi, serta lingkungan kerja. Sedangkan komponen fungsional terdiri atas manajemen dan organisasi, juga dipengaruhi oleh aspek-aspek lingkungan seperti teknologi, ekonomi, sosial, dan pemerintah.

Secara skematis sederhana, sistem produksi secara umum dapat ditunjukkan dalam Gambar 1.2.

Beberapa contoh sistem produksi yang mewakili organisasi produksi maupun organisasi jasa, yang pada dasarnya dapat menerapkan prinsip-prinsip dasar teknik industri, dikemukakan dalam Tabel 1.1.



Gambar 1.2  
Skema Sistem Produksi

Tabel 1.1  
Beberapa Contoh Sistem Produksi dalam Organisasi

Sistem	Input	Output
Pertanian	Lahan, bibit, pupuk, pestisida, tenaga kerja, modal, dan lain-lain.	Produk pertanian, dan lain-lain.
Bank	Staf, peralatan komputer, fasilitas, energi, informasi, dan lain-lain.	Pelayanan finansial (pinjaman deposit dan lain-lain).
Rumah-sakit	Dokter, perawat, staf, peralatan fasilitas, energi, informasi dan lain-lain.	Pelayanan kesehatan, kesembuhan pasien dan lain-lain.
Universitas	Staf, fakultas, peralatan, fasilitas, energi, ilmu pengetahuan, dan lain-lain.	Sarjana, peneliti, dan lain-lain.
Angkutan udara	Pesawat, pilot, pramugari, bagian perawatan, tenaga kerja, fasilitas energi, informasi, dan lain-lain.	Transportasi dari satu lokasi ke lokasi lain.
Manufaktur	Peralatan, fasilitas, tenaga kerja, modal, energi, informasi, material, dan lain-lain.	Produk manufaktur dan lain-lain.

### 2.1 DEFINISI SISTEM

Pada dasarnya sistem dapat didefinisikan sebagai sekumpulan elemen-elemen yang saling berhubungan melalui berbagai bentuk interaksi dan bekerja sama untuk mencapai suatu tujuan yang berguna.

Berdasarkan pengertian umum dari sistem, maka kita dapat merumuskan ciri-ciri atau karakteristik sistem, sebagai berikut :

1. Terdiri dari elemen-elemen yang membentuk satu kesatuan sistem.
2. Adanya tujuan dan kesalingtergantungan.
3. Adanya interaksi antar-elemen.
4. Mengandung mekanisme, kadang-kadang disebut juga sebagai transformasi.
5. Ada lingkungan yang mengakibatkan dinamika sistem.

Berdasarkan karakteristik sistem yang dikemukakan, maka kita boleh menyatakan bahwa keberadaan suatu sistem harus dilandasi prinsip-prinsip adanya elemen-elemen, adanya kesatuan, adanya hubungan fungsional, adanya tujuan yang berguna, serta memiliki lingkungan. Prinsip-prinsip dasar ini penting, karena apabila ketiadaan salah satu karakteristik yang dikemukakan, maka kita tidak dapat mengatakan sebagai sistem. Sebagai contoh, sekelompok item-item yang terletak secara acak di atas meja akan merupakan sekumpulan item-item dengan adanya hubungan tertentu di antara item-item itu, tetapi keberadaan mereka tidak dapat ditetapkan sebagai suatu sistem karena ketiadaan kesatuan, ketiadaan hubungan fungsional, dan ketiadaan tujuan yang bermanfaat.

#### Pengertian Elemen, Atribut, dan Hubungan (Relasi)

Pada dasarnya sistem disusun dari elemen-elemen (dalam beberapa buku teks disebut juga sebagai komponen-komponen), atribut, dan hubungan (relationship), yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Elemen* adalah bagian mendasar dari setiap sistem yang secara bersama membentuk sistem itu. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa elemen merupakan bagian operasi dari sistem yang terdiri atas input, proses, dan output. Setiap elemen sistem dapat mengambil bermacam nilai-nilai dalam menggambarkan keadaan sistem karena adanya serangkaian tindakan pengendalian dan satu atau lebih kendala.
2. *Atribut* adalah sifat atau manifestasi (perwujudan) yang dapat dilihat dari elemen sistem. Atribut-atribut ini mencirikan sistem.
3. *Hubungan (relationship)* adalah keterkaitan antara elemen dan atribut.

Suatu sistem merupakan sekumpulan elemen-elemen yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk mencapai suatu tujuan bersama. Himpunan dari elemen-elemen itu memiliki sifat-sifat berikut :

1. Sifat dan perilaku dari setiap elemen dalam himpunan itu mempunyai suatu pengaruh terhadap sifat dan perilaku dari himpunan itu secara keseluruhan.
2. Sifat dan perilaku dari setiap elemen dalam himpunan itu tergantung pada sifat dan perilaku dari sekurang-kurangnya satu elemen lain dalam himpunan itu.
3. Setiap himpunan bagian (subset) yang mungkin dari elemen-elemen memiliki dua sifat yang dikemukakan di atas (sifat 1 dan 2), serta elemen-elemen tidak dapat dibagi ke dalam himpunan-himpunan bagian yang bebas.

Berdasarkan sifat-sifat yang dikemukakan di atas, maka kita mengetahui bahwa sistem bukan sekedar himpunan atau kumpulan dari elemen-elemen saja tetapi harus memiliki sifat-sifat tertentu yang telah dikemukakan. Dengan demikian diketahui bahwa himpunan elemen-elemen dari suatu sistem selalu mempunyai karakteristik atau pola perilaku yang spesifik, di mana pola perilaku itu tidak dapat ditunjukkan oleh himpunan-himpunan bagian (subsets) dari elemen-elemen itu. Bagaimanapun, elemen dari suatu sistem dapat menjadi sistem bagi diri mereka sendiri, serta setiap sistem dapat merupakan bagian dari sistem yang lebih besar dalam suatu hirarki. Demikian pula struktur dari elemen dapat dipisahkan, namun konsekuensinya bahwa elemen yang asli akan kehilangan maknanya dan menjadi sumber elemen baru dalam sistem yang berbeda, yaitu sistem yang didefinisikan pada tingkat resolusi (pemecahan) yang lebih tinggi.

Tujuan atau kegunaan dari sistem harus didefinisikan secara eksplisit dan dipahami agar elemen sistem dapat menghasilkan output yang diinginkan untuk setiap kumpulan input tertentu. Sekali tujuan atau kegunaan sistem telah didefinisikan, maka akan memungkinkan kita untuk menetapkan ukuran efektivitas guna mengetahui bagaimana baiknya sistem itu bekerja. Dengan demikian pengertian dari tujuan atau kegunaan sistem adalah keadaan atau hasil yang diinginkan di mana sistem itu berusaha untuk mencapainya.

Suatu fungsi sistem adalah mengubah material, energi, atau informasi. Pengubahan ini mencakup input, proses, dan output. Beberapa contoh dapat dikemukakan di sini adalah pemrosesan material dalam sistem manufaktur atau dalam sistem pencernaan, konversi batu bara menjadi listrik dalam sistem pembangkit listrik, dan pemrosesan informasi dalam sistem komputer. Sistem-sistem yang mengubah material, energi, atau informasi disusun oleh elemen-elemen struktural, elemen-elemen operasi, dan elemen-elemen aliran. Elemen-elemen struktural merupakan bagian-bagian yang statik, elemen-elemen operasi merupakan bagian-bagian yang melakukan pemrosesan, dan elemen-elemen aliran adalah material, energi, atau informasi yang sedang diubah.

Elemen-elemen struktural, operasi, dan aliran memiliki berbagai atribut yang mempengaruhi "pengaruh mereka" terhadap sistem. Atribut dari suatu sistem perekonomian dapat digambarkan dalam bentuk produk domestik bruto (PDB), investasi, konsumsi, ekspor, impor, dan sebagainya.

Keterkaitan sebab-akibat di antara elemen-elemen dicirikan melalui suatu hubungan (*relationship*). Hubungan adalah perlu secara fungsional dari elemen yang satu dengan lainnya yang boleh dicirikan sebagai hubungan derajat pertama (*first-order*). Sebagai misal adalah simbiosis yang menunjukkan hubungan seperlunya dari organisme yang berbeda seperti seekor hewan dan parasit. Hubungan derajat kedua (*second-order relationship*) disebut *sinergistik (synergistic)* yang mana bersifat komplementer (saling melengkapi) dan menambah pada unjuk laku (*performance*) sistem. Redundansi (*redundance*) dalam sistem itu ada apabila duplikasi elemen-elemen hadir untuk tujuan menjamin kelangsungan fungsi sistem.

Untuk menjelaskan secara konkrit tentang elemen-elemen beserta hubungannya, maka bayangkan sistem AC (*air-conditioning*) dalam sebuah rumah. Asumsikan bahwa sistem itu menggunakan pompa pemanas untuk keperluan pemanasan dan pendinginan, tergantung

mana yang diperlukan. Elemen-elemen dari sistem ini meliputi rumah (dinding, atap, lantai, perabot, dan lain-lain), pompa pemanas, thermostat, udara di dalam sistem, dan listrik yang menjalankan sistem. Hubungan di antara elemen sistem secara garis besar dapat dikemukakan sebagai berikut :

1. Temperatur udara tergantung pada :
  - a. Transfer panas melalui dinding-dinding, atap, lantai, dan jendela-jendela dari rumah itu.
  - b. Input atau output panas yang disebabkan bekerjanya pompa pemanas itu.
2. Tindakan (aksi) thermostat tergantung pada :
  - a. Temperatur udara
  - b. Keadaan thermostat itu.
3. Status pompa pemanas tergantung pada :
  - a. Tindakan (aksi) thermostat
  - b. Tersedianya listrik

Suatu contoh lain adalah bayangkan suatu sistem yang dapat dinyatakan dalam fungsi matematik  $z = 2x + y^2$ . Sistem ini mempunyai dua input yaitu  $x$  dan  $y$ , serta satu output yaitu  $z$ . Sistem ini terdiri dari tiga elemen, yaitu satu elemen untuk penggandaan (perkalian) dengan dua, satu elemen untuk meningkatkan derajat kedua (bentuk kuadrat), dan satu elemen penambahan.

Dalam konsep matematik, sistem dapat dijelaskan melalui uraian berikut. Bayangkan bahwa sistem  $S$  terdiri dari elemen-elemen  $a_1, a_2, \dots, a_n$  serta anggapha  $a_0$  merupakan lingkungan dari sistem  $S$ . Jika kita mendefinisikan himpunan  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  dan himpunan  $B = \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ; maka tampak bahwa himpunan  $A$  hanya terdiri dari elemen-elemen  $a_1, a_2, \dots, a_n$  dari sistem  $S$ , sedangkan himpunan  $B$  mencakup tidak hanya elemen-elemen ini tetapi juga lingkungan yang dipandang sebagai elemen terpisah  $a_0$ .

Setiap elemen dari himpunan  $B$  dicirikan melalui sekumpulan kuantitas input dan sekumpulan kuantitas output. Selanjutnya dipergunakan simbol  $r_{ij}$  untuk menyatakan kuantitas output dari elemen  $a_j$  tergantung pada kuantitas input dari elemen  $a_i$ , yang menunjukkan hubungan di antara elemen-elemen itu. Mengikuti hubungan yang ada, maka himpunan yang mengandung semua  $r_{ij}$  ( $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ ) akan dinotasikan dengan  $R$ .

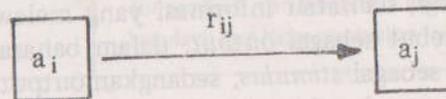
Dari uraian di atas kita telah memperkenalkan beberapa konsep himpunan yang dapat dipergunakan untuk mendefinisikan sistem.

Dalam konsep matematik, suatu sistem dapat didefinisikan melalui pernyataan bahwa setiap himpunan  $S = \{A, R\}$  merupakan sistem.

Selanjutnya notasi  $r_{ij} = 0$  diperkenalkan sebagai suatu pernyataan singkat bahwa dalam sistem yang diperhatikan, elemen  $a_i$  tidak memiliki pengaruh atas elemen  $a_j$ , sebaliknya  $r_{ij} = 1$  diperkenalkan sebagai suatu pernyataan singkat bahwa elemen  $a_i$  mempengaruhi elemen  $a_j$ , jadi secara singkat bentuk hubungan atau interaksi antara elemen  $a_i$  dan elemen  $a_j$  dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$r_{ij} = a_i \times a_j \begin{cases} = 0, & \text{bila tidak ada hubungan} \\ = 1, & \text{bila ada hubungan} \end{cases}$$

Jadi secara matematik bentuk hubungan antara elemen  $a_i$  dan elemen  $a_j$  dapat dilihat dari besaran  $r_{ij}$ , atau dalam bentuk diagram dapat dinyatakan sebagai berikut:



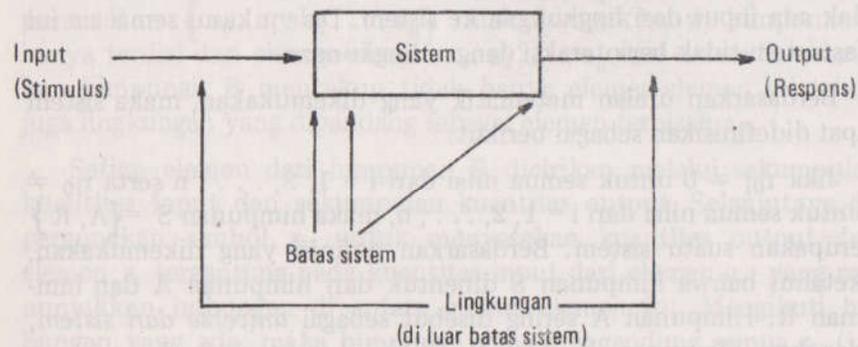
Berdasarkan konsep yang diperkenalkan di atas, maka apabila  $r_{0i} = 0$  dan secara simultan  $r_{i0} = 0$  untuk semua nilai  $i = 1, 2, \dots, n$ , maka sistem yang terbentuk merupakan sistem tertutup secara absolut. Notasi  $r_{i0} = 0$  menggambarkan bahwa tidak ada output dari sistem ke lingkungan, sedangkan notasi  $r_{0i} = 0$  menunjukkan tidak ada input dari lingkungan ke sistem. Dalam kasus semacam ini jelas sistem tidak berinteraksi dengan lingkungan.

Berdasarkan uraian matematik yang dikemukakan, maka sistem dapat didefinisikan sebagai berikut:

Jika  $r_{0i} \neq 0$  untuk semua nilai dari  $i = 1, 2, \dots, n$  serta  $r_{i0} \neq 0$  untuk semua nilai dari  $i = 1, 2, \dots, n$ , maka himpunan  $S = \{A, R\}$  merupakan suatu sistem. Berdasarkan definisi yang dikemukakan, diketahui bahwa himpunan  $S$  dibentuk dari himpunan  $A$  dan himpunan  $R$ . Himpunan  $A$  sering disebut sebagai universe dari sistem, sedangkan himpunan  $R$  dikenal sebagai karakteristik dari sistem.

## Subsistem

Definisi dari sistem tidak lengkap tanpa mempertimbangkan posisinya dalam hirarki sistem. Setiap sistem dibentuk oleh elemen-elemen, dan elemen-elemen itu dapat dipecah ke dalam elemen-elemen yang lebih kecil. Jika dua tingkat hirarki terdapat dalam sistem tertentu, maka hirarki yang lebih rendah disebut sebagai subsistem. Sebagai contoh, dalam sistem transportasi udara, pesawat-pesawat, terminal-terminal, ruang pengendali dan peralatan penunjang dapat dipandang sebagai subsistem. Item-item peralatan, orang-orang, dan informasi dianggap sebagai elemen. Dalam situasi tertentu adalah penting untuk mendefinisikan sistem di bawah pertimbangan melalui penetapan batas sistem. Segala sesuatu yang berada di luar batas sistem dipertimbangkan sebagai *lingkungan*. Bagaimana pun, tidak ada sistem yang secara sempurna terisolasi dari lingkungannya. Dengan demikian sistem tertutup secara absolut jarang dijumpai dalam sistem konkrit, yang ada adalah sistem tertutup secara relatif dan sistem terbuka. Material, energi, dan/atau informasi yang melewati melalui batas sistem disebut sebagai *input*, sebaliknya material, energi, dan/atau informasi yang melewati dari sistem ke lingkungan disebut sebagai *output*. dalam bahasa sistem, input sering disebut juga sebagai *stimulus*, sedangkan output disebut juga sebagai *respons*. Dengan demikian kita boleh menyatakan bahwa semua pengaruh dari lingkungan terhadap sistem disebut sebagai input (stimulus), sedangkan semua pengaruh dari sistem terhadap lingkungannya disebut sebagai output (respons). Model umum sistem secara sederhana dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1  
Model Sederhana dari Sistem

Dari Gambar 2.1, tampak bahwa sifat yang menentukan dan membatasi sebuah sistem membentuk batas sistem. Setiap sistem berada di dalam batas itu, sedangkan lingkungan berada di luar batas sistem. Beberapa contoh konkrit untuk menjelaskan sistem dan lingkungan dapat ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1  
Beberapa Contoh Sistem dan Lingkungan

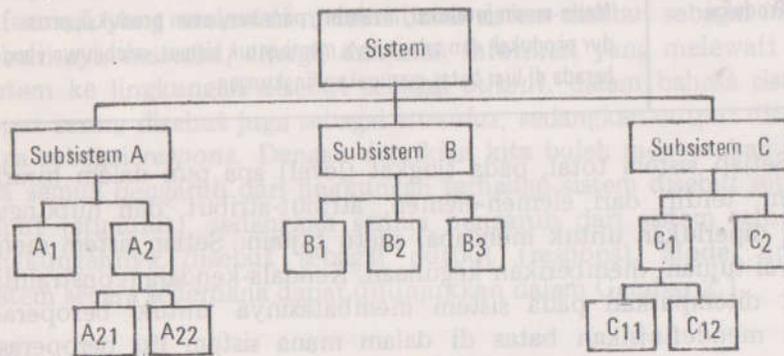
Sistem	Batas sistem
Manusia	Kulit, rambut, kuku, dan semua bagian yang dikandungnya membentuk sistem, sedangkan semua yang berada di luar batas adalah lingkungan.
Mobil	Badan mobil ditambah roda dan semua bagian di dalam batas membentuk sistem, sedangkan yang berada di luar batas adalah lingkungan.
Produksi	Mesin-mesin produksi, inventori, para karyawan produksi, prosedur produksi, dan sebagainya membentuk sistem, selebihnya yang berada di luar batas merupakan lingkungan.

Setiap sistem total, pada tingkat (level) apa pun dalam hirarki sistem, terdiri dari elemen-elemen, atribut-atribut, dan hubungan yang diperlukan untuk mencapai suatu tujuan. Setiap sistem mempunyai tujuan, memberikan kegunaan. Kendala-kendala (constraints) yang ditempatkan pada sistem membatasinya untuk beroperasi serta mendefinisikan batas di dalam mana sistem itu beroperasi. Dengan cara yang serupa, sistem akan menempatkan batas dan kendala pada subsistemnya. Sebagai suatu contoh, bayangkan bahwa sistem total itu adalah "Departemen Pengendalian Kebakaran". Elemen-elemen dari sistem pengendalian kebakaran adalah bangunan, mobil pemadam kebakaran dan peralatan penunjang lainnya, peralatan komunikasi, fasilitas perawatan, dan lain-lain. Elemen-elemen ini secara aktual merupakan subsistem utama dari Departemen Pengendalian Kebakaran. Setiap subsistem ini memberikan kontribusi kepada subsistem lainnya. Pada setiap tingkat dalam hirarki, deskripsi harus mencakup semua elemen, semua atribut dari elemen-elemen, dan semua hubungan yang ada.

Dari uraian di atas diketahui bahwa titik pandang sistem harus melihat sistem dari atas ke bawah, bukan sebaliknya dari bawah

ke atas. Dengan kata lain, perhatian pertama harus diarahkan kepada sistem total secara keseluruhan beserta interaksi dengan lingkungannya, baru kemudian secara bertahap memperhatikan hirarki sistem yang lebih rendah.

Sebuah konsep sistem menuntut perancangannya untuk memper-timbangkan sistem sebagai suatu kesatuan secara menyeluruh, jadi dalam hal ini memperhatikan sistem total. Dalam kenyataannya, mungkin sistem total itu terlalu besar untuk dianalisis secara terinci sehingga sistem total itu perlu diuraikan ke dalam subsistem-subsistem. Batas dan jalinan (interface) ditelaah secara cermat untuk menjamin bahwa hubungan di antara subsistem dapat didefinisikan secara jelas bahwa semua subsistem adalah merupakan keseluruhan sistem (sistem total). Proses pengunsuran (factoring) mengijinkan pembagian subsistem menjadi subsistem yang lebih kecil sehingga mencapai ukuran yang mudah ditangani. Subsistem hasil pengunsuran ini biasanya membentuk hirarki. Hubungan hirarki dalam sistem dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2  
Hubungan Hirarki dalam Sistem

Sebuah contoh proses pengunsuran adalah sistem pemrosesan informasi. Walaupun sistem yang dipelajari adalah sistem informasi, namun terlalu banyak rincian dalam sistem itu untuk dipelajari secara cermat sekaligus. Oleh karena itu dilakukan pembagian ke dalam subsistem-subsistem, sebagai berikut:

1. Sistem informasi (sistem total) dibagi menjadi subsistem-subsistem berikut:
  - a) Pemasukan pesanan dan penjualan
  - b) Persediaan (inventory)

- c) Produksi
- d) Personalia dan daftar gaji
- e) Pembelian
- f) Akunting dan pengendalian
- g) Perencanaan
- h) Penelitian lingkungan
- i) Dan lain-lain.

2. Setiap subsistem dibagi menjadi subsistem yang lebih kecil, sebagai contoh subsistem personalia dan daftar gaji dapat dibagi lagi menjadi:

- d<sub>1</sub>) Penyiapan data input catatan personalia
- d<sub>2</sub>) Penyesuaian file daftar gaji personalia
- d<sub>3</sub>) Laporan-laporan personalia
- d<sub>4</sub>) Penyiapan data input daftar gaji
- d<sub>5</sub>) Daftar gaji harian
- d<sub>6</sub>) Daftar gaji bulanan
- d<sub>7</sub>) Laporan daftar gaji untuk manajemen
- d<sub>8</sub>) Laporan daftar gaji untuk pihak yang berwenang/pemerintah
- d<sub>9</sub>) Audit personalia dan daftar gaji.
- d<sub>10</sub>) Dan lain-lain.

Selanjutnya dapat saja subsistem-subsistem d<sub>1</sub> sampai d<sub>10</sub> dipecah lagi ke dalam subsistem lain pada hirarki yang lebih rendah agar memungkinkan lebih mudah ditangani. Yang terpenting bahwa kita harus memandang semua subsistem yang didefinisikan sebagai satu kesatuan sistem secara utuh (sistem total), dalam kasus yang dikemukakan merupakan sistem informasi secara keseluruhan (sistem total informasi).

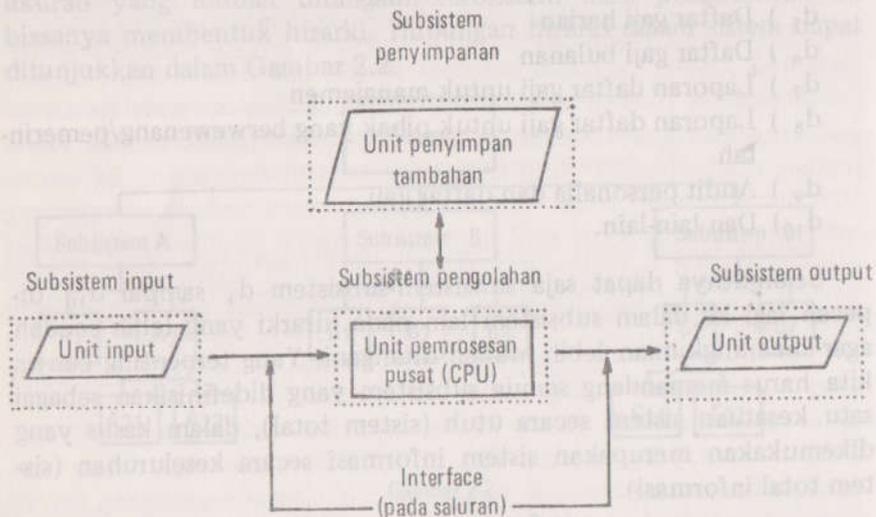
Seperti telah dikemukakan bahwa setiap sistem terdiri dari beberapa subsistem. Masing-masing subsistem mempunyai batas yang jelas dan tegas serta saling berinteraksi dengan subsistem lain. Saling kaitan dan interaksi di antara subsistem disebut jalinan (interface). Interface terjadi pada batas dan dapat berbentuk input atau output berupa material, energi, dan/atau informasi.

Contoh subsistem dan interface pada batasnya dapat dikemukakan secara konkrit dalam Tabel 2.2, serta dalam beberapa bentuk gambar.

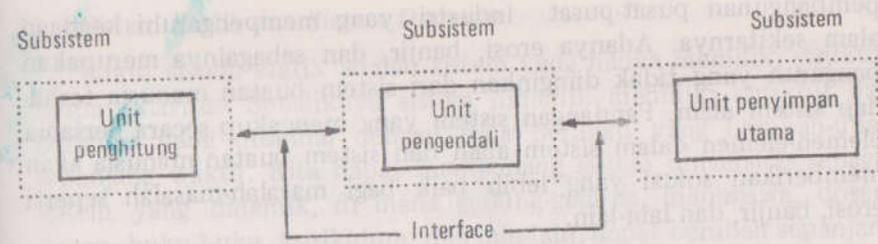
Tabel 2.2

Contoh Sistem Komputer Beserta Subsistemnya

Sistem	Subsistem	Interface pada batas
Komputer	Unit input Unit pemrosesan pusat Unit output Unit penyimpanan tambahan	Saluran
Unit pemrosesan pusat (CPU)	Unit penghitung Unit pengendali Unit penyimpanan utama	Kawat penghubung



Gambar 2.3  
Konfigurasi Sistem Komputer



Gambar 2.4  
Pembagian Lebih Lanjut dari Subsistem Unit Pemrosesan Pusat (CPU)

## 2.2. KLASIFIKASI SISTEM

Pada dasarnya sistem dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa cara yang akan dikemukakan berikut ini.

### 1. Sistem Alam (Natural) dan Sistem Buatan Manusia

Sistem alam (natural) merupakan sistem yang terbentuk melalui proses alam. Sebagai contoh, sebuah sungai merupakan sistem alam. Demikian pula, gunung merupakan sistem alam. Sistem alam menunjukkan derajat yang tinggi dalam susunan dan keseimbangan. Hal ini ditunjukkan dalam musim, rantai makanan, siklus udara, dan seterusnya. Organisme dan tanaman hidup mengadaptasi diri mereka untuk mempertahankan keseimbangan dengan lingkungan. Setiap kejadian dalam alam disertai dengan adaptasi yang cocok. Dalam lingkungan alam tidak ada kematian yang berakhir, tidak ada sisa, yang ada hanyalah sirkulasi kembali secara terus-menerus (continual recirculation).

Sistem buatan manusia ditandai dengan adanya intervensi manusia melalui elemen-elemen, atribut-atribut, atau hubungan-hubungan. Dengan demikian sistem itu terbentuk setelah adanya campur tangan manusia. Sebagai contoh, sebuah jembatan yang dibangun melintasi sungai dipandang sebagai sistem buatan manusia. Jalinan (interface) penting sering ada di antara sistem buatan manusia dan sistem alam. Masing-masing mempengaruhi yang lain dengan berbagai cara. Pengaruh sistem buatan manusia terhadap alam telah menjadi subyek penting untuk studi akhir-akhir ini yang dilakukan para peneliti/ahli, sebagai contoh mempelajari pengaruh-pengaruh yang tidak diinginkan. Contoh yang baik dari dampak sistem buatan manusia pada sistem alam adalah munculnya sekumpulan masalah yang berkaitan dengan pembangunan waduk, pembangunan jembatan,

pembangunan pusat-pusat industri, yang mempengaruhi keadaan alam sekitarnya. Adanya erosi, banjir, dan sebagainya merupakan pengaruh yang tidak diinginkan dari sistem buatan manusia terhadap sistem alam. Pandangan sistem yang mencakup secara bersama elemen-elemen dalam sistem alam dan sistem buatan manusia akan memberikan solusi yang lebih baik bagi masalah-masalah seperti erosi, banjir, dan lain-lain.

## 2. Sistem Fisik dan Sistem Konseptual

Sistem fisik ditandai melalui perwujudan (manifestasi) diri mereka dalam bentuk fisik. Sistem fisik disusun dari elemen-elemen nyata dan dapat diperbandingkan dengan sistem konseptual, di mana dalam sistem konseptual simbol-simbol dipergunakan untuk menggambarkan atribut-atribut dari elemen-elemen. Sistem konseptual sering disebut juga sebagai sistem abstrak. Ide-ide, rencana-rencana, konsep-konsep, dan hipotesis-hipotesis merupakan contoh dari sistem konseptual atau sistem abstrak.

Jika sistem fisik menempati ruang fisik, maka sistem konseptual merupakan organisasi dari ide-ide. Sistem konseptual adalah sekumpulan rencana-rencana dan spesifikasi untuk sistem fisik sebelum mereka secara nyata diwujudkan dalam bentuk fisik. Suatu sistem fisik yang diajukan dapat disimulasikan dalam bentuk abstrak melalui model-model matematik atau model konseptual lainnya. Suatu sistem konseptual sering memainkan peranan penting dalam operasi dari sistem fisik dalam dunia nyata.

Totalitas dari elemen-elemen, atribut-atribut, dan hubungan-hubungan berfokus pada hasil tertentu melalui suatu proses dalam sistem. Suatu proses dapat berupa mental (berpikir, merencanakan, belajar), mental-motor (menulis, menggambar, menguji), atau mekanikal (mengoperasikan, memfungsikan, menghasilkan). Proses-proses ini ada dalam sistem fisik maupun sistem konseptual.

Proses itu terjadi pada banyak tingkat yang berbeda dalam sistem fisik maupun sistem konseptual. Proses subordinasi yang penting terhadap operasi dari sistem total ditetapkan oleh subsistem. Subsistem itu mungkin pada gilirannya tergantung pada subsistem yang lebih terinci. Kompleksitas sistem menggambarkan banyaknya subsistem itu ada, yang juga menandakan banyaknya proses itu tercakup. Dalam kenyataannya, suatu sistem dapat dibatasi untuk keperluan studi pada salah satu proses atau tingkat subsistem tertentu.

## 3. Sistem Statik dan Sistem Dinamik

Suatu sistem statik adalah sistem yang hanya memiliki struktur tanpa aktivitas. Sebaliknya sistem dinamik memiliki struktur dan aktivitas yang ditandai dengan pola perilaku yang berubah-ubah sepanjang waktu. Kita dapat memandang sistem universitas sebagai sistem yang dinamik, di mana gedung-gedung, mahasiswa, dosen-dosen, buku-buku, kurikulum, dan lain-lain, dapat berubah sepanjang waktu. Demikian pula sistem ekonomi Indonesia merupakan sistem dinamik, di mana perilakunya selalu berubah sepanjang waktu. Dalam kenyataannya banyak sistem di alam ini bersifat dinamik dan diakui bahwa sistem statik hanya terbatas pada kerangka referensi. Sebagai misal, sistem jembatan yang mungkin dalam jangka pendek dapat dianggap sebagai sistem statik karena tidak berubah, namun dalam jangka panjang ia dapat dianggap sebagai sistem dinamik karena mungkin ada perubahan-perubahan yang dilakukan manusia pada jembatan itu.

## 4. Sistem Tertutup dan Sistem Terbuka

Suatu sistem tertutup beroperasi tanpa interaksi dengan lingkungannya. Dalam fisika, sistem tertutup didefinisikan sebagai sebuah sistem yang berdiri sendiri (self-contained), di mana sistem itu tidak bertukar material, energi, dan/atau informasi dengan lingkungannya. Sebagai contoh adalah sistem reaksi kimia dalam sebuah tabung berisolasi dan tertutup. Sistem tertutup semacam ini pada akhirnya akan bercerai-berai. Dalam klasifikasi sistem, sistem tertutup dibagi ke dalam sistem tertutup secara absolut dan sistem tertutup secara relatif. Sistem tertutup secara relatif ditandai dengan adanya sedikit interaksi dengan lingkungan, jadi dalam hal ini sistem tertutup secara relatif masih berinteraksi dengan lingkungan meskipun sangat terbatas, sedangkan sistem tertutup secara absolut sama sekali tidak berinteraksi dengan lingkungannya. Sebuah program komputer dapat dipandang sebagai sistem yang tertutup secara relatif, karena hanya menerima input yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian mengolahnya, dan memberikan output yang juga telah ditentukan sebelumnya.

Sistem terbuka mengijinkan material (persoalan-persoalan), energi, dan/atau informasi untuk melewati batas sistem itu. Dalam hal ini sistem berinteraksi dengan lingkungannya.

Sistem manufaktur, sistem ekologi, dan sistem organisasi bisnis dapat dijadikan contoh bagi sistem terbuka, karena mereka berin-

teraksi dengan lingkungannya. Sistem terbuka memiliki karakteristik berada dalam keadaan mantap (steady state), di mana interaksi dinamik dari elemen-elemen sistem menyesuaikan diri terhadap perubahan-perubahan dalam lingkungan. Oleh karena keadaan mantap ini, maka sistem terbuka memiliki sifat adaptasi dan mengatur sendiri, sehingga dapat meneruskan keberadaannya (eksistensinya).

Sistem organisasi bisnis biasanya memiliki kemampuan beradaptasi dengan lingkungannya. Dalam kenyataannya, sifat adaptasi ini diperlukan oleh organisasi bisnis dalam menghadapi persaingan dan pasar yang berubah. Organisasi yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan, biasanya akan tersingkir.

### 2.3. JENIS-JENIS PERMASALAHAN MENGENAI SISTEM

Pada dasarnya setiap sistem memiliki dua sifat penting yang berkaitan dengan (1) aspek perilaku, dan (2) aspek struktur. Dengan demikian permasalahan yang berkaitan dengan sistem pada dasarnya akan menyangkut *perilaku sistem* dan *struktur sistem*.

Kita akan membicarakan perilaku sistem hanya jika kedua input (stimulus) dan output (respons) secara bersama didefinisikan. Dengan mengamati perilaku sistem, maka kita akan memahami ketergantungan respons (output) pada stimulus (input).

Struktur sistem berkaitan dengan susunan (organisasi) dari rangkaian di antara elemen-elemen sistem.

Dalam sistem, struktur dan perilaku memiliki hubungan yang sangat erat, di mana hubungan mereka dapat dinyatakan melalui dua pernyataan berikut:

1. Suatu perilaku tertentu berhubungan secara unik terhadap struktur tertentu.
2. Perilaku tertentu yang berhubungan dengan suatu kelas struktur didefinisikan berdasarkan perilaku ini.

Pada prinsipnya, masalah-masalah mengenai sistem dapat diklasifikasikan secara garis besar, sebagai berikut:

1. Untuk sistem yang belum ada, maka strukturnya dirancang agar merealisasikan rancangan yang memiliki perilaku sesuai dengan yang diinginkan/diharapkan.
2. Untuk sistem yang sudah ada (dalam kenyataan atau hanya sebagai suatu rancangan) dan strukturnya diketahui, maka perilakunya ditentukan pada basis dari struktur yang diketahui itu.

3. Untuk sistem yang sudah ada (dalam kenyataan) tetapi kita tidak mengenalnya serta strukturnya tidak dapat ditentukan secara langsung, maka permasalahannya adalah mengetahui perilaku dari sistem itu serta strukturnya.

Dalam kasus 1, kita membicarakan tentang sintesis sistem, dalam kasus 2 berkaitan dengan analisis sistem, sedangkan kasus 3 merupakan persoalan "kotak hitam" (black box).

### Perilaku Sistem

Pada dasarnya perilaku sistem berkaitan dengan transformasi dari input ke dalam output, sehingga dengan mengamati perilaku maka kita akan memperoleh pemahaman tentang ketergantungan respons (output) pada stimulus (input). Setiap sistem memiliki input dan output. Jika kita mengasumsikan bahwa input (atau output) itu terdiri dari input-input parsial (atau output-output parsial) dengan masing-masing memiliki sifat yang khas, maka secara matematik kita boleh menulis sejumlah input parsial itu dengan simbol  $p$  ( $p \geq 1$ ) dan sejumlah output parsial itu dengan simbol  $q$  ( $q \geq 1$ ). Selanjutnya nilai-nilai dari input parsial sering disebut sebagai stimulus parsial biasanya dinotasikan sebagai  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_p$ . Sedangkan nilai-nilai dari output parsial sering disebut sebagai respons parsial biasanya dinotasikan sebagai  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_q$ .

Stimulus parsial dapat dipandang sebagai suatu komponen dari vektor dalam ruang berdimensi  $p$ . Jika kita menuliskan vektor ini sebagai  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  dan menyebutnya sebagai vektor input atau vektor stimulus, atau disingkat saja dengan stimulus, maka dengan cara yang sama kita boleh menuliskan vektor output atau vektor respons atau secara singkat disebut saja sebagai respons menggunakan notasi  $y = (y_1, y_2, \dots, y_q)$ , di mana respons parsial ini dapat dipandang sebagai suatu komponen dari vektor dalam ruang berdimensi  $q$ .

Berdasarkan uraian yang dikemukakan, maka perilaku sistem dapat dinyatakan secara umum sebagai transformasi  $T$  dari vektor  $x$  ke dalam vektor  $y$ , yang dapat dinyatakan dalam hubungan (2.1).

$$\boxed{y = T(x)} \quad (2.1)$$

di mana  $T$  adalah operator transformasi.

Dalam sistem, transformasi (2.1) dapat mengambil satu nilai tertentu atau banyak nilai. Jika transformasi itu bernilai tunggal, maka hal ini menunjukkan bahwa setiap stimulus berhubungan dengan respons tunggal. Dalam kasus semacam ini, maka respons parsial merupakan fungsi dari stimulus parsial yang dapat dinyatakan dalam bentuk hubungan fungsional (2.2) atau dalam bentuk vektor dinyatakan dalam bentuk hubungan fungsional (2.3).

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, \dots, x_p) \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, \dots, x_p) \\ y_q &= f_q(x_1, x_2, \dots, x_p) \end{aligned} \quad (2.2)$$

atau,

$$y = f(x) \quad (2.3)$$

di mana  $f_1, f_2, \dots, f_q$  merupakan fungsi dari  $p$  buah variabel bebas  $x_1, x_2, \dots, x_p$ , sedangkan  $f$  adalah fungsi vektor dari variabel bebas vektor  $x$ .

Perilaku sistem yang ditunjukkan melalui transformasi nilai tunggal (2.2) atau (2.3) disebut sebagai *perilaku kombinatorial* (combinatorial behaviour), karena dalam kasus ini respons parsial secara unik ditentukan oleh kombinasi dari stimulus parsial.

Apabila transformasi (2.1) mengambil banyak nilai, maka hal ini akan dicirikan oleh adanya paling sedikit satu stimulus yang berhubungan dengan lebih dari satu respons. Dalam kasus ini, maka kita harus mempertimbangkan dua kemungkinan berikut:

1. Perilaku sekuensial (sequential behaviour), di mana respons berbeda dari sistem terhadap stimulus yang sama juga berbeda. Perilaku sekuensial ditandai dengan adanya sekuens dari stimulus yang mendahului stimulus tertentu dalam mempengaruhi respons.
2. Perilaku acak (random behaviour), di mana transformasi (2.1) dapat ditentukan hanya secara statistik. Jika sifat-sifat statistik dari sistem ini tidak berubah selama keberadaannya, maka ia mungkin menyatakan transformasi ini dalam bentuk (2.3), di

mana  $f$  merupakan fungsi peluang atau fungsi probabilitas (probability function).

Perilaku sekuensial dan kombinatorial biasanya dinamakan sebagai *perilaku deterministik*, sedangkan perilaku acak dinamakan sebagai *perilaku probabilistik*. Perbedaan antara perilaku deterministik dan probabilistik adalah bahwa perilaku deterministik secara unik mengikuti struktur dari sistem sedangkan perilaku probabilistik hanya dapat dinyatakan secara statistik dalam bentuk kemungkinan (peluang/probabilitas).

Dalam sistem sekuensial, respons tidak hanya tergantung pada stimulus yang sekarang tetapi juga tergantung pada stimulus terdahulu. Hal ini berarti adanya konsep "waktu reaksi" dalam sistem sekuensial. Dalam kasus ini menunjukkan adanya "time lag" tertentu di antara stimulus dan respons tertentu. "Time lag" ini yang disebut sebagai "waktu reaksi".

Jika kita menotasikan stimulus pada waktu  $t$  melalui simbol  $x_t$ , respons pada waktu  $t$  melalui simbol  $y_t$ , serta keadaan internal dari sistem pada waktu  $t$  atau  $t + \Delta t$  melalui simbol  $s_t$  atau  $s_{t+\Delta t}$ , maka perilaku dari sistem sekuensial dapat dinyatakan dalam bentuk umum, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} y_t &= f(x_t, s_t) \\ s_{t+\Delta t} &= g(x_t, s_t) \end{aligned}$$

di mana  $f$  dan  $g$  merupakan fungsi-fungsi vektor.

Jika untuk suatu pasangan tertentu  $x_t$  dan  $s_t$ , berlaku bahwa  $s_{t+\Delta t} = s_t$ , maka sistem itu dikatakan berada dalam keadaan stabil, yang berarti ia akan tetap dalam keadaan ini sampai stimulus  $x_t$  berubah. Sebaliknya jika  $s_{t+\Delta t} \neq s_t$ , maka dikatakan bahwa sistem itu berada dalam suatu keadaan tidak stabil, di mana adanya suatu perubahan "autonomous" dari keadaan internal sistem itu.

Dari uraian di atas, simbol  $\Delta t$  digunakan sebagai definisi bagi waktu yang diperlukan untuk mengubah keadaan internal pada tingkat resolusi tertentu. Jika keadaan internal dan respons dari sistem berubah secara kontinu dengan waktu, sebagai misal, jika  $f$  dan  $g$  merupakan fungsi kontinu dan  $\Delta t \rightarrow 0$ , maka sistem semacam ini disebut sebagai sistem kontinu.

Sehubungan dengan diperkenalkan komponen waktu dalam perilaku sistem, maka kita perlu mengetahui adanya dua perilaku sis-

tem yang berkaitan dengan aspek waktu ini, yaitu:

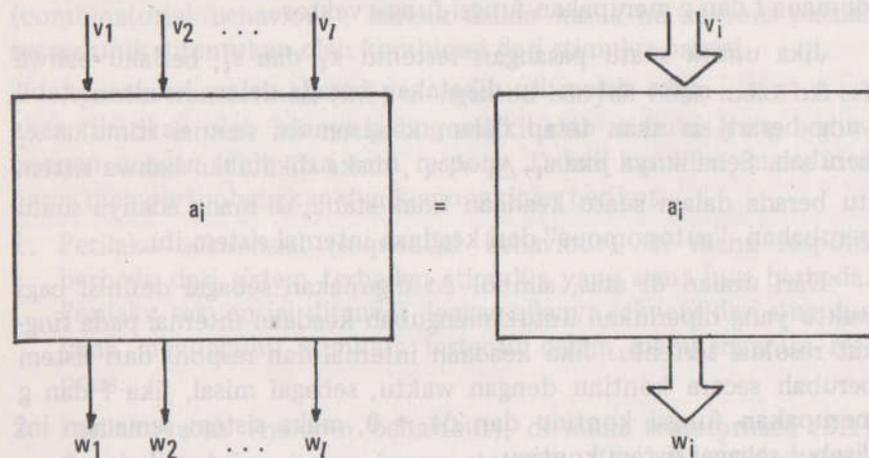
1. Perilaku diskrit, di mana keadaan dari vektor  $x$  dan  $y$  berubah secara diskrit (diskontinu) dengan waktu.
2. Perilaku kontinu, di mana keadaan dari vektor  $x$  dan  $y$  berubah secara kontinu dengan waktu.

### Struktur Sistem

Sebelum membahas tentang struktur sistem, maka perlu dikemukakan terlebih dahulu tentang metode mendasar dari rangkaian di antara dua elemen  $a_i$  dan  $a_j$ .

Dalam pembahasan akan dipergunakan beberapa notasi, oleh karena itu perlu dikemukakan notasi-notasi itu. Stimulus parsial dari elemen akan dinotasikan sebagai  $v_1, v_2, \dots, v_l$  (di mana  $l \geq 1$ ) dan stimulus total dinotasikan sebagai vektor  $v = (v_1, v_2, \dots, v_l)$ . Respons parsial dari elemen akan dinotasikan sebagai  $w_1, w_2, \dots, w_m$  (di mana  $m \geq 1$ ) dan respons total dinotasikan sebagai vektor  $w = (w_1, w_2, \dots, w_m)$ . Banyaknya input parsial dari elemen  $a_i$  akan dinotasikan dengan simbol  $l_i$  sedangkan banyaknya output parsial dari elemen  $a_i$  akan dinotasikan dengan simbol  $m_i$ .

Dalam diagram blok dari sistem, elemen-elemen akan digambarkan melalui diagram seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5.



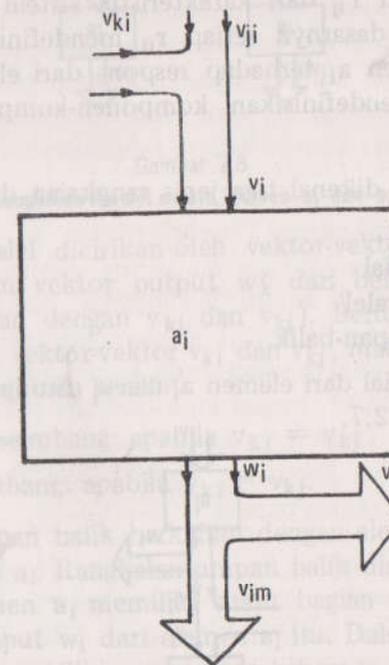
Gambar 2.5  
Diagram Blok dari Elemen  $a_i$

Catatan:  $v_i$  menyatakan stimulus dari elemen  $a_i$   
 $w_i$  menyatakan respons dari elemen  $a_i$

Suatu rangkaian di antara elemen  $a_i$  dan  $a_j$  berorientasi dari elemen  $a_i$  menuju elemen  $a_j$  akan dinotasikan sebagai vektor  $v_{ij}$ , sedangkan suatu rangkaian di antara elemen-elemen yang sama berorientasi dalam arah yang berlawanan dinotasikan sebagai  $v_{ji}$ . Rangkaian tak-nol (non-zero)  $v_{ji}$  dapat dianggap sebagai komponen bersama dari output vektor  $w_j$  dan input vektor  $v_i$ , di mana:

$$v_i = (v_{0i}, v_{1i}, \dots, v_{ni}) \quad (2.4)$$

Apabila kita ingin menggambarkan secara skematis tentang rangkaian di antara elemen-elemen sistem dalam bentuk vektor, maka dapat dipergunakan diagram seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6

Diagram yang Menunjukkan Rangkaian di antara Elemen-elemen Sistem

Dalam sistem deterministik kita harus selalu mengasumsikan terlebih dahulu bahwa setiap input parsial dari suatu elemen ber-

hubungan hanya dengan satu output parsial dari semua kemungkinan output parsial yang ada. Batasan ini tidak berlaku pada output parsial, jadi dapat saja suatu output parsial berhubungan dengan beberapa input parsial.

Pada dasarnya perilaku dari suatu elemen  $a_i$  dinyatakan sebagai transformasi  $T_i$  dari vektor  $v$  ke dalam vektor  $w$ , yang dirumuskan dalam bentuk hubungan fungsional (2.5).

$$w_i = T_i(v_i) \quad (2.5)$$

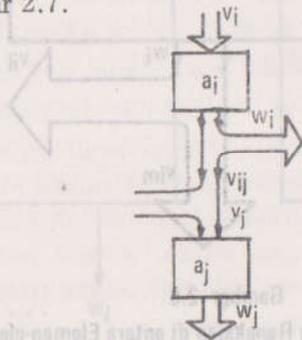
Transformasi (2.5) dapat mengambil bentuk-bentuk yang berbeda untuk setiap elemen dalam sistem sesuai dengan perilaku dari elemen itu.

Rangkaian  $v_{ij}$  di antara elemen-elemen sistem harus dibedakan dengan hubungan  $r_{ij}$  dari karakteristik sistem agar tidak membingungkan. Pada dasarnya setiap  $r_{ij}$  mendefinisikan pengaruh stimulus dari elemen  $a_i$  terhadap respons dari elemen  $a_j$ , sedangkan rangkaian  $v_{ij}$  mendefinisikan komponen-komponen bersama dari vektor  $w_i$  dan  $v_j$ .

Dalam sistem dikenal tiga jenis rangkaian di antara elemen-elemen, yaitu:

1. Rangkaian serial
2. Rangkaian paralel
3. Rangkaian umpan-balik.

Rangkaian serial dari elemen  $a_i$  dan  $a_j$  ditunjukkan secara skematis dalam Gambar 2.7.

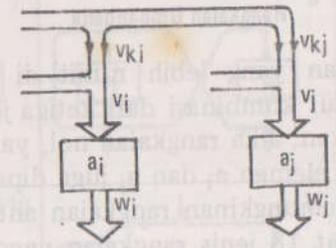


Gambar 2.7 Rangkaian Serial dari Elemen  $a_i$  dan  $a_j$

Rangkaian serial dicirikan oleh bagian dari vektor  $w_i$  (dinotasikan dengan  $v_{ij}$ ) yang membentuk bagian dari vektor  $v_j$ . Berdasarkan hubungan di antara vektor  $v_{ij}$  dan vektor-vektor  $w_i$  serta  $v_j$ , maka kita dapat membedakan empat kasus berikut:

- a) Rangkaian longgar:  $v_{ij} \neq w_i, v_{ij} \neq v_j$
- b) Rangkaian dengan input longgar (lepas):  $v_{ij} = w_i, v_{ij} \neq v_j$
- c) Rangkaian dengan output longgar (lepas):  $v_{ij} \neq w_i, v_{ij} = v_j$
- d) Rangkaian ketat:  $v_{ij} = w_i, v_{ij} = v_j$

Rangkaian paralel di antara elemen  $a_i$  dan  $a_j$  secara skematis dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.8.

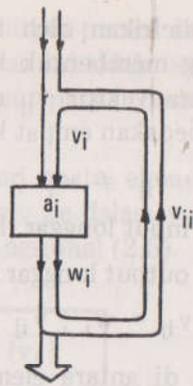


Gambar 2.8 Rangkaian Paralel antara Elemen  $a_i$  dan  $a_j$

Rangkaian paralel dicirikan oleh vektor-vektor input  $v_i$  dan  $v_j$  mengandung bagian vektor output  $w_k$  dari beberapa elemen ketiga  $a_k$  (dinotasikan dengan  $v_{ki}$  dan  $v_{kj}$ ). Berdasarkan hubungan yang ada di antara vektor-vektor  $v_{ki}$  dan  $v_{kj}$ , maka kita akan memperoleh dua kemungkinan berikut:

- a) Rangkaian tak-seimbang: apabila  $v_{ki} \neq v_{kj}$
- b) Rangkaian seimbang: apabila  $v_{ki} = v_{kj}$ .

Rangkaian umpan balik berkaitan dengan elemen tunggal, sebagai contoh elemen  $a_i$ . Rangkaian umpan balik dicirikan oleh vektor input  $v_i$  dari elemen  $a_i$  memiliki suatu bagian  $v_{ii}$  secara bersama dengan vektor output  $w_i$  dari elemen  $a_i$  itu. Dalam sistem deterministik, kita selalu memiliki persyaratan bahwa  $v_{ii} \neq v_i \neq w_i$ , karena elemen-elemen selain  $a_i$  tidak dapat digabung pada elemen-elemen sistem yang tersisa. Secara skematis rangkaian umpan balik ditunjukkan dalam Gambar 2.9.

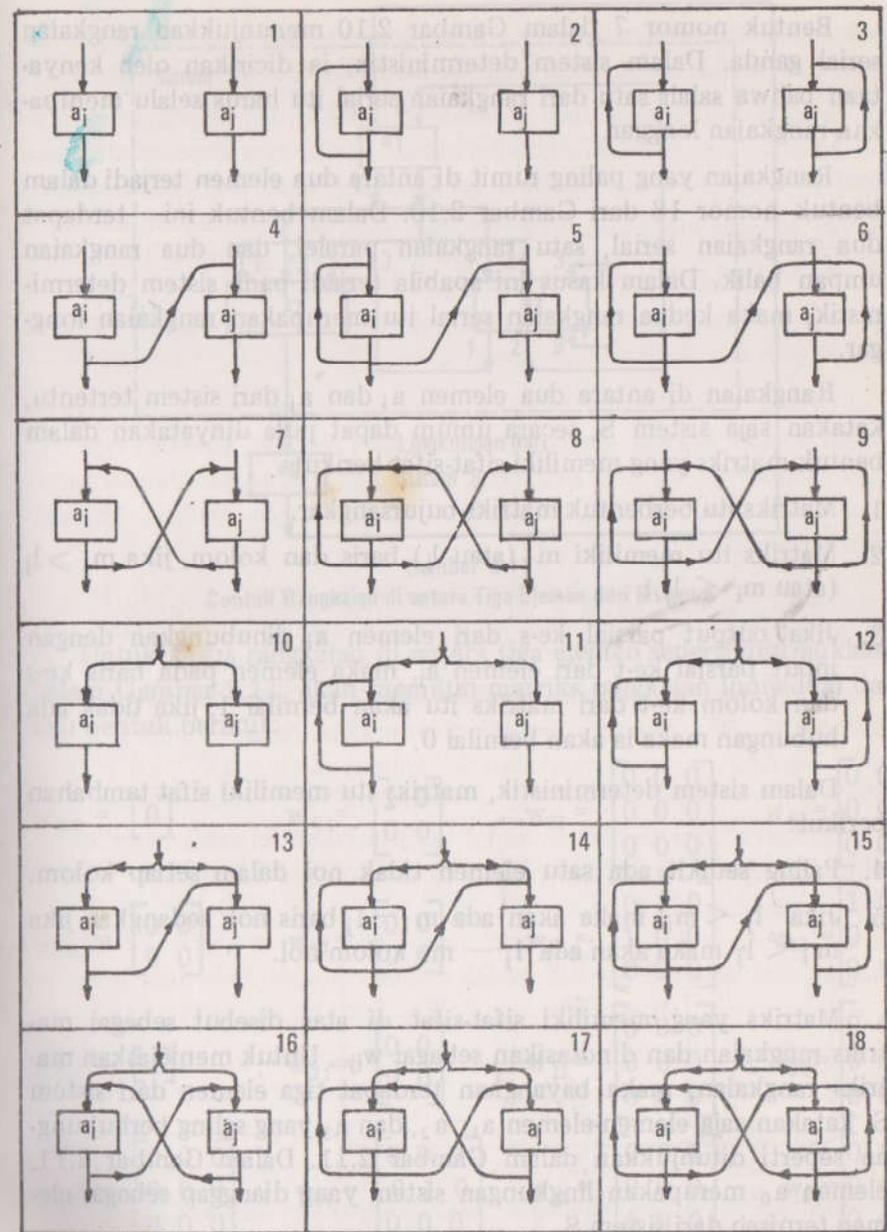


Gambar 2.9  
Rangkaian Umpanbalik

Rangkaian-rangkaian yang lebih rumit di antara dua elemen dapat diperoleh melalui kombinasi dari ketiga jenis rangkaian dasar yang telah dikemukakan. Jika rangkaian nol, yang berarti tidak ada keterkaitan di antara elemen  $a_i$  dan  $a_j$  juga dipertimbangkan dalam menyusun berbagai kemungkinan rangkaian antara elemen  $a_i$  dan  $a_j$ , maka akan terdapat 18 jenis rangkaian yang ada di antara dua elemen dari sistem. Bentuk semua rangkaian itu ditunjukkan dalam Gambar 2.10.

Rangkaian serial-paralel (bentuk nomor 13, 14, dan 15) dalam Gambar 2.10 terbentuk apabila secara simultan rangkaian serial dan paralel itu ada di antara dua elemen. Perlu dicatat bahwa dalam sistem deterministik untuk kasus rangkaian serial-paralel, maka rangkaian serial mungkin mengambil kasus salah satu dari rangkaian longgar atau rangkaian dengan input longgar (kasus a atau b dalam rangkaian serial). Tidak ada kasus lain yang mungkin, karena elemen  $a_j$  memperoleh inputnya tidak hanya dari rangkaian serial, tetapi juga dari rangkaian paralel.

Jika dalam beberapa jenis rangkaian, rangkaian serial terjadi bersama dengan umpan balik (bentuk nomor 5, 8, 14, dan 17 dalam Gambar 2.10), maka rangkaian serial itu tidak dapat menjadi ketat (tidak mengambil kasus d dalam rangkaian serial) dalam sistem deterministik. Apabila kita memperhatikan kasus terdapatnya dua sirkuit umpan balik (bentuk nomor 6, 9, 15, dan 18 dalam Gambar 2.10), maka rangkaian serial itu harus merupakan rangkaian longgar.



Gambar 2.10.  
Berbagai Bentuk Rangkaian Di Antara Dua Elemen Sistem,  $a_i$  dan  $a_j$

Bentuk nomor 7 dalam Gambar 2.10 menunjukkan rangkaian serial ganda. Dalam sistem deterministik, ia dicirikan oleh kenyataan bahwa salah satu dari rangkaian serial itu harus selalu merupakan rangkaian longgar.

Rangkaian yang paling rumit di antara dua elemen terjadi dalam bentuk nomor 18 dari Gambar 2.10. Dalam bentuk ini terdapat dua rangkaian serial, satu rangkaian paralel, dan dua rangkaian umpan balik. Dalam kasus ini apabila terjadi pada sistem deterministik, maka kedua rangkaian serial itu merupakan rangkaian longgar.

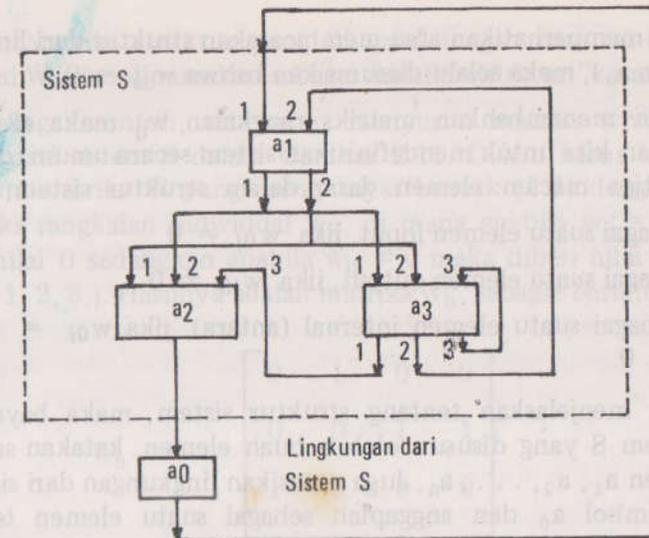
Rangkaian di antara dua elemen  $a_i$  dan  $a_j$  dari sistem tertentu, katakan saja sistem S, secara umum dapat pula dinyatakan dalam bentuk matriks yang memiliki sifat-sifat berikut:

1. Matriks itu berbentuk matriks bujursangkar.
2. Matriks itu memiliki  $m_i$  (atau  $l_j$ ) baris dan kolom, jika  $m_i \geq l_j$  (atau  $m_i < l_j$ ).
3. Jika output parsial ke-s dari elemen  $a_i$  dihubungkan dengan input parsial ke-t dari elemen  $a_j$ , maka elemen pada baris ke-s dan kolom ke-t dari matriks itu akan bernilai 1, jika tidak ada hubungan maka ia akan bernilai 0.

Dalam sistem deterministik, matriks itu memiliki sifat tambahan berikut:

4. Paling sedikit ada satu elemen tidak nol dalam setiap kolom.
5. Jika  $l_j < m_i$ , maka akan ada  $m_i - l_j$  baris nol; sedangkan jika  $m_i < l_j$  maka akan ada  $l_j - m_i$  kolom nol.

Matriks yang memiliki sifat-sifat di atas disebut sebagai matriks rangkaian dan dinotasikan sebagai  $w_{ij}$ . Untuk menjelaskan matriks rangkaian, maka bayangkan terdapat tiga elemen dari sistem S, katakan saja elemen-elemen  $a_1$ ,  $a_2$ , dan  $a_3$  yang saling berhubungan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11. Dalam Gambar 2.11, elemen  $a_0$  merupakan lingkungan sistem yang dianggap sebagai elemen terpisah dari sistem S.



Gambar 2.11  
Contoh Rangkaian di antara Tiga Elemen dari Sistem S

Untuk kasus rangkaian di antara tiga elemen seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11, akan memiliki matriks rangkaian individual dalam bentuk berikut:

$$\begin{aligned}
 w_{00} &= [0] & w_{01} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{02} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{03} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \\
 w_{10} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{11} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{12} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{13} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \\
 w_{20} &= [1] & w_{21} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{22} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{23} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \\
 w_{30} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{31} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{32} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} & w_{33} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Jika matriks  $w_{ij}$  hanya berisi nilai-nilai 0, maka ia disebut sebagai matriks nol dan dinotasikan sebagai  $w_{ij} = 0$ . Sedangkan untuk matriks bukan nol, artinya tidak semua unsur matriks itu bernilai 0, maka matriks itu dinyatakan sebagai  $w_{ij} \neq 0$ . Di samping itu karena

kita tidak memperhatikan atau membicarakan struktur dari lingkungan (elemen  $a_0$ ), maka selalu diasumsikan bahwa  $w_{00} = 0$ .

Dengan menambahkan matriks rangkaian  $w_{ij}$  maka akan memungkinkan kita untuk mendefinisikan sistem secara umum, di mana terdapat tiga macam elemen dasar dalam struktur sistem, yaitu:

1.  $a_i$  sebagai suatu elemen input, jika  $w_{0i} \neq 0$
2.  $a_i$  sebagai suatu elemen output, jika  $w_{i0} \neq 0$
3.  $a_i$  sebagai suatu elemen internal (antara), jika  $w_{0i} = 0$  dan  $w_{i0} = 0$ .

Untuk menjelaskan tentang struktur sistem, maka bayangkan suatu sistem S yang disusun oleh  $n$  buah elemen, katakan saja elemen-elemen  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . Juga notasikan lingkungan dari sistem S melalui simbol  $a_0$  dan anggaplah sebagai suatu elemen terpisah dari sistem S.

Di antara setiap pasang elemen  $a_i$  dan  $a_j$  (untuk  $i, j = 0, 1, \dots, n$ ) akan terdapat salah satu matriks nol atau matriks bukan nol,  $w_{ij}$ . Banyaknya matriks rangkaian  $w_{ij}$  yang mungkin adalah  $(n + 1)^2$ . Sebagai misal, dalam kasus sistem S yang disusun oleh tiga elemen  $a_1, a_2$ , dan  $a_3$  seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11, akan terdapat matriks rangkaian  $w_{ij}$  sebanyak  $(n + 1)^2 = (3 + 1)^2 = 16$ .

Struktur dari sistem S dapat digambarkan melalui matriks W, yang dibangun dari matriks rangkaian  $w_{ij}$ , sebagai berikut:

$$W = \begin{bmatrix} W_{00} & W_{01} & \dots & W_{0n} \\ W_{10} & W_{11} & \dots & W_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{n0} & W_{n1} & \dots & W_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Matriks W dikenal sebagai matriks struktur dari sistem S. Jika kita mensubstitusikan salah satu, 0 (jika  $w_{ij} = 0$ ) atau 1 (jika  $w_{ij} \neq 0$ ), untuk elemen-elemen  $w_{ij}$  dalam matriks struktur, maka akan menghasilkan gambaran kasar dari struktur sistem S. Dengan cara ini akan memungkinkan kita untuk memisahkan pasangan elemen-elemen yang berangkai dari pasangan-pasangan lain yang tidak berangkai, tanpa memandang sifat-sifat spesifik dari rangkaian individu-

al itu. Matriks struktur yang disusun dengan cara ini dinotasikan sebagai  $W_h$  dan dinamakan sebagai matriks struktur "kasar".

Sebagai contoh, kita akan menyusun matriks struktur secara kasar dari sistem S dalam Gambar 2.11. Dalam kasus ini kita menyusun matriks W yang mempunyai bentuk (2.6) dengan matriks-matriks rangkaian individual  $w_{ij}$ , di mana apabila  $w_{ij} = 0$  maka diberi nilai 0 sedangkan apabila  $w_{ij} \neq 0$  maka diberi nilai 1 (untuk  $i, j = 0, 1, 2, 3$ ). Hasilnya adalah matriks  $W_h$ , sebagai berikut:

$$W_h = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan demikian struktur sistem S sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.11, dapat dinyatakan dalam bentuk matriks struktur  $W_h$ , meskipun secara kasar saja.

### Analisis Sistem

Analisis sistem pada dasarnya merupakan penentuan perilaku sistem itu dari struktur yang diketahui. Jadi berdasarkan struktur sistem yang telah diketahui kita menentukan perilakunya. Berbicara tentang struktur sistem yang diketahui, maka terlebih dahulu kita harus memiliki pengetahuan tentang:

1. Perilaku dari semua elemen dalam sistem S, yaitu transformasi (2.5) untuk semua nilai  $i = 1, 2, \dots, n$ .
2. Rangkaian di antara semua pasangan dari elemen termasuk lingkungan, yaitu pengetahuan tentang matriks rangkaian dari  $v_{ij}$  untuk semua nilai  $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ .

Jika kita memandang lingkungan dari sistem S sebagai suatu elemen terpisah dan menotasikannya sebagai  $a_0$ , maka akan diperoleh:  $v_0 = y$ , dan  $w_0 = x$ , di mana  $x$  adalah stimulus dan  $y$  adalah respons dari sistem S.

Tujuan dari analisis sistem adalah menentukan hubungan yang ada di antara  $w_0$  dan  $v_0$ , yaitu:

$$v_0 = T_0(w_0) \quad (2.7)$$

Tampak bahwa bentuk hubungan (2.6) identik dengan hubungan (2.1). Untuk memperoleh bentuk (2.7) kita dapat menggunakan hubungan (2.5) yang diketahui untuk semua nilai  $i = 1, 2, \dots, n$ , dan matriks  $w_{ij}$  yang diketahui untuk semua nilai  $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ .

Prosedur aktual yang digunakan dalam analisis sistem tergantung pada pertimbangan bentuk hubungan (2.5) dan rangkaian  $w_{ij}$ , namun secara garis besar dapat mengikuti beberapa tahap berikut:

1. Mendefinisikan masalah.
2. Mengidentifikasi alternatif-alternatif yang layak.
3. Memilih kriteria evaluasi.
4. Menerapkan teknik-teknik pemodelan.
5. Membangkitkan data input.
6. Memanipulasi model.

Mendefinisikan masalah merupakan langkah awal dalam proses analisis sistem. Dalam tahap ini dijelaskan tujuan-tujuan, didefinisikan masalah-masalah yang menjadi pokok perhatian serta membatasi masalah itu agar ia dapat dipelajari secara efektif dan efisien.

Langkah kedua adalah mengidentifikasi alternatif penyelesaian masalah. Berbagai kemungkinan dipertimbangkan sejak awal, berikutnya mempertimbangkan alternatif-alternatif dan proses analisis yang lebih kompleks. Dengan demikian pada mulanya kita mendaftarkan semua kemungkinan alternatif, kemudian menyeleksi mereka sehingga terpilih alternatif yang sesuai atau yang layak.

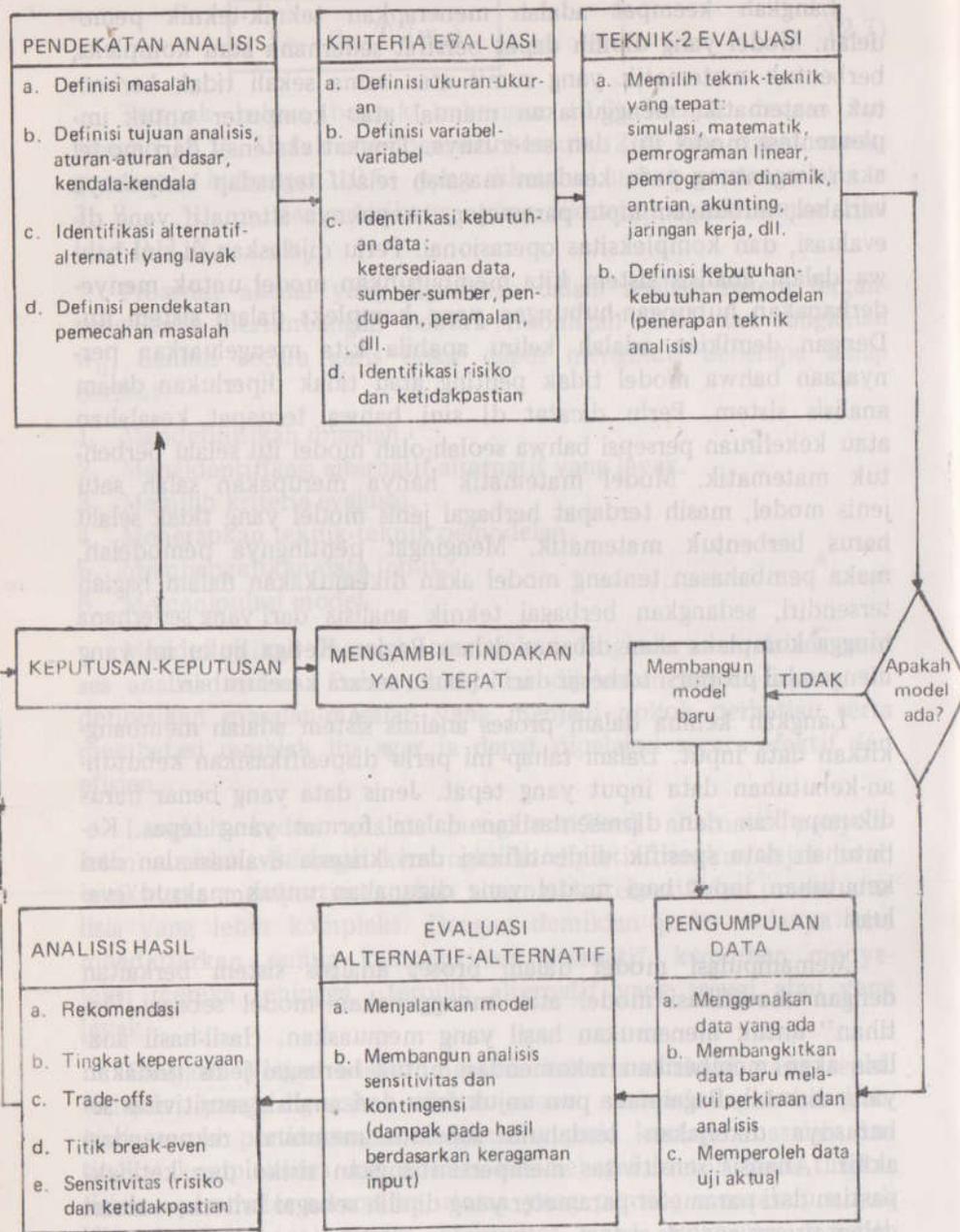
Langkah ketiga adalah memilih kriteria evaluasi yang tepat. Kriteria yang digunakan dalam proses evaluasi dapat berubah-ubah sesuai pertimbangan, tergantung pada keadaan masalah dan tingkat kompleksitas dari analisis itu. Sebagai contoh, pada tingkat sistem, parameter-parameter utama yang penting mencakup unjuk laku (performance) sistem, efektivitas biaya, efektivitas logistik, kemampuan operasional, dan sebagainya. Parameter yang dipilih sebagai kriteria evaluasi harus berhubungan secara langsung dengan pernyataan masalah.

Langkah keempat adalah menerapkan teknik-teknik pemodelan. Model yang dipilih dapat bersifat sederhana atau kompleks, berbentuk matematik yang rumit atau sama sekali tidak berbentuk matematik, menggunakan manual atau komputer untuk implementasi model itu, dan seterusnya. Tingkat ekstensif dari model akan tergantung pada keadaan masalah relatif terhadap banyaknya variabel, hubungan input-parameter, banyaknya alternatif yang dievaluasi, dan kompleksitas operasional. Perlu dijelaskan di sini bahwa dalam analisis sistem kita membutuhkan model untuk menyederhanakan hubungan-hubungan yang kompleks dalam sistem itu. Dengan demikian adalah keliru apabila kita mengeluarkan pernyataan bahwa model tidak penting atau tidak diperlukan dalam analisis sistem. Perlu dicatat di sini bahwa terdapat kesalahan atau kekeliruan persepsi bahwa seolah-olah model itu selalu berbentuk matematik. Model matematik hanya merupakan salah satu jenis model, masih terdapat berbagai jenis model yang tidak selalu harus berbentuk matematik. Mengingat pentingnya pemodelan, maka pembahasan tentang model akan dikemukakan dalam bagian tersendiri, sedangkan berbagai teknik analisis dari yang sederhana hingga kompleks akan dibahas dalam Bagian Ketiga buku ini yang mengambil proporsi terbesar dari isi buku secara keseluruhan.

Langkah kelima dalam proses analisis sistem adalah membangkitkan data input. Dalam tahap ini perlu dispesifikasikan kebutuhan-kebutuhan data input yang tepat. Jenis data yang benar harus dikumpulkan dan dipresentasikan dalam format yang tepat. Kebutuhan data spesifik diidentifikasi dari kriteria evaluasi dan dari kebutuhan input bagi model yang digunakan untuk maksud evaluasi.

Memanipulasi model dalam proses analisis sistem berkaitan dengan modifikasi model atau menggunakan model sebagai "latihan" untuk menemukan hasil yang memuaskan. Hasil-hasil analisis akan memberikan rekomendasi untuk berbagai jenis tindakan yang diambil. Bagaimana pun unjuk laku dari analisis sensitivitas seharusnya dikerjakan terdahulu sebelum membuat rekomendasi akhir. Analisis sensitivitas mempertimbangkan risiko dan ketidakpastian dari parameter-parameter yang dipilih sebagai kriteria evaluasi dalam proses analisis sistem.

Secara garis besar, proses analisis sistem dapat ditunjukkan secara skematis dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12  
Skema Proses Analisis Sistem

## Sintesis Sistem

Sintesis sistem mengacu kepada usaha mengkombinasikan dan menyusun struktur dari bagian-bagian dan elemen-elemen sedemikian rupa agar membentuk kesatuan fungsional sehingga sistem dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.

Sintesis sistem dapat dikerjakan melalui analisis-analisis atau melalui pengembangan dan pengujian awal dari model-model fisik. Apabila sintesis suatu konfigurasi rancangan sistem spesifik menggunakan analisis-analisis, maka pemecahan masalah dapat menggunakan sejumlah model analisis yang berbeda, di mana model-model itu dapat dikombinasikan sedemikian rupa sehingga menghasilkan beragam faktor output. Jika demikian, maka terdapat keterkaitan yang erat antara proses analisis sistem dan sintesis sistem.

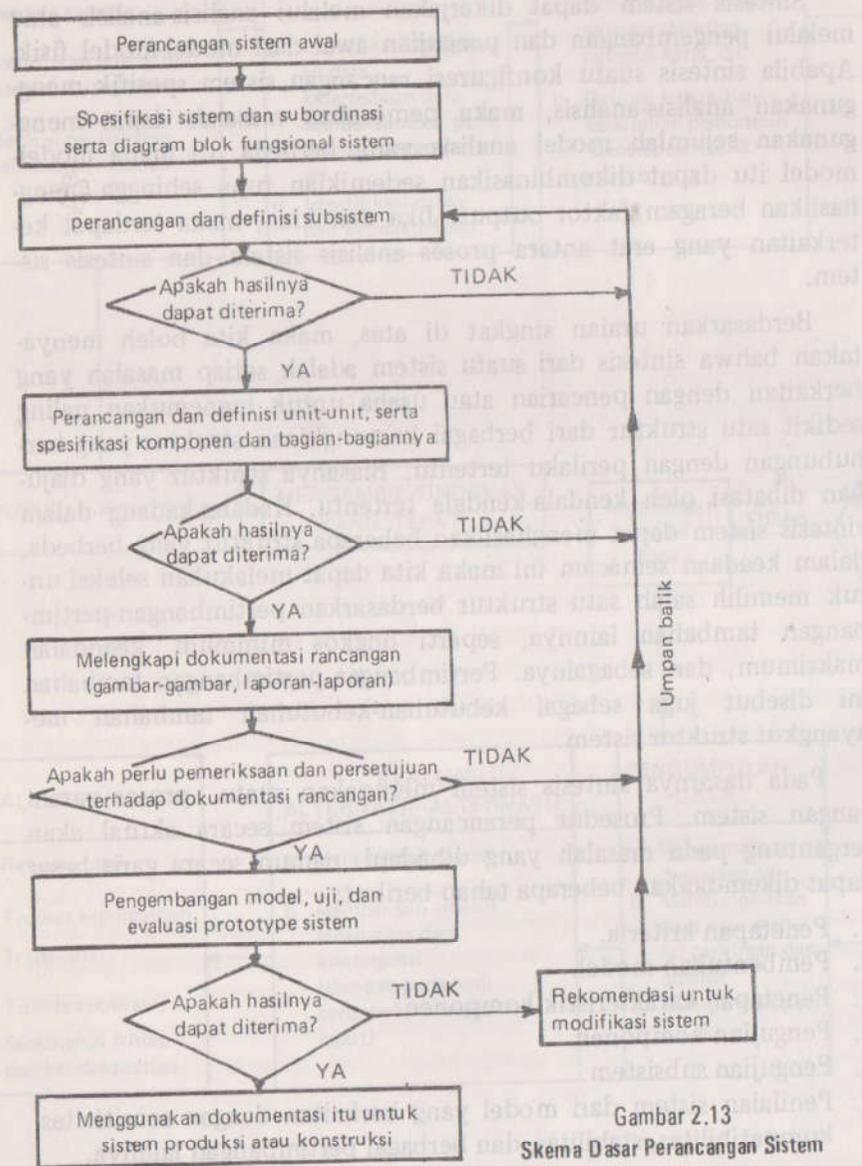
Berdasarkan uraian singkat di atas, maka kita boleh menyatakan bahwa sintesis dari suatu sistem adalah setiap masalah yang berkaitan dengan pencarian atau usaha untuk menemukan paling sedikit satu struktur dari berbagai kemungkinan struktur yang berhubungan dengan perilaku tertentu. Biasanya struktur yang diajukan dibatasi oleh kendala-kendala tertentu. Kadang-kadang dalam sintesis sistem dapat menghasilkan beberapa struktur yang berbeda, dalam keadaan semacam ini maka kita dapat melakukan seleksi untuk memilih salah satu struktur berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tambahan lainnya, seperti ongkos minimum, keandalan maksimum, dan sebagainya. Pertimbangan-pertimbangan tambahan ini disebut juga sebagai kebutuhan-kebutuhan tambahan menyangkut struktur sistem.

Pada dasarnya sintesis sistem merupakan suatu proses perancangan sistem. Prosedur perancangan sistem secara aktual akan tergantung pada masalah yang dihadapi, namun secara garis besar dapat dikemukakan beberapa tahap berikut:

1. Penetapan kriteria.
2. Pembentukan model.
3. Penetapan karakteristik komponen.
4. Pengujian komponen.
5. Pengujian subsistem.
6. Penilaian sistem dari model yang berkaitan dengan sensitivitas, kompatibilitas, stabilitas, dan berbagai pertimbangan lainnya.
7. Optimasi dan perancangan ulang (redesign).

Dari tahap-tahap yang dikemukakan tampak bahwa proses perancangan sistem merupakan suatu proses yang bersifat iteratif dan dilakukan secara kontinu.

Secara garis besar, sekuens perancangan sistem dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.13.

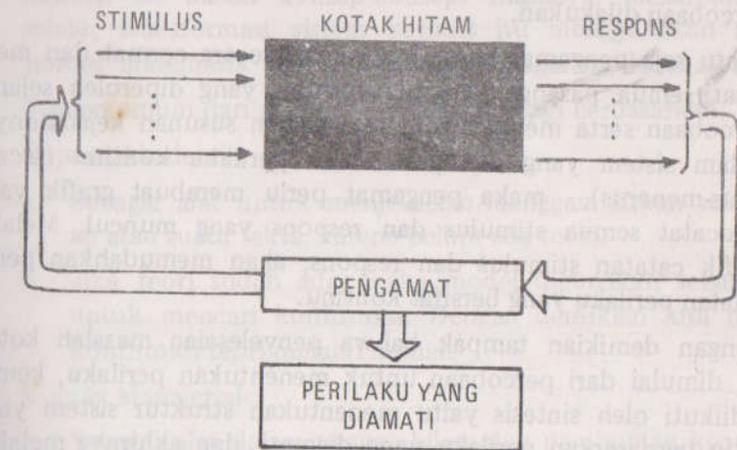


### Masalah Kotak Hitam

Seperti telah dikemukakan pada pembahasan awal dari Bagian 2.3, bahwa pada dasarnya terdapat tiga permasalahan dasar yang menyangkut studi sistem, yaitu: (1) analisis sistem, (2) sintesis sistem, dan (3) masalah kotak hitam.

Masalah kotak hitam berkaitan dengan suatu masalah di mana struktur dari sistem itu tidak diketahui sehingga perilaku dari sistem itu tidak dapat ditentukan secara langsung, tetapi harus melalui serangkaian percobaan. Dengan demikian dalam permasalahan kotak hitam, perilaku dari sistem tidak diketahui tetapi ia dapat diamati melalui serangkaian percobaan yang dibangkitkan untuk maksud itu.

Diagram blok dari suatu percobaan "kotak hitam" dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14  
Diagram Blok dari Percobaan "Kotak Hitam"

Masalah kotak hitam dapat diselesaikan dengan mengetahui hukum-hukum yang menyangkut perilaku dari sistem tertentu serta melalui pembentukan hipotesis dari struktur sistem itu. Dengan demikian apabila memungkinkan, kita perlu merumuskan hipotesis dari struktur sistem yang dipelajari, kemudian berdasarkan data pengamatan perilaku dari sistem itu kita menguji hipotesis yang telah dirumuskan itu apakah dapat diterima atau perlu ditolak. Dalam percobaan "kotak hitam", seorang pengamat dapat memberikan stimulus yang sesuai pada sistem itu kemudian mengamati dan mencatat respons yang timbul sebagai akibat diberikan stimulus itu.

Dalam melaksanakan percobaan "kotak hitam" perlu diperhatikan beberapa kondisi umum berikut:

1. Selama percobaan kotak hitam harus diisolasi secara sempurna, dalam pengertian bahwa ia tidak dapat dimasuki oleh stimulus lain di luar stimulus-stimulus yang dipertimbangkan pengamat. Jadi dalam hal ini hanya stimulus-stimulus yang diberikan oleh pengamat yang boleh memasuki kotak hitam. Tentu saja dalam beberapa sistem, misalnya sistem biologi, kondisi semacam ini hanya dapat dicapai melalui perkiraan-perkiraan, namun perlu diperhatikan agar pengaruh galat yang timbul dapat ditekan sekecil mungkin, meskipun tidak harus nol.
2. Pengamat harus memilih suatu lingkungan yang memungkinkan sistem kotak hitam itu terstimuli (terangsang) secara baik selama percobaan dilakukan.
3. Tentu saja pengamat harus mengamati secara cermat dan mencatat semua pasangan stimulus-respons yang diperoleh selama percobaan serta menyusun mereka dalam susunan kejadiannya. Dalam sistem yang memperlihatkan perilaku kontinu (secara terus-menerus), maka pengamat perlu membuat grafik yang mencatat semua stimulus dan respons yang muncul. Melalui grafik catatan stimulus dan respons, akan memudahkan pengamatan perilaku yang bersifat kontinu.

Dengan demikian tampak bahwa penyelesaian masalah kotak hitam, dimulai dari percobaan untuk menentukan perilaku, kemudian diikuti oleh sintesis yaitu menentukan struktur sistem yang mungkin berdasarkan perilaku yang diamati, dan akhirnya melakukan analisis untuk menguji apakah struktur sistem yang dihipotesiskan itu sesuai dengan perilaku yang diamati atau yang diketahui berdasarkan percobaan itu.

Secara singkat ketiga permasalahan studi sistem itu dapat dikemukakan menggunakan diagram berikut.

1. *Sintesis* : perilaku ( + kebutuhan-kebutuhan menyangkut struktur) → struktur
2. *Analisis* : struktur → perilaku.
3. *Masalah kotak hitam* : kotak hitam ( + pengetahuan awal tentang strukturnya) → percobaan → perilaku yang diamati → struktur.

#### 2.4. TINJAUAN SINGKAT TENTANG PEMODELAN SISTEM

Suatu sistem terdiri dari elemen-elemen yang saling tergantung satu sama lain dan bekerja sama untuk mencapai tujuan tertentu. Proses bekerjanya sangat kompleks sehingga untuk melihat bekerjanya hubungan ini dalam keadaan yang sebenarnya adalah mustahil (sangat tidak mungkin). Oleh karena itu, hubungan tersebut perlu disederhanakan dengan jalan merangkumkannya ke dalam suatu bentuk tertentu yang disebut *model*. Dengan demikian untuk mempelajari sistem yang kompleks itu, maka dibuat model.

Pada dasarnya ada dua aspek dari model, yaitu:

1. Representasi, yang merupakan pemetaan dari karakteristik sistem konkrit yang akan dipelajari.
2. Abstraksi, yang merupakan transformasi karakteristik sistem konkrit ke dalam konsep-konsep. Biasanya, meskipun tidak selalu, transformasi sistem konkrit itu menggunakan simbol-simbol matematik sehingga disebut sebagai model matematika.

Tujuan umum dari suatu model dapat dibagi berdasarkan:

1. Tujuan Akademik:
  - a. Sebagai alat untuk menjelaskan/menggambarkan sekumpulan atau suatu fakta, karena belum ada teori.
  - b. Jika teori sudah ada, maka model digunakan sebagai alat untuk mencari konfirmasi. Dengan demikian kita mencari konfirmasi teori melalui model.
2. Tujuan Manajerial:
  - a. Sebagai alat dalam pengambilan atau pembuatan keputusan.
  - b. Sebagai proses belajar, misalnya melalui teori permainan (game theory) tanpa perlu terjun langsung mempelajari masalah perusahaan, dan lain-lain.
  - c. Sebagai alat komunikasi, agar orang-orang dapat melihat sesuatu dengan bahasa yang sama.

Pada dasarnya terdapat empat keuntungan yang diberikan oleh model, yaitu:

1. Dapat melakukan analisis dan percobaan dengan situasi yang kompleks, di mana keadaan ini tidak mungkin untuk dilakukan pada sistem konkrit.
2. Memberikan penghematan dalam deskripsi dan penyelidikan sesuatu keadaan nyata.

3. Menghemat waktu yang digunakan dalam analisis permasalahan.
4. Memfokuskan perhatian lebih banyak pada karakteristik yang penting dari masalah.

### Klasifikasi Model

Model dapat diklasifikasikan berdasarkan delapan kriteria berikut.

#### 1. Berdasarkan fungsi:

- a. Model deskriptif, yang menggambarkan suatu fenomena. Model deskriptif menggambarkan kondisi-kondisi atau aktivitas masa sekarang atau masa lalu, namun tidak berusaha untuk meramalkan atau memberikan rekomendasi. Model ini memberikan suatu deskripsi dari situasi tanpa memberikan "reseponya". Jenis model ini misalnya: peta-peta, grafik, foto-foto, tabel-tabel, laporan keuangan, dan sebagainya.
- b. Model prediktif, yang memperkirakan atau memproyeksikan perilaku sistem. Model ini mengusulkan konsekuensi dari berbagai strategi, dan dapat meramalkan hasil dari keadaan tertentu. Jenis model ini seperti diagram keputusan, permasalahan pasar, teori antrian, PERT, dan sebagainya.
- c. Model normatif, yang menerangkan baik atau buruk unjuk laku sistem. Model ini menunjukkan apa yang seharusnya dibuat untuk mencapai tujuan sistem. Jenis model ini memilih jawaban atau penyelesaian terbaik dari berbagai alternatif yang mungkin. Semua prosedur optimasi adalah normatif.

Jenis model-model normatif seperti linear programming, integer programming, inventory economic order quantity (EOQ), quadratic programming, dan lain-lain.

#### 2. Berdasarkan struktur (morfologi):

- a. Model ikonik (iconic model), yang tepat sama dengan aslinya hanya skala yang berbeda. Jadi skalanya berbeda dari sistem nyata yang dimodelkan. Model ini memberikan tingkat kekonkritan yang tinggi yang tidak mungkin diberikan oleh model lain, namun memiliki keterbatasan dalam menggambarkan hubungan kausal (sebab akibat). Jenis model ikonik antara lain: foto-foto, maket teknik, peta-peta, model pesawat terbang kecil, planetarium, dan lain-lain.

- b. Model analog, merupakan model yang memiliki fisik yang berbeda namun mempunyai perilaku yang sama. Misalnya menganalogikan sistem peredaran darah dengan aliran air dalam pipa yang diberi pompa, menganalogikan sistem lalu lintas di jalan raya seperti sistem aliran air dalam pipa, dan sebagainya. Model ini menggunakan ciri dari suatu sistem untuk menggambarkan ciri dari sistem lain. Dengan demikian model ini analog tetapi secara fisik tidak mewakili sistem tersebut. Contoh model ini seperti diagram skematis elektrik yang menggunakan garis-garis untuk menunjukkan hubungan elektrik, bagan alir (flow chart), network graphs, diagram penjadualan, dan sebagainya.

- c. Model simbolik, yang menggambarkan perilaku sistem dalam bentuk simbol-simbol. Model ini menggunakan berbagai simbol untuk menggambarkan aspek sistem nyata dan umumnya bersifat abstrak, sering berbentuk matematik. Model ini sering lebih sulit dipahami karena tingkat abstraksi yang lebih tinggi, namun lebih efektif dalam menentukan pengaruh perubahan pada sistem konkrit. Contoh model ini seperti: simulasi montecarlo, linear programming, game theory, model-model statistik lainnya.

#### 3. Berdasarkan dimensi (ukuran):

- a. Model satu dimensi, yang merupakan model dengan satu variabel yang mempengaruhi sistem konkrit. Misalnya: model regresi sederhana, peta-peta, foto-foto, dan sebagainya.
- b. Model multidimensi, yang mempunyai lebih dari dua variabel, yang umumnya mengandung banyak variabel dalam model. Contohnya: model regresi berganda, model-model multivariate, simulasi, prototype dari pesawat, kapal, mobil, dan lain-lain.

#### 4. Berdasarkan aspek waktu:

- a. Model statik, yang merupakan model tanpa memperhitungkan faktor waktu. Contoh model ini seperti: inventory economic order quantity, diagram keputusan, teori antrian, linear programming, dan lain-lain.
- b. Model dinamik, yang memperhitungkan faktor waktu dalam menggambarkan perilaku sistem nyata. Contoh model ini adalah: dynamic programming, model-model pertumbuhan, model-model peramalan, exponentially weighted moving average, dan lain-lain.

5. Berdasarkan aspek informasi:

- a. Model deterministik, di mana kejadian yang akan terjadi telah diketahui secara pasti (peluang terhadap kejadian yang akan terjadi sama dengan satu). Contoh model ini seperti: present value, model inventory dasar, analisis marginal, teknik-teknik penjadualan, dan lain-lain.
- b. Model probabilistik, yang merupakan model berisiko, di mana keadaan yang akan terjadi diketahui nilai kemungkinannya dan dapat digambarkan secara probabilistik. Pembuat keputusan memilih strategi dengan nilai harapan yang optimum. Contoh dari model ini adalah diagram keputusan, analisis markov, statistical acceptance sampling, dan lain-lain.
- c. Model tak pasti (uncertainty model), di mana kondisi yang akan datang dan peluang yang berhubungan dengannya tidak diketahui. Pembuat keputusan harus mampu menentukan keadaan yang relevan dengan menggunakan pertimbangan-pertimbangan tertentu. Contoh model ini adalah: model keputusan minimaks, maksimin, yang tidak lain merupakan model-model pesimistik.

6. Berdasarkan tingkat generalisasi:

- a. Model khusus, yang dibuat untuk tujuan khusus agar dapat diterapkan pada masalah-masalah tertentu.
- b. Model umum, yang dapat diterapkan pada situasi yang berbeda. Contoh model ini adalah: linear programming, analisis garis tunggu (waiting line analysis), pengendalian mutu secara statistik (statistical quality control), laporan keuangan, dan lain-lain.

7. Berdasarkan derajat keterbukaan:

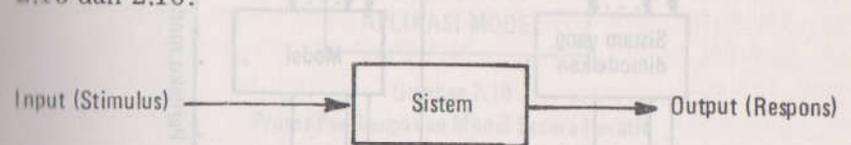
- a. Model terbuka, merupakan model yang memiliki satu atau lebih variabel eksogen (ada interaksi dengan lingkungan). Model ini dapat dipandang sebagai suatu sistem dari supra-sistem tertentu. Contoh dari model ini adalah: model input-output yang menggambarkan sistem terbuka.
- b. Model tertutup, merupakan model yang memiliki semua variabel bersifat endogen (diperoleh dari lingkungan internal dan dapat dikendalikan). Kebanyakan model termasuk dalam model tertutup.

8. Berdasarkan derajat kuantifikasi:

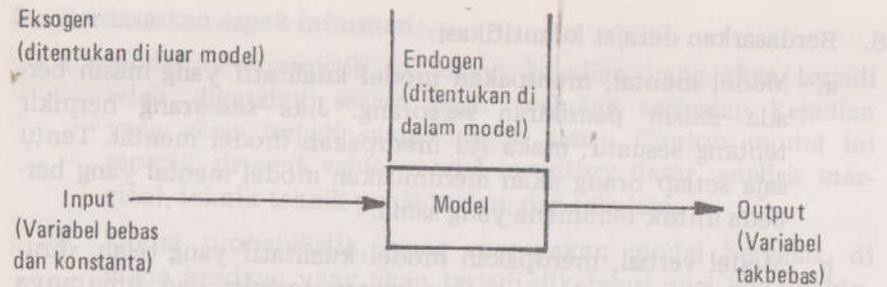
- a. Model mental, merupakan model kualitatif yang masih berada dalam pemikiran seseorang. Jika seseorang berpikir tentang sesuatu, maka itu merupakan model mental. Tentu saja setiap orang akan merumuskan model mental yang berbeda untuk fenomena yang sama.
- b. Model verbal, merupakan model kualitatif yang telah dirumuskan secara verbal atau secara tertulis dan umumnya mengikuti model mental. Dengan demikian model verbal merupakan model mental yang telah dirumuskan secara tertulis. Jadi model verbal berusaha untuk mengkomunikasikan model mental tersebut.
- c. Model kuantitatif, yang terbagi atas model-model: statistik, optimasi, heuristik, simulasi. Model heuristik merupakan model yang tidak memiliki pembuktian bahwa model tersebut paling optimal, tetapi sampai saat model itu dibangun dan dipakai, belum ada model lain yang lebih baik daripada model-model heuristik tersebut.

*Hubungan antara Model dan Sistem*

Pada dasarnya model melibatkan input-input, hubungan-hubungan, dan output-output, demikian pula dengan sistem melibatkan input-input, hubungan-hubungan, dan output-output, sehingga pada dasarnya model dan sistem memiliki perilaku yang sama. Hubungan di antara bagian-bagian sistem serta hubungan di antara bagian-bagian dari model dapat ditunjukkan secara diagram dalam Gambar 2.15 dan 2.16.

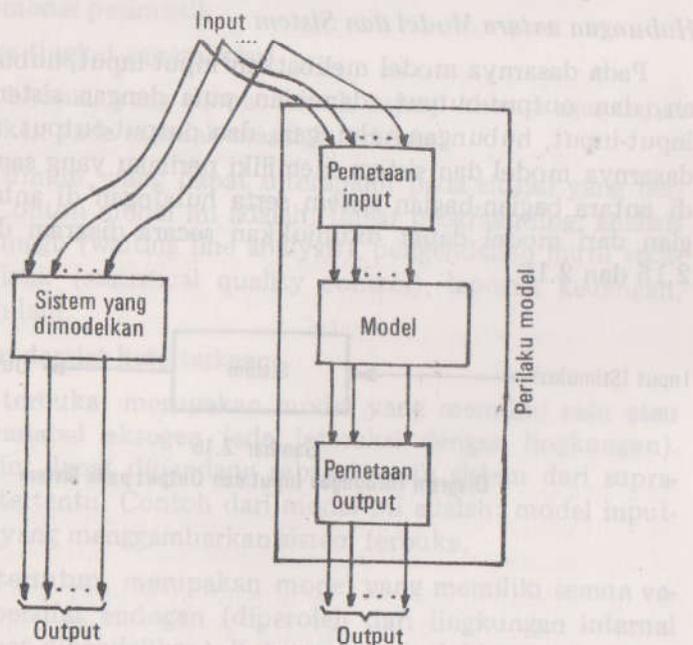


Gambar 2.15  
Diagram Hubungan Input dan Output pada Sistem



Gambar 2.16  
Diagram Hubungan Input dan Output pada Model

Dengan mengamati Gambar 2.15 dan 2.16, maka diketahui bahwa pada dasarnya perilaku dari sistem nyata dapat direpresentasikan melalui model. Dengan demikian kita boleh menyatakan bahwa model dari suatu sistem merupakan representasi dari sistem itu melalui sistem lain. Sistem lain ini adalah "model". Berdasarkan sifat ini, maka dapat ditunjukkan hubungan di antara sistem yang dimodelkan dan model, di mana keduanya memiliki perilaku yang sama. Diagram yang menunjukkan hubungan di antara sistem dan model ditunjukkan dalam Gambar 2.17.

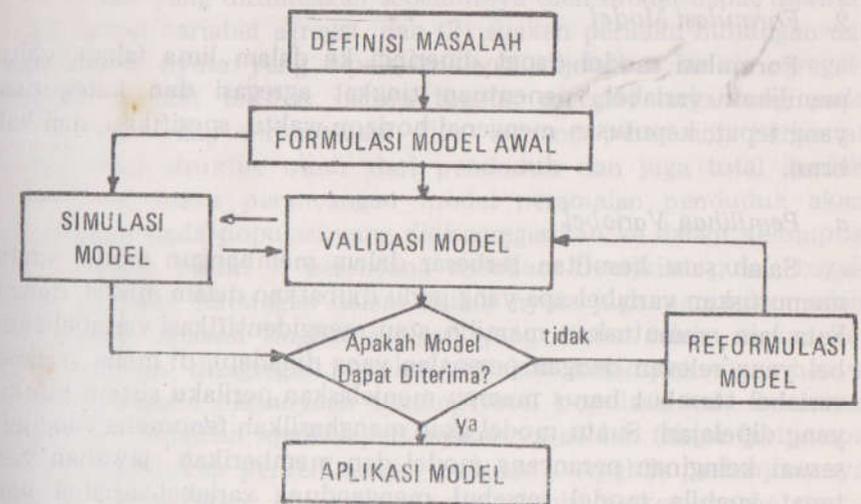


Gambar 2.17  
Diagram Hubungan antara Sistem yang Dimodelkan dan Model

Berdasarkan uraian singkat yang dikemukakan diketahui bahwa dalam studi sistem, proses pemodelan sistem menempati posisi yang strategik. Dengan demikian pemahaman terhadap proses pembangunan model dalam studi sistem adalah sangat penting. Secara garis besar, model dapat dibangun melalui beberapa tahap berikut:

1. Definisi masalah.
2. Formulasi model awal.
3. Validasi model.
4. Reformulasi model (formulasi kembali model apabila dipandang kurang tepat).
5. Aplikasi model (penggunaan model).

Proses pembangunan model secara iteratif dapat ditunjukkan menggunakan diagram seperti tampak dalam Gambar 2.18.



Gambar 2.18  
Proses Pembangunan Model Secara Iteratif

### 1. Definisi Masalah

Definisi terhadap persoalan yang dihadapi merupakan tahap awal pembangunan suatu model. Dalam mendefinisikan persoalan hendaknya dapat dirumuskan melalui pertanyaan-pertanyaan yang bersifat spesifik dan jelas, hal ini agar mempermudah dalam formulasi model seperti variabel-variabel apa yang perlu dilibatkan dalam model akan sangat tergantung pada pertanyaan-pertanyaan yang dibuat yang akan dijawab. Pertanyaan-pertanyaan yang dibuat

jangan bersifat terlalu umum, demikian pula jangan terlalu sempit, tetapi hendaknya pertanyaan tersebut dirumuskan berdasarkan fenomena yang ada dalam sistem nyata yang hendak dipelajari. Pertanyaan-pertanyaan yang perlu dirumuskan dalam bidang perencanaan kota perlu dikaitkan dengan tingkat dan lokasi dari berbagai aktivitas, seperti misalnya: berapa jumlah populasi penduduk kota di masa yang akan datang?, faktor-faktor apa yang menentukan suatu lokasi penduduk akan berkembang?, berapa luas lantai pusat perbelanjaan yang perlu disediakan di pusat kota?, berapa volume perjalanan dan arah perjalanan penduduk ke tempat kerja?, bagaimana jaringan jalan yang terbaik untuk menampung (mengakomodasikan) aliran perjalanan ke tempat kerja ini?, dan lain-lain pertanyaan spesifik yang dapat dijawab secara tegas melalui model yang akan dibangun.

## 2. Formulasi Model

Formulasi model dapat diperinci ke dalam lima tahap, yaitu: pemilihan variabel, penentuan tingkat agregasi dan kategorisasi yang tepat, keputusan mengenai horizon waktu, spesifikasi, dan kalibrasi.

### a. Pemilihan Variabel

Salah satu kesulitan terbesar dalam membangun model adalah memutuskan variabel apa yang perlu dilibatkan dalam model, dengan kata lain memutuskan memilih atau mengidentifikasi variabel-variabel yang relevan dengan persoalan yang dihadapi, di mana variabel-variabel tersebut harus mampu menjelaskan perilaku sistem konkrit yang dipelajari. Suatu model akan menghasilkan fenomena yang jelas sesuai keinginan perancang model dan memberikan jawaban yang tepat apabila model tersebut mengandung variabel-variabel yang relevan terhadap masalah, dan tidak mengandung segala sesuatu yang sebenarnya tidak penting atau tidak berkaitan dengan masalah yang dihadapi. Identifikasi variabel termasuk bagaimana hubungan di antara variabel tersebut merupakan titik awal dari formulasi model. Dengan demikian seorang perancang model harus memiliki imajinasi dan kemampuan memilih faktor-faktor yang menurut keyakinannya adalah penting, tentu saja berdasarkan situasi pengetahuan yang dimilikinya.

### b. Tingkat Agregasi dan Metode Kategorisasi

Setelah diputuskan variabel-variabel apa yang dimasukkan dalam

model, maka keputusan selanjutnya adalah bagaimana kategori dari variabel tersebut serta tingkat agregasi apa yang tepat. Sebagai contoh, populasi mungkin dapat diklasifikasikan berdasarkan umur, sex, lapangan pekerjaan, tempat tinggal, pendapatan, dan lain-lain. Pemilihan metode kategorisasi tertentu akan ditentukan oleh kegunaan dari model yang akan dibangun tersebut. Sebuah model yang memperkirakan pemilihan kendaraan oleh penduduk, mungkin secara terinci akan menggolongkan penduduk berdasarkan ukuran keluarga (besar keluarga), dan tingkat pendapatan, di sisi lain sebuah model yang dirancang untuk meramalkan besar populasi dalam suatu wilayah (area) akan lebih memperhatikan karakteristik umur dan sex (jenis kelamin) dari penduduk.

Tingkat agregasi yang dapat diterima dalam pembangunan model akan tergantung pada dua hal, yaitu: (1) apakah pertanyaan-pertanyaan yang dirumuskan sebelumnya oleh model dapat dijawab berdasarkan variabel agregat, dan (2) apakah perilaku hubungan dalam sistem nyata yang dipelajari dapat dijelaskan secara agregat. Dengan mudah terlihat bahwa tingkat agregasi tergantung pada pertanyaan yang dirumuskan. Jika seorang perancang berhasrat mengetahui struktur umur dari penduduk dan juga total jumlah penduduk, maka perancangan model peramalan penduduk akan didasarkan pada populasi yang didisagregasikan ke dalam kelompok umur sesuai hasrat si perencana tersebut. Demikian pula bagaimana perilaku hubungan dalam sistem nyata juga merupakan salah satu alasan apakah tingkat agregasi yang dibuat telah sesuai. Sebagai contoh, disagregasi populasi ke dalam kelompok umur hanya menjawab pada pertanyaan tentang total populasi, hal ini tentu saja akan berlainan apabila pertanyaannya adalah faktor-faktor apa yang menentukan perkembangan populasi?. Apabila pertanyaannya adalah faktor-faktor apa yang mempengaruhi perkembangan populasi, maka model yang memasukkan variabel berdasarkan kelompok umur populasi akan berbeda dengan model yang memasukkan variabel yang berdasarkan tingkat kelahiran, tingkat kematian, dan migrasi penduduk. Sebagai contoh, dalam suatu wilayah yang memiliki tingkat pengangguran yang tinggi, maka akan terjadi tingkat migrasi yang tinggi di antara kaum muda (penduduk usia muda), dan hal ini yang mempengaruhi tidak hanya total populasi, tetapi juga struktur populasi di masa yang akan datang, karena kelompok ini akan menghasilkan banyak anak-anak, dengan kata lain populasi penduduk di daerah tersebut akan terdiri dari banyak anak-anak. Suatu model yang hanya melakukan disagregasi populasi ke dalam

kelompok umur tanpa mempedulikan perilaku hubungan di antara berbagai kelompok umur tersebut untuk kasus daerah di atas akan memberikan hasil peramalan yang kurang memuaskan.

#### c. *Horizon Waktu*

Masalah waktu juga akan berpengaruh terhadap pembangunan model, di mana model yang bersifat dinamik akan lebih disenangi meskipun sulit dalam pembangunannya dibandingkan model statik, apabila faktor waktu ini ingin diperhatikan. Model yang mampu menggambarkan situasi perubahan secara kontinu tentu saja akan lebih baik dibandingkan model statik yang hanya menggambarkan pada keadaan waktu tertentu saja. Semuanya ini tergantung pada kebutuhan perancangan. Dengan demikian ada dua aspek yang menjadi bahan pertimbangan, yaitu: (1) berdasarkan pertimbangan perancangan dan kaitannya dengan periode waktu di mana model tersebut akan digunakan, dan (2) apakah faktor waktu perlu diperhitungkan dalam model.

#### d. *Spesifikasi Model*

Melalui tahap ini, keputusan yang telah dipilih tentang tujuan dari model akan menjadi dasar spesifikasi model. Berbagai pertimbangan yang berkaitan dengan identifikasi variabel, tingkat agregasi dan metode kategorisasi yang tepat, akan mendorong perancang model untuk membuat beberapa hipotesis, meskipun secara tentatif, mengenai struktur dan perilaku dari fenomena yang dicoba dibangkitkan olehnya. Tahap berikut dalam konstruksi model adalah mencakup deskripsi secara eksplisit tentang hipotesis dari perilaku sistem nyata, dan mencoba menterjemahkan hipotesis ini ke dalam bentuk simbol-simbol, yang umumnya dalam bentuk matematik. Tentu saja tidak semua model harus dibangun berdasarkan hipotesis, karena dalam sistem nyata yang belum pernah dipelajari, maka kita belum dapat membuat hipotesis atau paling tidak belum diketahui rumusan hipotesisnya. Penelitian-penelitian yang bersifat eksploratif dapat dilakukan tanpa merumuskan hipotesis terlebih dahulu.

#### e. *Kalibrasi Model*

Spesifikasi model dalam bentuk matematik biasanya akan mencakup bermacam konstanta atau parameter yang mana hal ini akan menambah dimensi dari model tersebut. Dalam bentuk dan struktur dari model adalah memuaskan (misalnya jika telah digunakan

dan dibuktikan pada kesempatan terdahulu), maka proses kalibrasi akan lebih mudah hanya berupa penentuan nilai-nilai dari parameter (pendugaan parameter) yang memberikan ketepatan yang tinggi di antara model dan situasi pengamatan (situasi yang diamati). Tetapi apabila model tersebut merupakan model yang baru dikembangkan, maka proses kalibrasi akan lebih sukar, di mana perlu dipikirkan untuk melakukan dua tahap utama yang berikut ini, yaitu: simulasi dan validasi. Dalam kasus ini, maka pertimbangan tentang bentuk hubungan yang mendasar serta struktur model menjadi hal yang penting, jadi tidak hanya sekedar pendugaan nilai parameter model.

### 3. *Simulasi dan Validasi Model*

Setelah formulasi awal dari suatu model telah dilakukan, maka kemampuannya menjelaskan karakteristik dan perilaku sistem nyata harus diuji. Hal ini penting agar model tersebut dapat diterima sebagai sesuatu penggambaran keadaan yang sebenarnya dari sistem nyata yang dipelajari. Suatu model dapat dianggap sukses dan bermanfaat apabila ia mampu meningkatkan ketepatan dalam menjelaskan perilaku sistem nyata. Oleh karena itu pengujian ketepatan model merupakan tahap kritis dalam pembangunan model. Ini dapat dipandang sebagai ukuran kemampuan model dalam menjelaskan perilaku sistem nyata yang dipelajari pada batas-batas tertentu yang dapat diterima. Dalam tahap ini ada empat kriteria yang dapat dijadikan bahan evaluasi suatu model:

- a. Ketepatan (Accuracy): Ketepatan model menunjukkan sejauh mana model itu mampu meramalkan keadaan yang akan datang secara tepat. Ukuran ketepatan model dapat menggunakan berbagai ukuran statistik, tergantung pada struktur model yang digunakan.
- b. Kesahihan (Validity): hal ini menyangkut validitas dari struktur model, dalam bentuk hubungan di antara variabel-variabel.
- c. Kestabilan (Constancy): hal ini menyangkut kestabilan dari nilai dugaan parameter yang harus bersifat konstan sepanjang waktu, yang berarti perilaku hubungan di antara variabel dalam model harus bersifat konstan sepanjang waktu.
- d. Ketersediaan variabel penduga: hal ini menyangkut ketersediaan nilai-nilai dari variabel kunci di masa yang akan datang, agar suatu model dapat dipergunakan. Hal ini sangat tergantung dari spesifikasi variabel pada tahap awal, di mana nilai-nilai dari

variabel yang terlibat dalam model yang dirumuskan harus selalu tersedia apabila model itu akan dipergunakan.

#### 4. Aplikasi Model

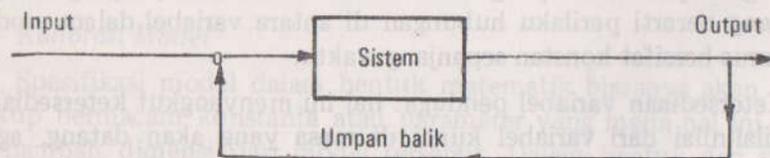
Setelah model dibangun dan apabila berdasarkan pengujian model ternyata memuaskan, dalam pengertian bahwa model dapat diterima sebagai sesuatu yang mampu menjelaskan perilaku sistem nyata dalam batas-batas tertentu yang dapat diterima, maka model tersebut dapat diaplikasikan. Tentu saja aplikasi suatu model akan tergantung pada lingkungan di mana model itu dibangun, dalam arti bahwa tidak ada model yang dapat dipergunakan untuk semua kondisi tetapi terbatas pada kondisi tertentu di mana model itu dirumuskan.

Sebaliknya, apabila dalam pengujian model menunjukkan hasil yang tidak memuaskan, dalam pengertian model itu tidak mampu menjelaskan secara tepat tentang perilaku sistem nyata yang dipelajari maka perlu dilakukan modifikasi model (reformulasi model), sehingga proses pembangunan model akan berlangsung kembali. Dengan demikian tampak bahwa proses pembangunan model bersifat iteratif yang berlangsung secara kontinu (terus-menerus).

### 2.5. PENGENDALIAN UMPAN BALIK DALAM SISTEM

Model dasar suatu sistem (lihat Gambar 2.1) tidak menyediakan pengaturan umpan balik (feedback loop), hal ini berarti tidak ada pengendalian dalam sistem itu. Suatu sistem tanpa pengendalian dapat diibaratkan sebagai suatu mobil tanpa pengemudi, hal ini mengakibatkan mobil itu tidak dapat berfungsi secara optimum.

Agar suatu sistem dapat berfungsi secara optimum, dalam pengertian bahwa ia dapat dijalankan secara efektif dan efisien, maka diperlukan pengendalian terhadap sistem itu. Dengan demikian perlu ditambahkan pengaturan umpan balik (feedback loop) pada model dasar sistem, sehingga akan menjadi seperti tampak dalam Gambar 2.19.



Gambar 2.19  
Pengendalian Umpan Balik dalam Sistem

Dengan adanya pengendalian umpan balik dalam sistem akan memungkinkan kita untuk mengendalikan sistem itu yang dapat diibaratkan sebagai seorang pengemudi yang dapat mengendalikan mobil ketika mobil itu berjalan. Dengan demikian sistem dengan adanya pengendalian umpan balik dapat diibaratkan sebagai mobil dengan pengemudinya. Sistem dengan adanya pengendalian umpan balik akan memiliki beberapa karakteristik berikut:

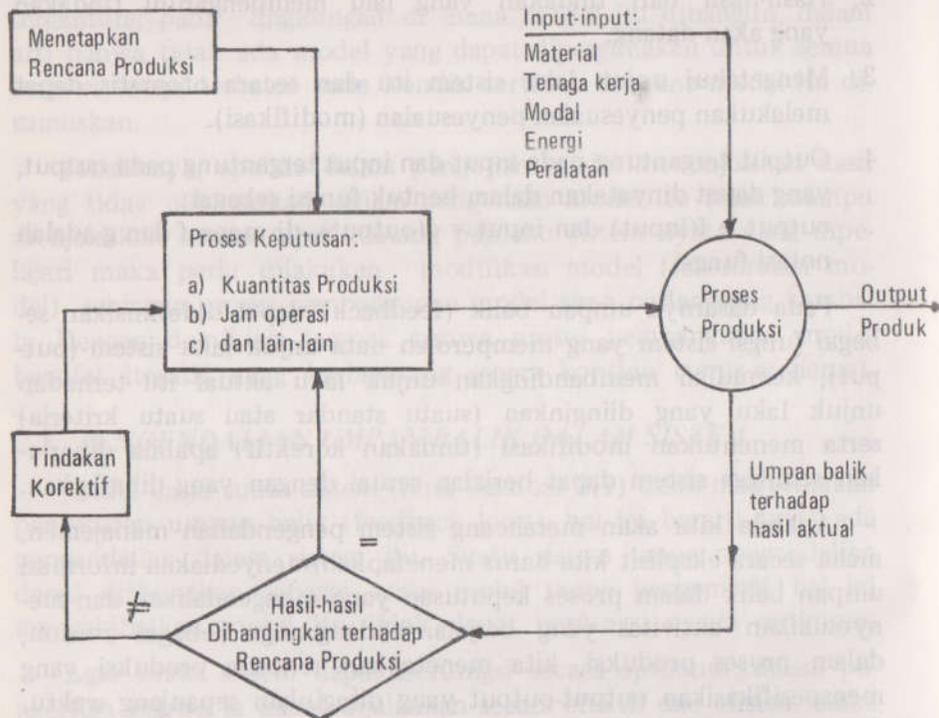
1. Dipengaruhi oleh unjuk laku (performance) yang lalu.
2. Hasil-hasil dari tindakan yang lalu mempengaruhi tindakan yang akan datang.
3. Mengetahui unjuk laku sistem itu dan secara otomatis dapat melakukan penyesuaian-penyesuaian (modifikasi).
4. Output tergantung pada input dan input tergantung pada output, yang dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi sebagai:  
 $output = f(input)$  dan  $input = g(output)$ , di mana  $f$  dan  $g$  adalah notasi fungsi.

Pada dasarnya umpan balik (feedback) dapat didefinisikan sebagai fungsi sistem yang memperoleh data unjuk laku sistem (output), kemudian membandingkan unjuk laku aktual itu terhadap unjuk laku yang diinginkan (suatu standar atau suatu kriteria) serta menentukan modifikasi (tindakan korektif) apabila diperlukan sehingga sistem dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan.

Apabila kita akan merancang sistem pengendalian manajemen, maka secara eksplisit kita harus menetapkan/menyediakan informasi umpan balik dalam proses keputusan yang mengendalikan dan menyesuaikan aktivitas yang berjalan/berlangsung. Sebagai contoh, dalam proses produksi, kita menetapkan rencana produksi yang menspesifikasikan output-output yang diinginkan sepanjang waktu. Rencana produksi itu kemudian diimplementasikan. Setelah selang suatu periode operasi yang pendek (katakan satu minggu), kita mengukur output aktual dan membandingkan mereka dengan output yang diinginkan (sesuai rencana atau standar). Jika output aktual itu berada dalam suatu range yang dapat diterima dari output standar itu, maka kita tidak perlu melakukan modifikasi terhadap operasi sistem. Sebaliknya apabila output aktual itu berbeda secara nyata dengan output standar yang diinginkan, dalam pengertian bahwa berada di luar range yang ditetapkan, maka kita harus memutuskan untuk melakukan tindakan korektif yang tepat sebelum menjalankan kembali sistem itu. Tindakan korektif ini dimaksudkan

untuk menyesuaikan unjuk laku sistem dengan unjuk laku yang diharapkan atau yang diinginkan, agar sesuai dengan standar atau kriteria yang telah ditetapkan dalam rencana produksi itu.

Dengan demikian konsep kunci terhadap keberhasilan operasi dari sistem pengendalian manajemen adalah umpan balik itu. Sistem pengendalian umpan balik untuk proses produksi dapat ditunjukkan secara skematis dalam Gambar 2.20.



Gambar 2.20  
Sistem Pengendalian Umpan Balik untuk Proses Produksi

## BAGIAN KETIGA ALAT-ALAT UNTUK ANALISIS SISTEM

### BAB III

#### MODEL - MODEL DALAM PEMBUATAN KEPUTUSAN

##### 3.1 PENGANTAR

Seorang insinyur, apakah sibuk dalam penelitian, perancangan, pengembangan, konstruksi, produksi, operasi, atau berbagai aktivitas lainnya, memiliki perhatian yang berkaitan dengan efisiensi penggunaan sumber-sumber yang terbatas. Evaluasi keputusan merupakan salah satu bagian penting dari analisis dan perancangan sistem. Evaluasi diperlukan sebagai dasar untuk memilih alternatif yang paling baik yang mampu meningkatkan aktivitas rancangan juga mengoptimalkan operasi sistem.

Menyadari pentingnya evaluasi keputusan dalam analisis dan perancangan sistem, maka bab ini akan membahas beberapa model yang sering dipergunakan dalam pembuatan keputusan.

##### 3.2 PEMBUATAN KEPUTUSAN DI BAWAH RISIKO

Pembuatan keputusan di bawah risiko terjadi apabila pembuat keputusan tidak memiliki pengetahuan yang pasti tentang kejadian yang akan datang, tetapi ia dapat mengungkapkan kejadian-kejadian itu dalam bentuk penetapan nilai-nilai peluang atau probabilitas (probability). Penetapan nilai peluang dari setiap kejadian yang mungkin terjadi di masa yang akan datang dapat berdasarkan pada hasil-hasil percobaan, pendapat para ahli, pertimbangan subyektif berdasarkan pengalamannya, atau kombinasi di antara berbagai pengetahuan tentang kemungkinan itu. Untuk memahami model-model pembuatan keputusan di bawah risiko, diperlukan pemahaman awal tentang konsep dasar hitung peluang (probability theory).

Agar memudahkan pemahaman tentang model-model pembuatan keputusan di bawah risiko, maka akan dikemukakan secara singkat tentang konsep dasar peluang.

wahan, mampu menjelaskan kepada bawahan secara persuasif agar dapat diterima secara rasional akan pentingnya bekerja produktif, mampu menciptakan rasa saling percaya dan keterbukaan yang tulus sehingga melalui sikap tersebut akan mampu menggerakkan bawahan untuk secara sadar meningkatkan prestasinya.

Berdasarkan uraian yang dikemukakan dalam Bab XVI, tampak betapa pentingnya perancangan sistem yang memperhatikan aspek sumber daya manusia yang terlibat dalam sistem itu.

Elam berbagai penerapan teori X pada perusahaan-perusahaan di Amerika Serikat menunjukkan hasil yang cukup memuaskan berupa tingkat keluar-masuk karyawan yang rendah.

A. Post	B. Post
<p>Sistem manajemen yang memberikan fokus perhatian yang menyeluruh kepada sumber daya manusia yang dimungkinkan melalui tipe strategi yang sedang berjalan untuk kemampuan kerja jangka panjang, sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi serta meningkatkan proses organisasi yang terintegrasi dengan kebutuhan diformulasikan ke dalam sistem manajemen yang efektif yaitu total pekerjaan dan prosedur yang landai sistem penilaian yang kompleks pelaksanaan tugas berdasarkan kelompok kerja komunikasi terpadu pembuat keputusan kon-</p>	<p>utual dan memberikan perhatian kepada pekerja di Amerika Serikat. Subansykan organisasi dengan model model A. Untuk meningkatkan kemampuan kerja belajar yang terpadu dengan kemampuan keputusan individu dan kolektif yang meningkatkan kemampuan pekerja menjadi tinggi. Berperilaku kooperatif dan menerima dengan penuh minat teori X. Untuk mem-</p>
<p>but berbagai penerapan di Amerika Serikat menunjukkan bahwa manajemen Jepang untuk meningkatkan budaya Amerika. Se-</p>	<p>hat dan kondisi tersebut telah diyakinkan dengan cukup meyakinkan. Budaya Indonesia perlu dirangsang melalui penerapan berbagai organisasi yang mampu meningkatkan kemampuan</p>

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ackoff, R. L., *"The Art of Problem Solving"*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1978.
2. Aroef, Matthias., *"Manajemen Indonesia Masa Kini 1985 dan Selanjutnya Sampai Tahun 2000, Suatu Pendapat"*, Makalah Seminar Ciri Khas Manajemen Jepang, Universitas Pasundan, Bandung, 1985.
3. Balbir, S. D. and H. Reiche., *"Reliability and Maintainability Management"*, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1985.
4. Barnett, J. I., *"How to Install a Management Information and Control System"*, in *Readings in Management Control (Robert J. Mockler Ed.)*, Appleton-Century-Crofts, New York, 1970, pp. 117-127.
5. Berg, Ch. J., Jr., *"Analyzing an Overall System"*, in *Readings in Management Control (Robert J. Mockler Ed.)*, Appleton-Century-Crofts, New York, 1970, pp. 108-116.
6. Beveridge, G. S. G. and Robert S. Schechter., *"Optimization : Theory and Practice"*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1970.
7. Bierman, H., Charles P. Bonini, and Warren H. Hausman., *"Quantitative Analysis for Business Decisions"*, 5th ed., Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1977.
8. Blanchard, B. S. and W. J. Fabrycky., *"Systems Engineering and Analysis"*, 2nd ed., Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
9. Bolch, B. W. and C. J. Huang., *"Multivariate Statistical Methods for Business and Economics"*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
10. Bronson, R., *"Theory and Problems of Operations Research"*, Schaum's Outline Series, McGraw-Hill International Book Co., Singapore, 1983.

11. Brown, W.B., "Systems, Boundaries, and Information Flow", in *Readings in Management Control* (Robert J. Mockler Ed.), Appleton-Century-Crofts, New York, 1970, pp. 97-107.
12. Brown, W. B., "Model-Building and Organizations", in *Readings in Management Control* (Robert J. Mockler Ed.), Appleton-Century-Crofts, New York, 1970, pp. 480-490.
13. Burch, J. and F. Strater., "Information System: Theory and Practice", 3rd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 1983.
14. Cameron, B., "Input-Output Analysis and Resource Allocation", Cambridge University Press, London, 1968.
15. Chase, W. P., "Management of System Engineering", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1974.
16. Curky, A. J. and Robert M. Bear., "Investment Analysis and Management", Harper and Row Publishers, New York, 1979.
17. Dannenbring, D. G. and Martin K. Starr., "Management Science", McGraw-Hill International Book Co., Tokyo, 1981.
18. Dasgupta A. K. and D. W. Pearce., "Cost-Benefit Analysis: Theory and Practice", The Macmillan Press, Ltd., London, 1978.
19. Dasgupta, P. and Amarta Sen., "Guidelines for Project Evaluation", United Nations, New York, 1972.
20. Draper, N. and H. Smith., "Applied Regression Analysis", 2nd ed., John Wiley and Sons, Inc., New York, 1981.
21. Feigenbaum, A. V., "Total Quality Control", 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1986.
22. Gaspersz, Vincent., "Sistem Informasi Manajemen: Suatu Pengantar", Armico, Bandung, 1988.
23. Gaspersz, Vincent., "Statistika Untuk Fakultas Ekonomi dan Ilmu-Ilmu Sosial", Armico, Bandung, 1989.

24. Gaspersz, Vincent., "Analisis Kuantitatif Untuk Perencanaan", Tarsito, Bandung, 1990.
25. Gaspersz, Vincent., "Ekonometrika Terapan 1 & 2", Tarsito, Bandung, 1991.
26. Gaspersz, Vincent., "Teknik Analisis Dalam Penelitian Percobaan 1 & 2", Tarsito, Bandung, 1991.
27. Gerlof, E. A., "Organizational Theory and Design: A Strategic Approach for Management", McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1985.
28. Goh, Ng. J., "An Adaptive Approach to the Development of Manufacturing Resource Management Systems", in *Operational Research for National Development* (H. Paul, T. N. Goh, and K. L. Chew, Eds.), Operational Research Society of Singapore, Singapore, 1982, pp. 311-317.
29. Grant, E. L. and R. S. Leavenworth., "Statistical Quality Control", 6th ed., McGraw-Hill Book Co., New York, 1986.
30. Henderson, J.M. and P. E. Quandt., "Microeconomic Theory: A Mathematical Approach", 3rd ed., McGraw-Hill International Book Co., Tokyo, 1980.
31. Hogg, R. V. and E. A. Tanis., "Probability and Statistical Inference", Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1977.
32. Jardine, A. K. S., "Maintenance, Replacement, and Reliability", Pitman Publishing, New York, 1973.
33. John, E. B., "Production Control: A Quantitative Approach", 2nd ed., Prentice-Hall of India, New Delhi, 1980.
34. Klir, J. and M. Valach., "Cybernetic Modelling", Iliffe Books, Ltd., London, 1967.
35. Lee, C., "Models in Planning", Pergamon Press, New York, 1973.
36. Leontief, W., "Input-Output Economics", Oxford University Press, New York, 1966.

37. Levin, R. I. and Ch. A. Kirkpatrick., "Quatitative Approaches to Management", 4th ed., McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1978.
38. Lo, J. T. D., "The Applications of Operations Reserach/Systems Analysis in Budgeting System", in *Operational Research for National Development (H. Paul, T. N. Goh, and K. L. Chew, Eds.)*, Operational Research Society of Singapore, Singapore, 1982, pp. 199-211.
39. Luthans, F., "Organizational Behavior", 4th ed., McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1985.
40. Makridakis, S., S. C. Wheelwright, V. E. McGee., "Forecasting: Methods and Applications", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1983.
41. Miernyk, W. H., "The Elements of Input-Output Analysis", Random House, New York, 1965.
42. Montgomery, D. C., "Statistical Quality Control", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1985.
43. Mundel, M.E., "Productivity Measurement and Improvement", in *Handbook of Industrial Engineering (G. Salvendy Ed.)*, John Wiley and Sons, Inc., 1978, (Chapter 1.5).
44. Netter, J., W. Wasserman, and M. H. Kutner., "Applied Linear Statistical Models", 3rd ed., Toppan Company, Ltd., Tokyo, 1990.
45. Ostrofsky, B., "Design, Planning, and Development Methodology", Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1974.
46. Pappas, J. L. and Eugene E. Brigham., "Fundamentals of Managerial Economics", The Dryden Press, New York, 1981.
47. Pindyck, R. S. and Daniel L. Rubinfeld., "Econometric Models and Economic Forecasts", 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1981.
48. Richardson, H. W., "Input-Output and Regional Economics", John Wiley and Sons, Inc., New York, 1972.
49. Robbins, S. P., "Organization Theory: The Structure and Design of Organizations", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.
50. Robey, D., "Designing Organizations: A Macro Perspective", Richard D. Irwin, Inc., Homewood, Illinois, 1982.
51. Sasaki, N., "Manajemen dan Struktur Industri Jepang". (Terjemahan Bahasa Indonesia), Pustaka Binaman Pressindo, Jakarta, 1985.
52. Schroeder, R. G., "Operations Management: Decision Making in the Operations Function", McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo, 1982.
53. Scott, G.M., "Principles of Management Information Systems", 2nd ed., McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1987.
54. Starr, M. K., "Operations Management", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1978.
55. Sumanth, D. J., "Productivity Engineering and Management", McGraw-Hill Book Co., Tokyo, 1985.
56. Taha, H.A., "Operations Research", 3rd ed., Macmillan Publishing Co., Inc., New York, 1982.
57. Tavares, L. V., "A Systemic Perspective of the Process of Development", in *Operational Research for National Development (H. Paul, T. N. Goh, and K. L. Chew, Eds.)*, Operational Research Society of Singapore, Singapore, 1982, pp. 1-14.
58. Thuesen, H. G., W. J. Fabrycky, and G. J. Thuesen., "Engineering Economy", 5th ed., Prentice-hall of India, New-Delhi, 1981.
59. Turner, W.C., Joe H. Mize., and Kenneth E. Case., "Introduction to Industrial and Systems Engineering", 2nd ed., Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
60. Weston, J. F. and E. Copeland., "Manajemen Keuangan", (Terjemahan Bahasa Indonesia), Erlangga, Jakarta, 1986
61. Wilson, W. E., "Concepts of Engineering System Design", McGraw-Hill Book Co., New York, 1965.

62. Yukl, G. A., "Leadership in Organizations", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

Lampiran 1. Distribusi Normal Kumulatif Z



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9464	0.9474	0.9484	0.9494	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9944	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Thank  
you

