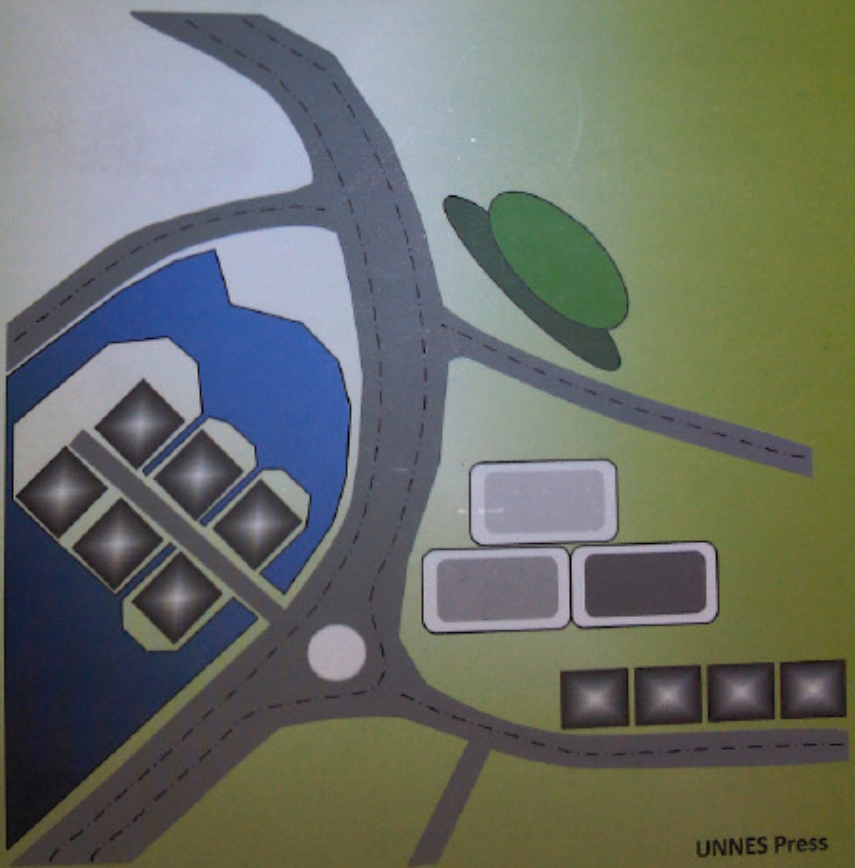


# PENGEMBANGAN JARINGAN INFRASTRUKTUR SISTEM

K. Satrijo Utomo, S.T., M.T.



UNNES Press

# *Pengembangan Jaringan Infrastruktur Sistem*

K. Satrijo Utomo, S.T., M.T.

**UNNES PRESS**

Hak Cipta © pada Penulis dan dilindungi Undang-Undang Penerbitan,  
Hak Penerbitan pada Unnes Press, dicetak oleh Unnes Press  
Jl. Kelud Raya No.2 Semarang 50232  
Telp/Fax. (024) #415032

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh buku ini  
dalam bentuk apapun tanpa izin dari penerbit.

## ***Pengembangan Jaringan Infrastruktur Sistem.***

**K. Satrijo Utomo, S.T., M.T.**

Desain & Layout : K. Satrijo Utomo, S.T., M.T.  
Setting : Moh Tamrin

621 Pengembangan Jaringan Infrastruktur Sistem/Satrijo Utomo;  
SAT -Cet. 1-, -illus-, Semarang: Unnes Press, 2016  
P x + 204 hal, 21 cm

I. Fisika Terapan

I. Satrijo Utomo;

II. Judul

ISBN 978 602 285 084 7

Sanksi Pelanggaran Pasal 72

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002

Tentang Hak Cipta

1. Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

## **Kata Hantar**

Berbagai permasalahan infrastruktur baik dalam tahap perencanaan, pelaksanaan, operasi, dan perawatan, maupun pengembangan terus menerus perlu diselesaikan. Ditegaskan melalui tulisan ini, arti penting pemakaian 3 metode dalam penyelesaian berbagai permasalahan tersebut sebagai berikut.

Pertama, pemakaian *metode sistem* menggunakan *jarangan infrastruktur sistem (JIS)* dalam pengkajian dan optimasi untuk penyelesaian permasalahan-permasalahan tersebut.

Berikutnya, kedua, *metode basis struktur* merupakan metode baru untuk analisis sistem pada umumnya yang penting disampaikan melalui tulisan ini dan ditegaskan pula penting diterapkan dan dikembangkan sejalan dengan penerapan metode sistem beserta hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan yang ditinjau dalam analisis.

Demikian juga ketiga, sebagai metode yang masih relatif baru, *metode sistemik* penting pula diterapkan dan dikembangkan sejalan dengan penerapan metode-metode tersebut.

K. Satrijo Utomo, S.T., M.T.



## Daftar Isi

Kata Hantar .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Daftar Simbol .....	vii

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1 Pendekatan Sistem dalam Pembangunan Bidang Kerja .	5
1.2 Pengembangan Jaringan Infrastruktur Sistem (JIS) .....	20
1.3 Kebijakan Pengembangan JIS .....	32
1.4 Hambatan Pengembangan JIS .....	33
1.5 Permasalahan yang Diselesaikan .....	35

### **BAB 2 SISTEM**

2.1 Komponen Sistem .....	30
2.2 Subsistem dalam Sistem .....	40
2.3 Manfaat Pemakaian Sistem .....	44
2.4 Kinerja Sistem .....	48
2.4.1 Kinerja Umum Sistem .....	49
2.4.2 Kinerja Maksimal Sistem.....	50
2.4.3 Kinerja Minimal Sistem .....	51
2.4.4 Kinerja Optimal Sistem .....	52
2.5 Tipe-tipe Sistem .....	53
2.6 Sinergi Sistem .....	62
2.7 Operasi dan Perawatan Sistem .....	65
2.7.1 Perawatan Khusus .....	66
2.7.2 Perawatan Rutin .....	66
2.7.3 Perawatan Berkala .....	67
2.8 Operasi dan Perawatan Infrastruktur Sistem .....	68
2.8.1 Rencana operasi dan perawatan .....	70
2.8.2 Pencegahan kerusakan komponen .....	71
2.8.3 Pencegahan resiko komponen .....	76
2.8.4 Inventaris komponen .....	77
2.8.5 Perbaikan komponen .....	77
2.8.6 Penggantian komponen .....	79

<b>BAB 3 JARINGAN INFRASTRUKTUR SISTEM (JIS)</b>	
3.1 Jaringan Infrastruktur Sistem (JIS) .....	82
3.2 Tipe-tipe JIS .....	93
3.3 Pola JIS .....	95
3.4 Operasi dan Perawatan JIS .....	97
<b>BAB 4 PENGKAJIAN DAN OPTIMASI SISTEM DAN JIS</b>	
4.1 Metode Penyelesaian Permasalahan Sistem dan JIS .....	101
4.1.1 Metode Basis Struktur .....	102
4.1.2 Metode Sistemik .....	104
4.2 Pengkajian Sistem dan JIS .....	105
4.2.1 Pokok-pokok Pengkajian Sistem dan JIS .....	107
4.2.2 Metode Pelaksanaan Pengkajian Sistem dan JIS ..	109
4.3 Optimasi Sistem dan JIS .....	117
4.3.1 Pokok-pokok Optimasi Sistem dan JIS .....	118
4.3.2 Metode Pelaksanaan Optimasi Sistem dan JIS .....	121
<b>BAB 5 OPTIMASI SISTEM DAN JIS LINEAR</b>	
5.1 Pernyataan Matematik Sistem dan JIS Linear .....	125
5.2 Metode Pemrograman Linear .....	127
5.3 Metode Simpleks .....	145
5.4 Metode Interpolasi dan Ekstrapolasi Linear .....	152
5.5 Permasalahan yang Diselesaikan .....	159
<b>BAB 6 OPTIMASI SISTEM DAN JIS NONLINEAR</b>	
6.1 Pernyataan Matematik Sistem dan JIS Nonlinear .....	163
6.1.1 Persamaan Polinomial .....	164
6.1.2 Persamaan Logaritmik .....	169
6.1.3 Persamaan Eksponensial .....	170
6.2 Metode Pemrograman Dinamik .....	172
6.3 Permasalahan yang Diselesaikan .....	183
Daftar Pustaka .....	184
Indeks .....	186
Glosarium .....	194

## Daftar Simbol

$\pi$	: nilai keuntungan maksimal
$\kappa$	: nilai variabel keuntungan maksimal
$a$	: konstanta
$b$	: konstanta
$e$	: konstanta bilangan natural = 2,718 281 828 459
$i$	: index variabel, $i = 1, 2, 3, \dots n$
$j$	: index variabel, $j = 1, 2, 3, \dots m$
$x$	: variabel bebas
$y$	: variabel terikat
$C$	: konstanta
KM	: stasion jarak perjalanan
$P$	: harga
$Q$	: jumlah
$a_i$	: konstanta, $a_i \geq 0$
$a_{ij}$	: konstanta, $a_{ij} \geq 0$
$b_j$	: konstanta, $b_j \geq 0$
$c_j$	: konstanta, $c_j \geq 0$
$d_j$	: konstanta, $d_j \geq 0$
$x_j$	: nilai variabel $x$ ke- $j$ , $x_j \geq 0$
$R_j(x_j)$	: pendapatan pada nilai variabel $x$ ke- $j$ , $x_j \geq 0$
$S_j$	: artificial variabel $S$ ke- $j$ , $S_j \geq 0$

# 1

## PENDAHULUAN

**Pembangunan Nasional Berkelanjutan** dilaksanakan oleh pemerintah dalam wilayah nasional dengan melibatkan segenap potensi masyarakat melalui berbagai bidang kerja, yang umum dikenal dengan sebutan sektor-sektor pembangunan. Pembangunan Nasional Berkelanjutan dengan demikian ditempuh melalui pembangunan sektor-sektor kehidupan yang ada di tengah masyarakat. Oleh karena itu, Pembangunan Nasional umum pula dikenal sebagai **pembangunan sektor**, yang akhir-akhir ini lebih umum dikenal oleh masyarakat di tanah air sebagai **pembangunan bidang kerja**. Upaya-upaya pembangunan pada bidang-bidang kerja/ sektor-sektor yang telah dilakukan hingga kini antara lain meliputi: pembangunan bidang kerja perdagangan; perindustrian; perhubungan dan telekomunikasi; pekerjaan umum; energi dan sumber daya alam; pertanian; perikanan; perkebunan; kehutanan; olah raga; pariwisata; seni dan budaya; dan pendidikan.

Upaya-upaya pembangunan bidang kerja tersebut dilakukan secara terprogram dan berkelanjutan. Pembangunan dilaksanakan secara terprogram mengandung makna bahwa pembangunan yang akan dilaksanakan dilandaskan pada rencana kerja dan dievaluasi berdasar rencana kerja yang telah ditetapkan tersebut baik oleh pemerintah maupun masyarakat. Pembangunan yang dilaksanakan secara terprogram tersebut dapat dilakukan secara bertahap dan tahap-tahap yang telah direncanakan tersebut dilanjutkan sehingga tujuan program pembangunan tersebut dapat dicapai. Program-program baru pembangunan direncanakan dengan meninjau hasil-hasil program-program pembangunan terdahulu, yang tidak selalu merupakan kelanjutan dari program-program sebelumnya.

Pembangunan suatu bidang kerja dapat dilakukan secara independen maupun secara sinergi terhadap bidang kerja lain. Pembangunan bidang kerja dapat dinyatakan dilangsungkan secara independen apabila pembangunan tersebut dilakukan hanya dalam lingkup suatu bidang kerja saja. Suatu upaya pembangunan bidang kerja demikian dapat dilakukan dalam lingkup bidang kerja secara keseluruhan, selain dapat juga dilakukan dalam lingkup suatu atau pun beberapa sub bidang kerja dalam bidang kerja bersangkutan. Pembangunan bidang kerja perdagangan sebagai misal dapat dilakukan dengan upaya membangun sub bidang kerja ekspor melalui pembangunan kamar dagang dan expo produk-produk ekspor dari tanah air. Sedangkan pembangunan bidang kerja dinyatakan dilaksanakan secara sinergi apabila dilakukan secara bersama-sama antara 2 atau lebih bidang kerja dengan bidang kerja. Pembangunan bidang kerja demikian sebagai misal adalah pembangunan bidang kerja perdagangan dan bidang kerja transportasi yang dapat dilakukan secara sinergi melalui kegiatan pembukaan jalur ekspor baru yang menghubungkan lokasi pelabuhan ekspor bertaraf internasional di tanah air dengan pelabuhan internasional di negara konsumen produk, antara lain: komoditas/ produk perkebunan, funitur, batik, dan kosmetik.

## *Pendahuluan*

*Program-program pembangunan bidang kerja dapat juga dilakukan dalam berbagai variabilitas, antara lain dalam variabilitas lingkup, tujuan, sasaran, dan hasil.* Lingkup wilayah pembangunan bidang kerja dapat mencakup wilayah nasional, provinsi, atau kabupaten/ kota, hingga kelurahan/desa, di samping cakupan lingkup bidang kerja umum yang diprakarsai oleh pemerintah dan bidang kerja khusus yang diprakarsai oleh perorangan, badan hukum swasta, atau badan usaha. Sebagaimana cakupan lingkup wilayah bidang kerja tersebut, tujuan pembangunan bidang kerja dapat dilandaskan untuk pencapaian tujuan nasional, provinsi, maupun kabupaten/ kota, hingga kelurahan/desa. Demikian halnya dengan sasaran dan sumberdaya dalam pembangunan bidang kerja, baik sasaran maupun sumberdaya tersebut dapat mencakup masyarakat dalam lingkup wilayah nasional, provinsi, maupun kabupaten/ kota, atau pun masyarakat dalam lingkup wilayah kecamatan, kelurahan/desa, hingga dusun. Sedangkan hasil kerja/ produk dari suatu upaya pembangunan bidang kerja secara umum dapat dikategorikan kedalam dua kelompok produk meliputi barang dan/atau jasa.

Beberapa pokok dalam pengembangan jaringan infrastruktur sistem (JIS) akan diuraikan secara sistematis dalam buku ini sebagai berikut. Pada Bab 1 yang merupakan pendahuluan, aspek filosofi sistem dan infrastruktur diuraikan secara ringkas dan jelas, terutama dalam hubungannya dengan penerapan pendekatan/metode sistem melalui berbagai bidang kerja/sektor dalam pembangunan nasional berkelanjutan baik dilaksanakan di pusat maupun daerah. Uraian tersebut dimaksudkan untuk dapat dipakai sebagai hantaran dalam memahami infrastruktur sistem (IS) dan JIS sebagai unit dan penyebutan infrastruktur dalam pemakaian metode sistem yang akan dijabarkan pada bab-bab selanjutnya. Pengkajian dan optimasi JIS untuk pengembangan JIS dapat dilaksanakan baik sebelum maupun setelah dioperasikan. Berbagai upaya untuk pembangunan bidang kerja yang dilakukan secara terprogram dan berkelanjutan

merupakan bagian integral dari Pembangunan Nasional Berkelanjutan di tanah air, yang telah diuraikan dalam alenia-alenia terdahulu. Dalam bagian pendahuluan ini diuraikan juga beberapa hal penting dari aspek-aspek kebijakan dan hambatan dalam pengembangan JIS. Hal-hal tersebut perlu diperhatikan dalam pengkajian dan optimasi JIS sehingga kedua aktivitas tersebut dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien. Beberapa hambatan yang mungkin timbul dalam pengembangan JIS tersebut perlu direduksi untuk dapat menghasilkan kinerja optimal JIS, baik yang akan dioperasikan maupun ditingkatkan. Sistem, IS, dan JIS akan diuraikan secara lebih detil pada bab-bab selanjutnya dalam buku ini dari sudut pandang ilmu teknik, disertai pemakaian matematika dalam penjabaran metode penyelesaian permasalahan IS dan JIS. Oleh karena ranah ilmu teknik berkaitan erat dengan ranah ilmu sains, di mana kajian dalam bidang teknik lebih ditekankan pada aspek terapan, maka pengkajian dan optimasi IS dan JIS dalam tulisan ini juga berkaitan dengan ilmu-ilmu yang dikembangkan di bidang sains. Dengan demikian, perkembangan metode-metode matematik di bidang sains penting pula untuk diperhatikan dan diakomodasikan bilamana relevan dan dapat digunakan untuk pengembangan IS dan JIS. Pokok-pokok dan aspek-aspek penting tentang sistem akan diuraikan secara lebih detil dan rinci pada Bab 2, termasuk operasi dan perawatan sistem memakai metode Perawatan Total Infrastruktur Sistem (PTIS) untuk mencapai efektifitas dan efisiensi dalam operasi dan perawatan IS dan JIS. Selanjutnya, JIS serta aspek-aspek penting yang berkaitan dengan JIS akan dijabarkan dalam Bab 3. Kemudian pada Bab 4 dan 5 akan diuraikan secara detil juga tentang metode-metode perhitungan dalam pengkajian dan optimasi IS dan JIS. Uraian akan mencakup prosedur perhitungan dalam beberapa kasus optimasi IS dan JIS. Metode-metode yang cukup efektif dan efisien digunakan untuk tujuan tersebut antara lain: metode pemrograman linear, simpleks, pemrograman dinamik, interpolasi, dan ekstrapolasi.



## **1.1 PENDEKATAN SISTEM DALAM PEMBANGUNAN BIDANG KERJA/ SEKTOR**

Istilah "**sistem**" disadap dari bahasa Inggris "*system*", yang mulanya dari bahasa Latin "*systema*" untuk "gabungan". Istilah tersebut mulanya digunakan untuk "tatanan" atau "aturan" di bidang sains dan teknologi, kemudian banyak digunakan pula dalam bidang sosial dan humaniora. Istilah tersebut kini dapat dipandang efektif digunakan pada banyak bidang kerja yang berkembang di tengah masyarakat. Penyebaran pemakaian istilah tersebut demikian pesat sejak tahun 1950 dengan penggunaannya untuk penyebutan sistem operasi komputer dalam dunia kerja. Selanjutnya, dalam kurun waktu tidak lebih dari 50 tahun, manfaat pemakaian istilah tersebut makin pesat menyebar ke bidang-bidang kehidupan masyarakat sejalan perkembangan infrastruktur dan ilmu komunikasi berbasis sistem digital.

Dapat dipahami, perkembangan pemakaian sistem dalam bidang-bidang kehidupan masyarakat berkaitan sangat erat dengan pesatnya keberhasilan pengakomodasian komputer dalam bidang-bidang kehidupan masyarakat. Perkembangan tersebut di tanah air makin dipandang perlu dan mendesak dilakukan melalui upaya-upaya peningkatan pengakomodasian komputer untuk mendukung pencapaian hasil/produk pada bidang-bidang kerja. Upaya-upaya tersebut akan dapat dilakukan lebih efektif dan efisien dengan mengaplikasikan teori sistem.

Dalam bidang sosial dan humaniora, sistem memuat beberapa fungsi, prosedur, proses, atau aktivitas sehingga membentuk satu kesatuan fungsi, prosedur, proses, atau aktivitas untuk mengatur hubungan antara semua sumberdaya yang tersedia dalam rangka mencapai tujuan yang diharapkan berlandaskan pada pandangan hidup atau ideologi masyarakat. Dalam lingkup lebih sederhana, tujuan sistem dapat juga ditetapkan berdasar wawasan yang berkembang di tengah masyarakat.

Oleh karena wawasan dan kebutuhan masyarakat secara nyata terus berkembang, maka meskipun dilandaskan pada wawasan atau ideologi yang kokoh, sistem yang diterapkan di tengah masyarakat perlu bersifat fleksibel sehingga dapat menyesuaikan dengan perkembangan wawasan dan kebutuhan masyarakat, khususnya kalangan masyarakat pada generasi mendatang. Karena alasan yang sama, meskipun sistem yang diterapkan di tengah masyarakat telah dirancang bersifat fleksibel, sistem tersebut perlu pula bersifat kokoh dan handal untuk tidak mudah berubah dalam waktu terlalu cepat. Dengan demikian, hasil penerapan sistem dapat lebih nyata dirasakan manfaatnya untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Penggunaan istilah sistem pada bidang sosial dan humaniora sering pula diartikan sebagai "**cara**" atau "**tatanan**" atau pun "**aturan**" untuk melakukan suatu proses sebagaimana pada bidang sains dan teknologi. Sistem pemerintahan sebagai misal memiliki arti cara/tatanan/aturan dalam melakukan proses pemerintahan pada wilayah administrasi pemerintahan. Demikian halnya, sistem presidensiil dipakai dalam kabinet pemerintah untuk cara/tatanan/aturan melakukan proses pembentukan dan organisasi dalam kabinet pemerintahan. Pemakaian istilah sistem untuk berbagai aturan pertandingan dalam berbagai cabang lomba di bidang olah raga dapat juga diambil sebagai misal.

Dalam bidang teknik dan sains, hakikat suatu **sistem** dapat diacu dari buku Fisika Terapan [16],

*"sistem pada hakekatnya adalah suatu atau rangkaian fenomena/peristiwa/kejadian/proses tertentu yang dialami oleh suatu atau rangkaian materi tertentu guna mendapatkan hasil/keluaran tertentu dari berbagai masukan yang juga tertentu di alam semesta."*

Proses, masukan, dan keluaran pada sistem merupakan 3 komponen sistem yang saling berhubungan sangat erat. Ketiga komponen tersebut dapat bersifat alami (*nature*), buatan (*artificial*), atau pun semi alam (*quasi-natural*) sebagai gabungan sifat alami dan buatan.

Berkaitan dengan 3 komponen sistem tersebut, dapat diacu suatu definisi sistem dari Encyclopaedia Britannica [8] sebagai berikut.

*"A system is a portion of the universe that has been chosen for studying the changes that take place within it in response to varying conditions. A system may be complex, such as a planet, or relatively simple, as the liquid within a glass."*

Tujuan utama dalam penerapan suatu sistem adalah untuk dapat mempelajari dan menjelaskan proses pada sistem berdasarkan perubahan dan sekaligus respon pada atau oleh sistem. Pengetahuan tentang proses tersebut dapat menghasilkan berbagai manfaat dalam praktek pemakaian sistem, sebagai misal manfaat untuk tujuan meningkatkan kinerja sistem baik memaksimalkan, meminimalkan, atau mengoptimalkan proses pada sistem. Berbagai upaya untuk peningkatan kinerja sistem melalui pemanfaatan proses pada sistem tersebut dilakukan dalam aktivitas/kegiatan optimasi sistem. Dengan demikian, aplikasi sistem tidak hanya diorientasikan untuk mencapai hasil atau keluaran dari masukan pada sistem, tetapi lebih diorientasikan pada tujuan untuk mempelajari dan menjelaskan proses yang terjadi pada sistem. Dalam konteks kajian/ tinjauan terhadap proses yang berlangsung pada sistem, perlu juga diperhatikan, penekanan fokus dan hasil kajian pada penjelasan atau klarifikasi proses demikian pada umumnya digunakan dalam kajian-kajian terhadap sistem-sistem yang bersifat alam dan semi alam. Sedangkan penekanan fokus dan hasil kajian pada upaya-upaya peningkatan proses untuk peningkatan kinerja sistem melalui optimasi sistem umumnya digunakan dalam kajian-kajian terhadap sistem yang bersifat buatan, meskipun beberapa di antara kajian kasus optimasi sistem dilakukan terhadap sistem-sistem yang bersifat alam dan semi alam. Namun demikian, perlu dan penting juga diperhatikan, pengetahuan tentang keluaran pada sistem penting pula dipelajari dalam hubungannya dengan kuantitas dan kualitas keluaran sistem bersangkutan. Hal demikian mengingat

bahwa peningkatan keluaran pada sistem dalam praktek pemakaian sistem didasarkan pada pengetahuan terhadap keluaran sistem, baik ditinjau dari segi/aspek peningkatan kuantitas maupun kualitas keluaran sistem.

Pemakaian istilah sistem pada bidang sains dan teknik sering juga diartikan sebagai “cara” atau pun “aturan” untuk melakukan suatu proses, sebagaimana awal mula pemakaian istilah sistem. Pemakaian istilah tersebut dapat diambil sebagai misal antara lain pada beberapa contoh pemakaian istilah sistem pada sistem satuan untuk aturan satuan, sistem gravitasi untuk cara/aturan gravitasi, dan sistem digital untuk cara/aturan digital.

Sebagaimana umum di bidang sosial, dalam bidang teknik, susunan dan hubungan antar persona yang bertindak selaku subyek dalam sistem disebut dengan **organisasi**. Organisasi pada suatu sistem disusun dan dikelola secara terstruktur berdasarkan pada kedudukan, kewenangan, kewajiban, dan hak dalam organisasi. Struktur organisasi yang kredibel memiliki sifat kokoh dan sekaligus fleksibel.

Organisasi pada suatu sistem harus dibangun berlandaskan pada visi dan misi tertentu. Visi pada suatu organisasi berfungsi sebagai arah tujuan dalam pembentukan organisasi. Sedangkan misi dalam organisasi berfungsi sebagai aktivitas utama yang penting dilakukan dalam menjalankan organisasi. Semua aktivitas organisasi harus sesuai dengan visi dan misi organisasi yang telah dibentuk.

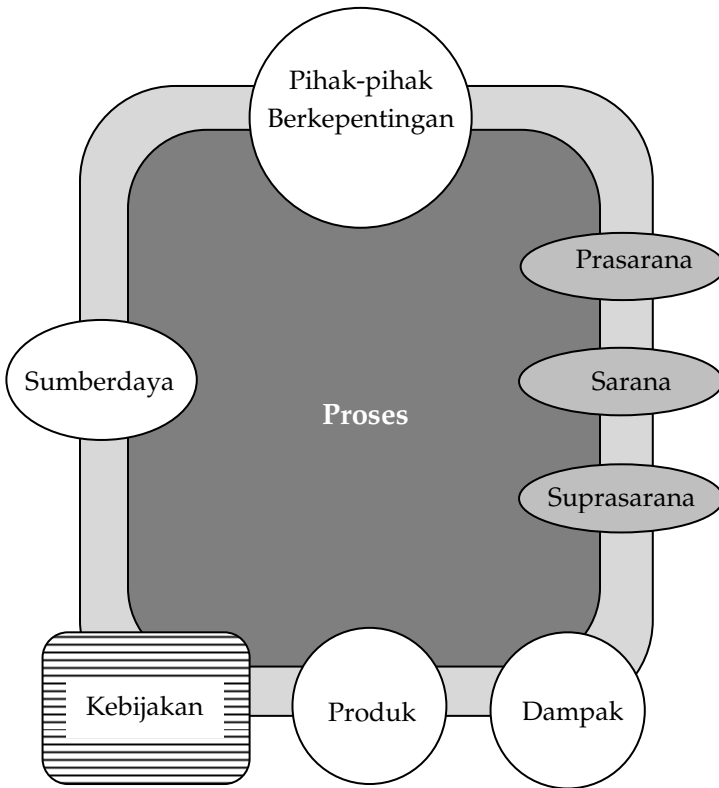
Susunan organisasi dan visi serta misi organisasi umum dibentuk dalam anggaran dasar dan rumah tangga (AD/ART) untuk organisasi bersangkutan. AD/ART dalam selang waktu tertentu penting ditinjau dalam pelaksanaan organisasi.

Istilah organisasi umum juga digunakan untuk menyatakan susunan dan hubungan antar proses, prosedur, tata kerja, atau komponen lainnya dalam sistem, selain untuk menyatakan hubungan antar persona dalam sistem sebagaimana telah diuraikan dalam alenia terdahulu.

Organisasi untuk sistem yang dimiliki dan dikelola oleh pemerintah pada umumnya berbeda dengan organisasi untuk sistem yang dimiliki dan dikelola oleh perorangan atau badan usaha atau pun badan hukum non pemerintah. Untuk sistem yang dimiliki dan dikelola oleh perorangan maka semua kedudukan, kewenangan, kewajiban, dan hak dalam organisasi dilaksanakan oleh seorang, yang sekaligus bertindak sebagai pemilik sistem, kecuali telah diatur dan ditetapkan tidak demikian dalam AD/ART.

Organisasi tidak hanya harus mampu untuk melakukan operasi dan perawatan sistem tetapi harus juga mampu untuk melakukan pengembangan sistem, baik ditinjau dari aspek lingkup kerja maupun komponen-komponen dalam sistem. Organisasi harus mampu mengendalikan proses, prosedur, atau pun tata kerja di dalam sistem yang bersifat rutin dengan terus penyesuaian terhadap perkembangan kebutuhan masyarakat terhadap keberlangsungan sistem. Beberapa sistem yang dikembangkan dengan metode otomatisasi harus pula dapat dioperasikan di bawah kontrol dan kendali organisasi. Operasi dan perawatan sistem umumnya tidak dilakukan dalam lingkup induk organisasi tetapi dilakukan oleh organisasi di bawah induk organisasi, yang dibentuk secara khusus untuk melakukan operasi dan perawatan sistem. Sedangkan pengembangan sistem umumnya dilakukan oleh induk organisasi pada sistem. Namun demikian, pengembangan sistem dapat juga dilakukan oleh organisasi di bawah induk organisasi yang khusus dibentuk untuk melakukan pengembangan sistem.

Suatu sistem dapat dijabarkan secara lebih detil memiliki sembilan komponen yang saling berinteraksi antara satu komponen dengan komponen lainnya, meliputi: pihak-pihak berkepentingan, proses, sumberdaya, prasarana, sarana, suprasarana, produk, resiko, dan kebijakan, sebagaimana divisualisasikan dengan skema dalam Gambar 1.1. Satuan untuk suatu sistem sangat bervariasi, sistem buatan (yang dijalankan secara otomatis) dapat dinyatakan dalam satuan unit.



Gambar 1.1 Skema Sistem

**Proses** merupakan fenomena/aktivitas yang berlangsung untuk mengubah masukan menjadi keluaran pada sistem. Proses pada sistem berlangsung oleh berlangsungnya interaksi antar komponen-komponen sistem dalam sistem. Pada proses tersebut dapat dilakukan perlakuan untuk merubah keluaran tertentu pada sistem. Selain itu, 1 atau lebih perlakuan terhadap proses yang terjadi dalam sistem dapat juga dilakukan melalui komponen-komponen masukan kedalam sistem.

Pada suatu sistem dapat berlangsung banyak proses atau dapat juga hanya satu proses. Pada sistem dengan banyak proses diperlukan ketelitian dalam mengamati proses-proses yang terjadi di dalam sistem. Sedangkan pada sistem dengan hanya satu proses, tetap diperlukan tingkat ketelitian pengamatan terhadap proses pada sistem sebagaimana pada sistem dengan banyak proses.

Lingkup sistem dapat berubah secara dinamis meluas atau menyempit oleh interaksi antar komponen-komponen sistem, baik tanpa atau dengan adanya perlakuan terhadap komponen sistem. Perubahan lingkup sistem tersebut ditunjukkan dalam gambar dengan perbedaan luasan dan warna antara 2 buah persegi bersudut lengkung pada proses di dalam sistem. Perluasan lingkup sistem ditunjukkan dengan makin meluasnya luasan persegi bersudut lengkung pada proses di dalam sistem dan perubahan warna dari warna pada luasan persegi bersudut lengkung yang lebih sempit menjadi warna pada luasan persegi bersudut lengkung yang lebih luas.

**Pihak berkepentingan** pada sistem dapat merupakan perorangan atau badan usaha atau pun badan hukum yang memiliki minat, kepentingan, potensi, dan kekuasaan baik di dalam maupun luar organisasi. Pihak tersebut dapat berada di luar sistem, antara lain: inspektur, peneliti, pengguna, pelanggan, pemasok bahan baku, penyedia jasa yang berkaitan dengan sistem, eksportir, dan penyedia dana. Namun demikian, pihak tersebut dapat juga merupakan pimpinan organisasi yang berada di dalam sistem, antara lain: pemilik, pengembang, dewan, direksi, manajemen, dan pembuat komitmen/ kebijakan sistem.

Keberhasilan pembuatan, operasi, dan pengembangan suatu sistem sangat ditentukan oleh kesuksesan organisasi sistem dalam memberdayakan pihak-pihak berkepentingan pada sistem. Oleh karena itu, pihak-pihak berkepentingan penting diperhatikan oleh organisasi sistem.



**Kebijakan** pada sistem merupakan keputusan organisasi yang diberlakukan oleh pembuat komitmen/ kebijakan pada sistem atau pun subsistem di dalamnya. Kebijakan yang diberlakukan tersebut dapat diperoleh dengan maupun tanpa rekomendasi dari pihak lain di dalam maupun di luar sistem.

Kebijakan pada sistem secara langsung maupun tidak langsung dimungkinkan dapat berpengaruh terhadap sistem lain dan dimungkinkan dapat juga dipengaruhi oleh kebijakan yang diberlakukan oleh sistem lainnya.

Kebijakan yang diberlakukan pada sistem perlu ditinjau secara periodik dan disesuaikan dengan perkembangan keperluan sistem dan pihak-pihak yang berkepentingan terhadap sistem.

**Sumberdaya** merupakan tenaga, material, biaya, dan waktu yang berfungsi sebagai penggerak sistem dalam mencapai tujuan-tujuan yang direncanakan.

Tenaga dapat mencakup orang atau hewan, sebagai misal antara lain: operator, pegawai, atau kuda yang digunakan untuk menggerakkan sarana-sarana sistem. Tenaga dapat juga mencakup tenaga listrik yang disuplai dari berbagai jenis sumber tenaga, baik sumber tenaga alam, fosil, atau pun batubara.

Material pada sistem merupakan bahan susunan, umumnya berupa bahan baku atau bahan dasar, untuk berlangsungnya proses dalam pembentukan produk pada sistem. Material untuk masukan sumberdaya pada suatu sistem dapat berupa suatu atau beberapa produk yang dihasilkan oleh sistem lainnya. Biaya atau dana merupakan jumlah uang yang diperlukan untuk mencapai tujuan-tujuan sistem yang telah direncanakan. Sedangkan waktu untuk pelaksanaan operasi sistem perlu direncanakan dalam bentuk jadwal sesuai tahun kalendar agar pencapaian tujuan sistem dapat dilaksanakan secara efisien dan tepat waktu.

Keberhasilan proses dalam mencapai tujuan-tujuan pada suatu sistem yang telah direncanakan sangat dipengaruhi oleh efektifitas dan efisiensi pemakaian sumberdaya pada sistem.

Pemakaian sumberdaya pada sistem perlu direncanakan dan dirancang secara efektif dan efisien agar dapat lebih mudah untuk dioperasikan, di samping agar dapat juga dioperasikan secara efektif dan efisien.

**Prasarana** merupakan *suatu fasilitas fisik pada sistem yang berfungsi sebagai pendukung/penunjang agar sistem dapat berkerja/beroperasi mencapai tujuan-tujuan yang telah direncanakan*. Prasarana seharusnya telah disediakan sebelum sarana pada suatu sistem dioperasikan.

Keberhasilan suatu sistem dalam mencapai tujuan-tujuan yang telah direncanakan sangat dipengaruhi oleh efektifitas dan efisiensi pemakaian prasarana sistem. Prasarana sistem yang efektif perlu dipilih secara efektif dan dioperasikan serta dirawat secara efektif pula.

Prasarana suatu sistem sebagai misal berupa mesin-mesin pembangkit tenaga dari berbagai jenis sumber tenaga, baik sumber tenaga alam, fosil, atau pun batubara. Mesin-mesin pembangkit tenaga kini perlu dilengkapi dengan otomatisasi kecerdasan buatan untuk pengambilan keputusan/ kebijakan pemakaian sumber daya, misalnya kecerdasan buatan untuk pengaturan operasi katup suplai bahan bakar dan material.

**Sarana** merupakan *peralatan baik fisik maupun nonfisik untuk pencapaian tujuan sistem yang telah direncanakan*. Sarana pada sistem sebagai misal adalah mesin-mesin produksi yang difungsikan untuk mendukung tugas-tugas manusia dalam mengoperasikan sistem guna menghasilkan produk sistem.

Keberhasilan suatu sistem dalam mencapai tujuan-tujuan yang direncanakan sangat dipengaruhi oleh efektifitas dan efisiensi pemakaian sarana dan prasarana pada sistem, di samping dipengaruhi pula oleh komponen-komponen lainnya pada sistem.

**Suprasarana** merupakan *kondisi lingkungan di dalam dan luar sistem baik fisik maupun nonfisik yang berfungsi sebagai pendukung sistem dalam beroperasi untuk pencapaian tujuan-tujuan yang telah direncanakan*.

Peraturan perundangan dan kebijakan pemerintah maupun organisasi pada sistem lain dalam wilayah di mana sistem dioperasikan yang mendukung operasi sistem termasuk pula dalam suprasarana pada sistem.

**Produk** merupakan keluaran sistem yang diharapkan dengan jumlah dan mutu sesuai dengan ketentuan/ spesifikasi teknis yang direncanakan. Pada sistem pada umumnya, mutu kinerja sistem perlu disesuaikan dengan produk yang direncanakan. Jumlah produk sistem dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan atau order sehingga tidak diperlukan ruangan gudang untuk penumpukan produk. Sedangkan pada suatu jenis sistem tertentu, produk sistem dapat hanya berupa suatu kebijakan yang penting diberlakukan pada sistem lainnya, yang dapat ditetapkan oleh pemimpin organisasi sistem lain tersebut dengan maupun tanpa rekomendasi dari pihak berkepentingan terhadap sistem lain bersangkutan.

**Dampak** merupakan fenomena atau peristiwa yang dapat bersifat positif atau negatif baik di dalam maupun di luar sistem dan mungkin timbul sebagai akibat dibuat/dibangunnya suatu sistem. Dampak positif yang diharapkan umumnya adalah jaminan keberlangsungan sistem, terutama tercapainya target produk dan sampainya produk tersebut sesuai dengan kebutuhan atau order pelanggan atau pengguna. Di lain sisi, resiko merupakan dampak negatif sistem yang dapat muncul dalam pelaksanaan/operasi sistem, antara lain: penumpukan produk hingga menyebabkan penurunan mutu produk; resiko kecelakaan kerja; penyusutan sarana dan prasarana; dan penurunan kinerja sistem. Beberapa jenis resiko dapat dipertanggungkan kepada pihak-pihak lain yang berkepentingan melalui sistem asuransi.

Sebagai penjabar uraian tentang sistem dan komponen-komponennya yang telah diuraikan dalam alenia-alenia terdahulu, dapat diambil misal suatu sistem gedung bertingkat yang dibangun 4 lantai sebagai berikut. Dalam sistem tersebut, pemilik dan

pengelola gedung merupakan pihak-pihak paling memiliki kepentingan terhadap sistem. Di lain pihak, perseorangan maupun perusahaan (badan usaha maupun badan hukum) yang berlaku sebagai pengguna gedung merupakan pihak-pihak lain yang juga berkepentingan terhadap sistem. Dengan demikian, baik pemilik maupun para pengguna gedung merupakan pihak berkepentingan terhadap sistem gedung tersebut. Namun demikian, di antara pihak-pihak tersebut hanya pemilik dan pengelola gedung yang berhak menetapkan kebijakan sistem. Sumberdaya sistem mencakup tenaga, material, waktu, dan biaya untuk keperluan pembangunan dan operasi serta perawatan gedung tersebut. Komponen prasarana sistem tersebut bersifat fisik, sedangkan sarana dan suprasarana sistem tersebut dapat bersifat fisik maupun nonfisik. Komponen gedung yang tergolong dalam prasarana sistem antara lain: 1 unit meteran air, 1 unit alat penjernih air, 2 unit pompa air, 2 tangki air, dan jaringan pipa beserta bak penampung di seluruh bagian gedung, di samping 1 unit meteran listrik, 4 unit pengatur arus listrik, dan jaringan kabel di seluruh bagian gedung. Jalan akses dan lahan hijau di sekitar gedung termasuk pula dalam prasarana sistem tersebut. Komponen lain pada gedung yang digolongkan kedalam sarana sistem antara lain: peralatan-peralatan untuk perawatan prasarana dan sarana fisik gedung, ember/bak-bak dan peralatan penampung air yang dapat dipindahkan posisinya dari suatu lokasi ke lokasi lainnya, di samping peralatan-peralatan bertenaga listrik yang juga dapat dipindahkan posisinya dari suatu lokasi ke lokasi lainnya. Sedangkan komponen suprasarana sistem antara lain: kondisi lingkungan fisik di sekitar gedung dengan iklim lokal yang nyaman, ketersediaan sumber air dan tenaga listrik yang sangat memadai. Selain itu, komponen sarana dan suprasarana sistem tersebut dapat juga bersifat nonfisik, misalnya tersedianya sarana nonfisik sistem berupa peraturan pemakaian air dan listrik di seluruh area gedung tersebut. Sarana nonfisik sistem yang perlu disediakan berupa program kegiatan penggunaan prasarana dan

sarana gedung dan panduan penggunaan prasarana dan sarana fisik gedung. Sedangkan suprasarana nonfisik sistem antara lain tersedianya peraturan/ perundangan wilayah di mana gedung dibangun, misalnya untuk pemakaian atau peningkatan kapasitas layanan gedung tersebut. Produk sistem antara lain mencakup jasa dan barang yang dihasilkan dari maupun pada gedung tersebut. Dampak positif pembangunan dan operasi gedung antara lain adalah manfaat yang diperoleh person dalam organisasi, pihak-pihak berkepentingan, dan para pekerja dalam menjalankan sistem. Dampak positif pembangunan dan operasi gedung dapat pula diperoleh pihak-pihak di luar sistem, misalnya masyarakat yang bermukim atau bekerja di sekitar gedung. Sedangkan dampak negatif sistem antara lain penyusutan nilai bangunan, penurunan kinerja sistem, dan resiko kerja.

Beberapa fungsi komponen-komponen sistem dalam sistem gedung bertingkat tersebut kini dapat dilaksanakan melalui pihak-pihak lain di luar sistem. Pihak-pihak lain tersebut dapat merupakan sistem lainnya atau komponen-komponen sistem lainnya. Adapun beberapa fungsi yang dapat dilaksanakan dengan cara tersebut antara lain: manajemen pelaksanaan pembangunan, operasi sistem gedung, dan pengembangan sistem gedung, teknisi ahli perawatan prasarana dan sarana yang tidak dapat dilakukan oleh operator selaku karyawan pada pengelola dalam sistem gedung, dan asuransi pertanggunggunaan resiko.

Sejalan dengan perkembangan kebutuhan, lingkup sistem gedung bertingkat tersebut dapat diperluas maupun dipersempit untuk mencapai efektifitas dan efisiensi kinerja sistem yang diharapkan. Perluasan lingkup antara lain dapat dilakukan dengan penggabungan sistem-sistem sejenis yang relatif lebih kecil dan pengembangan program operasi untuk mencapai produk dan dampak produk ke wilayah lebih luas. Sedangkan penyempitan lingkup sistem gedung bertingkat tersebut dapat dilakukan dengan reduksi program operasi.

Pengembangan sistem atau pembangunan sistem umum dilakukan dengan strategi tidak hanya mempertahankan kinerja sistem yang telah ada dan berkualitas agar dapat terus bermanfaat bagi masyarakat, melainkan juga melalui satu atau gabungan dari 2 strategi umum sebagai berikut:

- 1) menciptakan suatu sistem baru yang dapat bermanfaat bagi masyarakat, dan
- 2) meningkatkan kinerja sistem melalui peningkatan mutu/kualitas satu atau lebih komponen suatu sistem, pada umumnya dilakukan melalui suatu perlakuan tertentu pada satu atau lebih komponen sistem, misal memodifikasi/merubah komponen masukan sistem.

Kedua strategi yang disebutkan terakhir penting dilakukan melalui aktivitas pengkajian sistem. Sedangkan strategi yang disebutkan terakhir penting dilakukan melalui aktivitas optimasi sistem dengan tujuan utama untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi kinerja sistem yang telah beroperasi.

***Pembangunan bidang kerja/ sektor efektif dilakukan menggunakan pendekatan/ metode sistem.*** Hal demikian mengingat, pembangunan pada suatu bidang kerja dalam banyak kasus perlu dilakukan secara menyeluruh pada bidang kerja bersangkutan, namun dijumpai pula dalam banyak kasus bahwa pembangunan pada suatu bidang kerja harus pula dilakukan secara menyeluruh hanya pada subbidang kerja bersangkutan. Hal demikian dapat dicermati pada penerapan metode sistem terhadap lingkup bidang-bidang kerja dalam Tabel 1.1, penyelesaian permasalahan pada bidang kerja dalam banyak kasus memerlukan tahap penyelesaian permasalahan secara menyeluruh pada lingkup sistem maupun subsistem didalamnya.. Pembangunan bidang kerja dalam beberapa kasus perlu juga dilakukan menggunakan strategi perubahan lingkup bidang kerja melalui penggabungan antara 2 atau lebih bidang kerja, di samping pemilahan suatu bidang kerja menjadi 2 atau lebih bidang kerja.

Tabel 1.1 Hubungan antara Sistem, Jaringan , dan Bidang Kerja/Sektor Pembangunan

BIDANG KERJA	SUBBIDANG KERJA	SISTEM	SUBSISTEM	JARINGAN	SUBJARINGAN
Pekerjaan Umum	Pengelolaan Sumber Daya Air	Drainase Pengendalian Banjir	Drainase permukaan	Drainase permukaan	Kanal / sungai utama
					Kolam retensi
					Saluran kolektor dan subkolektor
	Bangunan Gedung	Mall	Pertokoan	Ruang toko	Toko sandang
					Toko elektronik
					Restoran
		Perhotelan	Ruangan hotel	Kamar penginapan	
		Hiburan	Bioskop dan tempat bermain anak	Ruang pertemuan	
				Bioskop	
Pariwisata dan Olah Raga	Olah Raga	Drainase kolam renang	Bak tandon/ tower	-	-
			Penjernihan air	Penjernihan air	Alat penjernihan air
			Saluran transmisi	Saluran perpipaan transmisi air	Saluran perpipaan transmisi
			Saluran pembuang	Saluran perpipaan bawah permukaan	Saluran kolektor dan subkolektor



BIDANG KERJA	SUBBIDANG KERJA	SISTEM	SUBSISTEM	JARINGAN	SUBJARINGAN	
		Drainase lapangan bola	Drainase permukaan	Selokan dan perpipaan atas permukaan	Saluran kolektor dan sub kolektor	
			Drainase bawah permukaan	Perpipaan bawah permukaan	Saluran kolektor dan subkolektor	
Perhubungan	Perhubungan Darat	Jalan raya	Jalan arteri	Jalan arteri provinsi	Jalan arteri antar kab/kota	
			Jalan kolektor	Jalan kolektor kab.	Jalan kolektor antar kec.	
			Jalan subkol.	Jalan subkol. kab.	Subkolektor antar kec.	
		Jalan rel	Jalan rel kecepatan tinggi	Jalan rel	Jalan rel antar kota	Jalan rel angkutan orang
				Jalan rel	Jalan rel antar kota	Jalan rel angk. barang
			Jalan rel	Jalan rel	Jalan rel antar kota	Jalan rel angkutan orang
				Jalan rel	Jalan rel dalam kota	Jalan rel angk. barang
		Transportasi sungai, danau, dan atar pulau	Transportasi sungai	Transportasi sungai	Transportasi sungai	Transportasi sungai
				Transportasi danau	Transportasi danau	Transportasi saluran
				Transportasi penyeberangan atar pulau	Transportasi penyeberangan atar pulau	-

Penerapan metode sistem dalam pembangunan bidang-bidang kerja yang ada di tengah masyarakat memungkinkan didapatkannya kemudahan dalam melakukan perubahan lingkup dan kebijakan serta proses pada bidang kerja apabila perubahan tersebut diperlukan guna mengakomodasikan aktivitas-aktivitas pembangunan pada suatu bidang kerja. Penggunaan sistem umumnya memiliki pengertian sebagai suatu metode/cara penyelesaian permasalahan yang dapat diperluas lingkungannya untuk penyelesaian permasalahan pada bidang kerja karena penyelesaian suatu permasalahan pada bidang kerja pada hakikatnya merupakan suatu penyelesaian permasalahan pada bidang kerja yang memiliki lingkup lebih luas.

Pembangunan bidang kerja tepat dilakukan memakai metode sistem juga dilandaskan pada fakta-fakta lainnya bahwa upaya pembangunan pada bidang kerja juga tidak hanya dilakukan dalam pengertian bidang kerja sebagai bidang/tempat/zone/wahana saja, tetapi lebih diutamakan dalam pengertian membangun aktivitas/fenomena pada bidang kerja, antara lain: peningkatan etos kerja, mutu produk kerja, dan jumlah serta mutu infrastruktur dalam bidang kerja.

Penyelesaian permasalahan pada bidang kerja merupakan bagian dari proses dan produk sistem, karena itu pengkajian terhadap proses dan hasil perkembangan pada suatu bidang kerja akan menjadi lebih tepat (efektif dan efisien) jika dilakukan menggunakan pendekatan sistem.

## **1.2 PENGEMBANGAN JARINGAN INFRASTRUKTUR SISTEM (JIS)**

Dalam rangka mensukseskan pembangunan nasional maupun daerah melalui penerapan metode sistem dalam pembangunan bidang kerja/sector, dapat dilakukan pengembangan sistem melalui pengembangan sarana atau prasarana sistem, yang dapat disebut "**pengembangan infrastruktur sistem (Pengembangan IS)**".

Kebijakan pemimpin organisasi untuk melakukan Pengembangan IS tersebut didasarkan pada rekomendasi yang dihasilkan melalui pengkajian dan/atau optimasi sistem untuk pengembangan sistem yang sedang dioperasikan.

***Infrastruktur penting ditinjau dan dibuat/dibangun memakai metode sistem, terutama dari aspek tinjauan bidang teknik.*** Hal demikian antara lain karena 2 alasan, meliputi:

1) sistem dapat diterapkan untuk meninjau infrastruktur dengan meninjau infrastruktur sebagai sistem dan sekaligus dapat juga diterapkan sebagai wadah/wahana di mana infrastruktur digunakan dengan memandang infrastruktur sebagai komponen sistem. Perencanaan, pembuatan, operasi, dan perawatan untuk infrastruktur selalu berhubungan erat dengan sistem di mana infrastruktur tersebut perlu diwujudkan atau telah dioperasikan. Dalam perwujudan infrastruktur suatu stadion sepakbola sebagai misal, perwujudan infrastruktur tersebut sebagai suatu sistem harus mampu mencakup berbagai fasilitas fisik yang diperlukan untuk mengakomodasikan berbagai perkembangan kebutuhan dalam penyelenggaraan pertandingan sepakbola. Di samping itu, sebagai suatu infrastruktur wilayah daerah dan nasional, sistem stadion sepakbola harus mampu berperan memacu perkembangan wilayah daerah dan nasional, sehingga harus pula selalu berhubungan erat dengan sistem manajemen pembinaan olahraga, asosiasi olahraga sepakbola, dan sistem pertandingan sepakbola baik pada tingkat lokal, nasional, maupun internasional. Perencanaan, pembuatan, operasi, dan perawatan infrastruktur stadion sepakbola sebagai suatu sistem harus dilakukan melalui perencanaan, pembuatan, operasi, dan perawatan berbagai fasilitas fisik yang merupakan komponen-komponen infrastruktur tersebut. 2) Penerapan metode sistem dalam perencanaan, pembuatan, operasi, dan perawatan infrastruktur tidak hanya menjamin fungsi infrastruktur sebagai pendukung sistem dapat terlaksana, namun kemudahan-kemudahan dalam pengembangan infrastruktur sistem dan sistem

bersangkutan mungkin didapatkan melalui pengkajian dan optimasi operasi infrastruktur setelah sistem dioperasikan. Hal demikian mengingat bahwa kemudahan dalam melakukan upaya perubahan lingkup dan kebijakan serta proses mungkin dapat dilakukan makin mudah dengan penerapan metode sistem. Hal demikian karena suatu sistem memiliki sifat mudah diperluas lingkungannya. Untuk memperjelas pemakaian metode sistem dalam tinjauan terhadap infrastruktur, digunakan istilah "**infrastruktur sistem (IS)**" untuk menyatakan suatu infrastruktur.

*Infrastruktur dapat dibuat/dibangun dan dioperasikan dalam bentuk independen atau dependen. "**Infrastruktur independen**" adalah suatu infrastruktur yang dibuat/dibangun dan dioperasikan tanpa bergantung pada infrastruktur atau komponen infrastruktur lain. Namun demikian, infrastruktur independen dapat diinteraksikan terhadap 1 atau lebih infrastruktur lain tanpa membentuk hubungan ketergantungan. Suatu bangunan tempat ibadah dapat diambil sebagai misal untuk kelas infrastruktur tersebut. Sedangkan suatu "**Jaringan infrastruktur sistem (JIS)**" merupakan rangkaian 2 atau lebih infrastruktur yang difungsikan secara sinergi dalam jaringan. Infrastruktur dalam JIS umumnya merupakan "**Infrastruktur dependen**" yaitu suatu infrastruktur yang dibuat/dibangun dan dioperasikan bergantung pada infrastruktur atau komponen infrastruktur lain. JIS pada hakekatnya merupakan ekpresi perluasan atau penyempitan fisik untuk IS sejenis, mengingat perluasan konstruksi fisik infrastruktur tersebut sulit dilakukan meskipun telah ditinjau sebagai suatu sistem, yang secara umum memiliki lingkup relatif mudah diperluas maupun dipersempit. IS gedung bertingkat 4 lantai yang tidak dirancang akan dapat ditingkatkan/diperluas ke jumlah lantai lebih banyak/tinggi dapat dipakai sebagai misal, IS tersebut sulit diperluas/diperbesar tanpa dilakukan demolisi atau digabungkan dengan IS sejenis lain di sekitarnya, meskipun lingkup wilayah operasi IS tersebut tidak sulit diperluas memakai metode sistem melalui suatu kebijakan.*

## *Pendahuluan*

Pemakaian IS dan JIS dalam sistem memungkinkan akan didapatkan kemudahan, efektifitas, dan efisiensi dalam proses perencanaan, pembuatan, operasi, perawatan, dan pengembangan infrastruktur.

Penyelenggaraan infrastruktur baik IS atau JIS pada suatu wilayah pemerintahan daerah oleh pemerintah, badan usaha, badan hukum, atau perorangan dilaksanakan dalam rangka meningkatkan taraf kehidupan nyaman bagi masyarakat. Kehidupan nyaman bagi masyarakat dapat ditakar menggunakan beberapa indikator peningkatan kesejahteraan masyarakat dari disiplin ilmu ekonomi, antara lain mencakup: kesehatan, pendidikan, kesempatan kerja, dan tingkat kriminalitas. Beberapa indikator peningkatan kesejahteraan masyarakat dalam rangka meningkatkan taraf kehidupan nyaman bagi masyarakat yang berhubungan sangat erat dengan investasi infrastruktur dapat diketahui lebih detil dalam pustaka [1].

Suatu IS umumnya dibuat atau pun dikelola dengan biaya relatif mahal karena beberapa alasan, antara lain karena 5 alasan meliputi: tujuan sistem, lingkup wilayah sistem, ukuran fisik, jumlah dan kualitas material, serta teknologi terpakai. Tujuan pembangunan IS sangat berkaitan erat dengan lingkup wilayah sistem, umumnya tujuan tersebut berhubungan dengan tujuan pengembangan suatu wilayah atau negara yang memiliki lingkup wilayah relatif luas. Lingkup wilayah sistem yang umumnya relatif luas menyebabkan IS umumnya juga harus dibangun pada wilayah yang relatif luas. Oleh sebab itu pula, IS umumnya harus dibuat dalam ukuran relatif besar sehingga juga memerlukan biaya pembuatan relatif mahal untuk memenuhi kebutuhan material dalam jumlah dan kualitas material relatif besar dan memadai. Selain itu, pembuatan suatu IS juga memerlukan perencanaan dan perancangan yang relatif sulit sehingga memerlukan pula biaya yang relatif mahal untuk dapat dilaksanakan. Namun demikian, pengembangan IS yang sukses akan menghasilkan dampak positif untuk dapat meraih peluang besar yang akan dapat berpengaruh besar dalam mendukung

perkembangan wilayah atau negara, khususnya dampak langsung maupun tidak langsung yang dimungkinkan dapat diperoleh melalui perkembangan bidang kerja/ sektor perekonomian. Sistem yang dibuat dan dikelola oleh perorangan atau badan hukum swasta dengan tujuan yang tidak langsung berhubungan dengan tujuan pembangunan wilayah atau negara umum juga dilengkapi dengan infrastruktur-infrastruktur berbiaya relatif mahal. Sementara itu, untuk suatu sistem yang dibuat dan dikelola oleh perorangan atau badan hukum swasta, yang dibuat dengan tujuan yang langsung berhubungan dengan tujuan pembangunan negara, dapat juga dipahami dengan mudah umumnya dilengkapi infrastruktur-infrastruktur berbiaya relatif mahal. IS yang dibuat dengan biaya relatif mahal harus dapat menghasilkan nilai produk sistem yang lebih menguntungkan daripada biaya pembuatan IS bersangkutan. Sistem-sistem demikian dalam beberapa kasus dibuat dan dioperasikan untuk keperluan masyarakat umum meskipun dimiliki dan dikelola oleh perorangan atau badan hukum swasta.

Penyelenggaraan infrastruktur pada suatu sistem umum dilakukan sebagai suatu kegiatan investasi dalam rangka mencapai tujuan kehidupan nyaman bagi masyarakat. Hal demikian mengingat bahwa pembangunan IS umumnya berbiaya relatif mahal sehingga diperlukan rentang waktu untuk mendapatkan kembali biaya investasi dan memperoleh keuntungan materi dari investasi yang dilakukan. Dalam waktu bersamaan, peningkatan kesejahteraan masyarakat dapat berlangsung untuk meningkatkan kenyamanan hidup bagi masyarakat

**Untuk pencapaian tujuan-tujuan sistem terutama perwujudan produk yang direncanakan, IS dapat direncanakan dan dirancang berukuran relatif kecil dan berbiaya relatif murah.** Sarana atau prasarana fisik tetap disebut sebagai IS meskipun berukuran kecil dan dibuat dengan material dalam jumlah sedikit apabila sarana atau prasarana tersebut memenuhi kriteria sebagai suatu IS.

## *Pendahuluan*

Dalam konteks pengembangan IS dan JIS menggunakan metode sistem, penting dipahami terlebih dahulu hubungan antara suatu infrastruktur dan struktur, serta sistem. Hal tersebut dapat dipahami dengan relatif mudah bahwa berdasarkan pada fakta-fakta dalam pembangunan dan pemanfaatan infrastruktur-infrastruktur yang telah berlangsung di tengah kehidupan bermasyarakat, pembangunan dan pemanfaatan infrastruktur selalu berhubungan sangat erat dengan struktur yang berlangsung di tengah kehidupan bermasyarakat.

**Struktur** merupakan *susunan yang stabil saat berlangsung*. Istilah struktur memiliki makna berlainan dengan makna istilah “susunan” atau “komposisi” karena suatu struktur harus memenuhi kriteria stabil saat berlangsung. Istilah susunan atau komposisi sering juga dipakai untuk menyatakan sesuatu material/ zat sebagai suatu gabungan atau campuran dari material/zat lainnya, baik bersifat homogen, heterogen, maupun isothropik, di samping berbentuk padat, cair, maupun gas. Berlainan dengan pemakaian istilah susunan atau komposisi, bilamana dicermati, istilah struktur umumnya digunakan untuk menyatakan suatu susunan atau komposisi dari material/zat sebagai suatu gabungan atau campuran dari material lainnya yang bersifat stabil. Susunan atau komposisi pada suatu struktur dapat dirubah untuk mencapai kondisi yang lebih stabil daripada susunan atau komposisi pada struktur terdahulu. Demikian halnya pada sistem yang bersifat alam, struktur dapat mengalami perubahan secara alami untuk mencapai kondisi yang lebih stabil daripada susunan atau komposisi pada struktur terdahulu.

Dalam bidang sosial dan humaniora, struktur antara lain digunakan untuk menyatakan berbagai pokok penting, antara lain: susunan kata, kalimat, dan frase; organisasi; jabatan pegawai/ karyawan, dan modal perusahaan. *Suatu badan hukum dalam bentuk perusahaan atau lembaga pemerintah maupun nonpemerintah harus dirancang dan dilaksanakan secara aman dalam mencapai tujuan pada*

*berbagai struktur tersebut.* Struktur umum pula dipakai untuk menyatakan strata sosial masyarakat dalam berbagai variasi kebutuhan mulai dari kebutuhan dasar hingga tinggi. Kebutuhan dasar masyarakat secara prinsip mencakup berbagai kebutuhan dasar manusia baik sebagai individu maupun anggota komunitas sosial dalam masyarakat, antara lain meliputi kebutuhan: pangan, sandang, papan, biologis, ibadah, kegemaran, pendidikan, pekerjaan, dan relaksasi. Kebutuhan yang lebih tinggi daripada kebutuhan dasar tersebut sering dikategorikan kedalam tingkatan kebutuhan, misal kebutuhan primer, sekunder, tersier, kuartier, dan seterusnya. Berbagai kebutuhan yang lebih tinggi daripada kebutuhan dasar tersebut sangat bervariasi di kalangan masyarakat dan sangat dipengaruhi oleh kebutuhan individu sebagai anggota komunitas dalam masyarakat. Namun demikian, berbagai kebutuhan tersebut dikategorikan pula berdasarkan kondisi psikologis individu anggota masyarakat dapat kedalam beberapa tingkatan, sebagai misal adalah tingkatan kebutuhan individu masyarakat mulai dari kebutuhan dasar, pekerjaan, seksual, pengetahuan, hingga kebutuhan untuk menunjukkan kemampuan pribadi, sebagaimana dinyatakan oleh Abraham Maslow.

Pada bidang sains dan teknik, struktur dapat terjadi secara alam maupun buatan, pada umumnya hanya diggunakan untuk menyatakan suatu bentuk susunan material yang stabil. Namun demikian, khususnya pada bidang teknik, *suatu struktur dinyatakan dalam kondisi stabil dan aman pada saat berlangsung beban-beban ekstrim pada struktur tersebut.* Oleh karena itu, dalam perancangan suatu struktur harus dilakukan tinjauan keamanan struktur dalam beberapa variasi pembebanan ekstrim. Untuk area tanah atau lahan sebagai misal harus dilakukan tinjauan struktur terhadap area tersebut sebagai suatu struktur dalam fungsinya menahan beban-beban maupun konstruksi di atasnya, meskipun tidak semua lahan harus ditinjau demikian apabila tidak berfungsi sebagai suatu struktur.



## *Pendahuluan*

Suatu struktur yang terbentuk secara alami umumnya tidak memerlukan tenaga dan biaya dalam pembentukannya, sedangkan suatu struktur yang dibentuk dari susunan material memerlukan tenaga dan biaya dalam pembentukannya. Namun demikian, baik struktur yang terbentuk secara alami maupun buatan selalu memerlukan bahan penyusun/material dan waktu untuk dapat terbentuk. Kondisi cuaca cerah untuk kelancaran pelaksanaan suatu struktur dalam bidang sosial dan humaniora sebagai misal dapat diprediksikan secara teliti berdasarkan teori terapan menggunakan struktur dalam bidang teknik.

Dalam penerapan sistem pada umumnya bidang kerja, suatu struktur merupakan fenomena/proses/aktivitas pada sistem saat pencapaian tujuan berlangsung. Suatu struktur diberi identitas tertentu sesuai dengan fenomena dan dilengkapi dengan suatu keterangan yang menyatakan identitas dan kondisi operasi sistem bersangkutan. Dapat diambil sebagai misal adalah Struktur Penyelenggaraan Pertandingan Sepakbola Nasional di Stadion Jatidiri Semarang. Struktur tersebut mencakup penyelenggaraan aktivitas pertandingan olahraga sepakbola tingkat nasional dan mungkin diselenggarakan pada Stadion Jatidiri Semarang sebagai sistem untuk kegiatan latihan maupun pertandingan pada berbagai cabang olahraga atletik dan sepakbola. Stadion tersebut memiliki kondisi operasi pada lingkup wilayah utama sistem dalam satu kota, tetapi tentu saja dapat difungsikan untuk penyelenggaraan even pertandingan antar kontingen atletik dalam lingkup wilayah nasional maupun internasional. Stadion tersebut kini sedang dalam proses peningkatan ke taraf internasional guna memfasilitasi berbagai even pertandingan antar kesebelasan sepakbola atau atlet bertaraf internasional.

Dalam bidang teknik sipil dan mesin, sebagai suatu struktur untuk pengembangan IS dan JIS, lingkup sistem stadion tersebut justeru perlu diasumsi hanya meliputi aktivitas atau fenomena yang dialami oleh fasilitas-fasilitas fisik terhadap kondisi-kondisi

pembebanan saat even pertandingan dilaksanakan. Penggunaan asumsi tersebut ditujukan untuk dapat memfokuskan tinjauan perilaku respon fasilitas-fasilitas fisik stadion terhadap pembebanan ketika pertandingan dilangsungkan, yang dimungkinkan dapat menyebabkan fasilitas fisik bersangkutan berada dalam kondisi pembebanan ekstrim.

Penggunaan struktur pada sistem ditujukan untuk dapat mencapai peningkatan efektifitas dan efisiensi proses pada sistem, terutama pada sistem-sistem yang bersifat buatan atau semi alam. Di samping itu, pemakaian struktur pada sistem juga ditujukan untuk mengubah proses pada sistem buatan menjadi sistem alam dan semi alam melalui otomatisasi proses pada sistem. Hal tersebut tentu saja harus dilakukan secara hati-hati agar sistem yang telah dioperasikan secara otomatis tetap selalu dapat dikontrol dan dikendalikan oleh organisasi pada sistem.

Pelaksanaan suatu struktur dimungkinkan menimbulkan dampak yang hanya dapat dijelaskan setelah struktur dilaksanakan. Dampak-dampak pelaksanaan suatu struktur merupakan komponen sistem yang penting dipertimbangkan dalam pengembangan sistem dan JIS. Dampak-dampak positif dalam pelaksanaan suatu struktur merupakan suatu pokok penting yang diharapkan dapat dicapai dan penting pula digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam tinjauan dan pelaksanaan struktur sejenis selanjutnya. Sedangkan dampak negatif perlu dihindarkan atau diantisipasi.

*Fenomena/proses/aktivitas selain struktur yang mendukung struktur* dimasukkan kedalam **nonstruktur**. Berbagai dukungan aktivitas nonstruktur terhadap struktur dapat dilakukan baik secara langsung maupun tidak langsung, baik secara terprogram maupun insidental. Aktivitas nonstruktur umumnya dilakukan dalam bentuk kegiatan-kegiatan pelestarian lingkungan hidup, sosialisasi lembaga dan organisasi dengan menyelenggarakan pameran dan bakti sosial, serta berbagai bentuk kegiatan-kegiatan lomba maupun hiburan dalam rangka pelestarian atau pengembangan budaya masyarakat.

Aktivitas-aktivitas nonstruktur untuk mendukung Struktur Penyelenggaraan Pertandingan Sepakbola Nasional di Stadion Jatidiri Semarang antara lain meliputi: pengendalian sampah, penjagaan suasana pertandingan, hiburan marching band dalam upacara pembukaan pertandingan, penjagaan area parkir kendaraan pengunjung, dan penyelenggaraan kantin atau tempat istirahat bagi para pengunjung. Di samping itu, aktivitas-aktivitas nonstruktur pendukung struktur dalam konteks suatu sistem stadion sepakbola dapat juga dilaksanakan dalam wilayah sekitar stadion antara lain meliputi: aktivitas penyelenggaraan lomba marching band di luar even pertandingan olah raga, festival band antar group band lokal, dan berbagai pertandingan persahabatan antar tim/kesebelasan sepakbola.

**Infrastruktur** merupakan *seluruh fasilitas fisik pendukung kelancaran struktur*. Fasilitas fisik mencakup sarana dan prasarana fisik. *Seluruh prasarana fisik merupakan infrastruktur, namun tidak semua sarana fisik merupakan infrastruktur. Sarana fisik termasuk infrastruktur apabila berfungsi sebagai fasilitas fisik pendukung struktur*. Sarana-sarana fisik yang tergolong infrastruktur antara lain meliputi: kendaraan, peralatan utama, dan peralatan pendukung. Peralatan utama umum dipasang secara permanen pada bagian tertentu dari suatu prasarana, misal pompa air, mesin pemanas dan pendingin. Sedangkan peralatan pendukung sering tidak dipasang secara permanen, tetapi cukup diletakkan pada daerah yang mudah dijangkau/diaktifkan, misal peralatan K3.

Beberapa di antara sarana-sarana fisik perlu ditegaskan merupakan **sarana fisik minimal** yaitu sarana fisik yang mutlak diperlukan bersama prasarana fisik untuk mendukung struktur dapat berlangsung. Tanpa sarana tersebut, fasilitas fisik atau infrastruktur tidak dapat beroperasi sehingga struktur juga tidak dapat berlangsung. Sarana-sarana yang termasuk dalam sarana fisik minimal harus dapat diwujudkan secara bersama-sama dengan perwujudan prasarana-prasarana fisik terkait. Meskipun demikian,

dalam banyak kasus, masih pula dijumpai dalam realita bahwa sarana-sarana fisik telah dapat tersedia dan dioperasikan di lapangan sebelum satu pun prasarana fisik yang memadai dapat direncanakan dan direalisasikan secara memadai pula. Hal demikian terutama sarana-sarana fisik dan prasarana fisik yang diupayakan secara swadaya masyarakat.

Sampai uraian dalam alenia terdahulu, penyelenggaraan IS dan JIS yang aman, nyaman, asri, dan awet pada suatu sistem ditujukan untuk meningkatkan kehidupan nyaman dan asri bagi masyarakat, di samping ditujukan untuk mewujudkan kehidupan aman bagi masyarakat pengguna dan masyarakat yang bermukim di sekitar infrastruktur. Peningkatan kenyamanan hidup yang dapat diraih bagi masyarakat sebagai dampak positif dari kegiatan penyelenggaraan infrastruktur dapat ditinjau melalui peningkatan kesejahteraan masyarakat dan berbagai kemudahan yang diperoleh masyarakat dalam melaksanakan aktivitas-aktivitas rutin maupun khusus. Peningkatan kesejahteraan masyarakat lebih lanjut dapat menghasilkan dampak positif peningkatan keberhasilan masyarakat dalam meraih pendidikan yang makin bermutu tinggi. Berbagai IS yang dapat diwujudkan dalam bentuk indah dan serasi dengan lingkungan sekitarnya dapat digolongkan dalam IS dan JIS yang bersifat asri. Infrastruktur demikian berpotensi besar mampu juga meningkatkan kehidupan masyarakat makin asri, baik kalangan masyarakat pengguna dan masyarakat yang bermukim di sekitar infrastruktur. Di samping itu, IS dan JIS yang bersifat asri berpeluang pula untuk dapat digunakan secara awet sehingga menguntungkan ditinjau dari segi ekonomis.

Infrastruktur-infrastruktur pada suatu wilayah pemerintahan daerah mencakup berbagai struktur dan infrastruktur, baik ditinjau dari disiplin ilmu teknik, ekonomi, politik, dan disiplin-disiplin ilmu lainnya. Struktur-struktur tersebut diidentifikasi berdasarkan pada hasil analisis dalam pengkajian teknik atau pengkajian berlandaskan disiplin-disiplin ilmu lainnya. Apabila pada suatu

## *Pendahuluan*

zone dalam suatu wilayah pemerintahan daerah terdapat sebuah sungai dan gua yang masih alami sehingga nyaman dan asri digunakan oleh masyarakat daerah sebagai suatu lokasi rekreasi, maka ditinjau dari sudut pandang disiplin ilmu teknik adakah struktur yang dapat diidentifikasi dalam wilayah tersebut? Apabila masih berlandaskan pada sudut pandang disiplin ilmu teknik, adakah infrastruktur yang dapat diidentifikasi dalam wilayah tersebut?

Pada suatu even pertandingan sepakbola, stadion sepakbola merupakan satu di antara infrastruktur-infrastruktur dalam wilayah pemerintahan daerah. Sementara itu, dalam infrastruktur tersebut terencakup pula berbagai fasilitas fisik antara lain mencakup: lapangan rumput, trek lintasan lari, pintu-pintu stadion, tribun, podium, tempat parkir kendaraan, lampu penerangan, dan saluran-saluran drainase sebagai prasarana yang dapat digolongkan sebagai infrastruktur maupun komponen IS. Sedangkan peluit, galah, peluru, lembing, cakram, tongkat, rintangan, bola, jaring, tabung pemadam kebakaran, tandu P3K, alarm, sound sistem, sistem rekam tayang digital, serta akses komunikasi telepon dan internet merupakan beberapa di antara peralatan olahraga atletik, sepakbola, informatika dan komunikasi yang termasuk dalam sarana. Sarana-sarana tersebut tergolong IS maupun komponen IS. Namun demikian, dalam beberapa kasus even pertandingan sepakbola, di antara sarana-sarana fisik pendukung struktur yang telah direncanakan untuk tidak dimasukkan kedalam infrastruktur, umumnya sarana-sarana fisik tersebut dapat direalisasikan secara bertahap menjelang waktu even pertandingan sepakbola akan dilangsungkan. Atribut-atribut dan peralatan-peralatan untuk pelaksanaan seremoni pembukaan suatu acara pertandingan dapat diambil sebagai misal di antara sarana-sarana yang dapat direalisasikan dalam beberapa selang waktu menjelang even pertandingan sepakbola tersebut akan dilangsungkan pada stadion sepakbola.

### **1.3 KEBIJAKAN PENGEMBANGAN JIS**

Kebijakan pengembangan infrastruktur diberlakukan di tengah masyarakat melalui tiga jalur, yaitu:

- 1) Kebijakan pemerintah diberlakukan dalam periode tertentu untuk digunakan sebagai pedoman dalam perencanaan, pembangunan, dan pemeliharaan infrastruktur.
- 2) Kebijakan pemerintah diberlakukan pada setiap tahun fiskal baik untuk masyarakat di dalam maupun luar negeri sebagai pedoman bagi para investor, pengembang, dan berbagai pihak berkepentingan dengan investasi infrastruktur pada bidang kerja tertentu.
- 3) Kebijakan pengembang oleh perorangan atau badan hukum maupun badan usaha ditetapkan kepada para pengguna, pelanggan, dan rekan bisnis sesuai dengan kebijakan yang ditetapkan oleh pemerintah dan perkembangan kebutuhan masyarakat akan produk yang dihasilkan melalui sistem yang dikembangkan. Kebijakan pengembang dapat dilakukan dalam tahap perencanaan, pelaksanaan konstruksi, operasi/produksi/ pelayanan, dan pengembangan infrastruktur.

Pertimbangan/ rekomendasi utama yang bersifat teknis untuk penetapan keputusan/kebijakan pengembangan infrastruktur oleh pengembang baik pemerintah, perorangan, badan usaha, atau badan hukum secara umum meliputi:

- 1) Penambahan subsistem baru atau pengurangan subsistem lama yang tidak produktif dalam sistem.
- 2) Peningkatan, penambahan, atau pengurangan kapasitas produksi sistem sehingga dapat mencapai peningkatan nilai ekonomis pada kinerja dan produksi yang jauh lebih menguntungkan melalui penerapan suatu metode.
- 3) Penggantian bagian-bagian sistem maupun JIS yang mengalami penurunan kinerja dan produksi sehingga sistem

maupun JIS mampu bekerja lebih optimal dan mencapai peningkatan nilai ekonomis yang jauh lebih menguntungkan melalui peningkatan kinerja dan produksi.

- 4) Perawatan sistem dan JIS dengan penyesuaian bagian-bagian sistem maupun JIS yang mengalami perubahan tatanan setelah selang waktu tertentu berproduksi, termasuk pembenahan ringan bagian-bagian sistem yang dinilai menjadi penyebab penurunan produksi.
- 5) Perawatan sistem dan JIS dengan membiarkan tatanan maupun bagian-bagian sistem dan JIS yang mengalami penurunan kinerja dan produksi, meskipun hal tersebut dapat meningkatkan biaya perawatan.

#### **1.4 HAMBATAN PENGEMBANGAN JIS**

Dalam rangka pengembangan sistem di tanah air, upaya-upaya pengembangan infrastruktur kini masih dihadapkan pada beberapa hambatan/ kendala, antara lain:

- 1) Teknologi yang akan diterapkan tergolong teknologi tinggi. Suatu JIS harus mampu memberikan dukungan terhadap sistem melalui peningkatan nilai tambah produk yang dihasilkan oleh sistem sehingga JIS yang akan diterapkan harus dipilih dari berbagai alternatif tipe dan metode konstruksi yang tergolong berteknologi tinggi. Makin tinggi tingkat teknologi suatu JIS berpeluang menghasilkan nilai tambah makin tinggi.
- 2) Tenaga ahli berkualitas di bidang infrastruktur masih kurang. Pembangunan suatu JIS sangat dipengaruhi oleh kualitas keahlian tenaga ahli dalam perencanaan, pelaksanaan konstruksi, operasi, dan perawatan konstruksi. Peningkatan kualitas tenaga ahli diperlukan untuk dapat menerapkan berbagai tipe dan metode konstruksi yang tergolong dalam tingkat teknologi tinggi (urai dalam pokok terdahulu).

- 3) Biaya konstruksi infrastruktur tergolong samat besar. Hampir semua infrastruktur memerlukan biaya konstruksi relatif lebih tinggi daripada biaya komponen-komponen sistem lainnya. Selain itu, keperluan biaya konstruksi yang sangat besar untuk upaya pembuatan infrastruktur pada suatu sistem secara konsisten menuntut dihasilkannya nilai produk sistem yang juga bernilai uang sangat besar sehingga menghasilkan keuntungan. Dalam banyak kasus, hal tersebut dapat diatasi dengan penerapan teknologi tinggi, namun demikian dituntut juga kualitas tenaga ahli yang memadai untuk penerapannya. Sementara dalam banyak kasus pula, hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan penghematan biaya baik dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi infrastruktur. Penghematan biaya konstruksi dapat dilakukan dalam banyak alternatif cara, antara lain dapat dilakukan dengan memakai sebanyak mungkin material lokal daripada material dari daerah lain dan efisiensi dalam pemakaian sumberdaya baik dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi JIS.
- 4) Biaya operasi dan perawatan infrastruktur tergolong sangat besar. Beberapa jenis IS atau JIS tertentu memerlukan biaya operasi dan perawatan IS dan JIS tergolong sangat besar dan relatif sulit untuk diminimalkan, sehingga untuk setiap infrastruktur yang akan dibuat/dibangun harus dilakukan suatu tahap pemilihan dengan mempertimbangkan biaya operasi dan perawatan JIS yang dapat dilaksanakan dengan relatif murah. Hambatan tersebut secara prinsip banyak diatasi dengan pemilihan teknologi dan tenaga ahli yang memadai sebagaimana telah dijelaskan dalam pokok terdahulu, di samping melakukan penghematan biaya dalam kegiatan operasi dan perawatan IS dan JIS. Penghematan biaya dalam kegiatan operasi dan perawatan infrastruktur antara lain dapat dilakukan dengan melakukan kegiatan operasi dan perawatan IS dan JIS secara disiplin sesuai



dengan program operasi dan perawatan yang telah direncanakan untuk infrastruktur bersangkutan dan secara disiplin juga dalam melakukan pergantian suku cadang memakai suku cadang yang tepat.

- 5) Kondisi perekonomian, baik di daerah maupun negara, masih perlu terus dikembangkan agar bersifat kondusif dalam mendorong dapat diterapkannya IS dan JIS berteknologi tinggi. Kondisi perekonomian daerah yang kondusif memungkinkan terciptanya peningkatan peluang berusaha, termasuk peluang dalam meningkatkan nilai pertumbuhan dan perolehan manfaat dilaksanakannya pembangunan infrastruktur. Peningkatan pertumbuhan infrastruktur secara langsung maupun tidak langsung akan meningkatkan pertumbuhan perekonomian daerah maupun negara, yang dapat diukur dari peningkatan pendapatan domestik bruto (PDB). Pertumbuhan infrastruktur yang terus meningkat memungkinkan terjadinya peningkatan peluang pemanfaatan infrastruktur dan terciptanya peningkatan kondisi perekonomian yang makin kondusif.
- 6) Peralatan konstruksi amat terbatas. Jumlah maupun jenis peralatan konstruksi yang telah ada relatif masih sangat kecil dibandingkan terhadap luas wilayah pengembangan bidang JIS di daerah maupun negara.

## **1.5 PERMASALAHAN YANG DIPECAHKAN**

1. Berikan informasi secara jelas semua komponen-komponen sistem.
2. Sebutkan 3 di antara infrastruktur yang terdapat di tempat kelahiran, berikan penjelasan secara singkat tentang fungsi dan kondisi masing-masing IS dan JIS tersebut, kemudian lakukan pula identifikasi terhadap IS dan JIS tersebut menurut bidang kerja, sub bidang kerja, sistem, atau pun subsistem sebagaimana dimuat dalam Tabel 1.1.

3. Berikan informasi secara singkat dan jelas tentang suatu infrastruktur yang memiliki sifat semi-alam, lengkapi uraian tersebut agar informatif dengan contoh, fungsi, dan sketsa infrastruktur tersebut.
4. Berdasarkan pada skema sistem dalam Gambar 1.1, rincikan komponen-komponen sistem kedalam kelompok masukan dan keluaran sistem.

# 2

## S I S T E M

Dalam bab ini diuraikan secara lebih rinci tentang beberapa aspek yang berkaitan dengan sistem. Aspek-aspek tersebut akan mencakup komponen sistem, subsistem dalam sistem, manfaat pemakaian sistem, kinerja sistem, tipe-tipe sistem, sinergi sistem, dan operasi serta perawatan sistem. Selain itu, dalam kaitannya dengan pengembangan sistem dan JIS, dalam bab ini juga akan diuraikan pula aspek linearitas sistem dan sinergi sistem dan JIS. Berbagai aspek tersebut merupakan aspek-aspek penting dalam pengkajian dan optimasi sistem dan JIS, baik pada tahap perencanaan, konstruksi, maupun tahap operasi dan perawatan sistem dan JIS, baik untuk sistem dan JIS yang bersifat alami, buatan, atau pun semi alam.

## **2.1 KOMPONEN SISTEM**

Dapat dicermati pada definisi sistem yang telah diuraikan pada bagian Pendahuluan, pada suatu sistem harus terdapat 3 komponen utama meliputi:

- 1) suatu atau rangkaian dari beberapa fenomena/ kejadian/ peristiwa/ proses tertentu yang dialami oleh suatu materi tertentu,
- 2) masukan, dan
- 3) keluaran/ hasil.

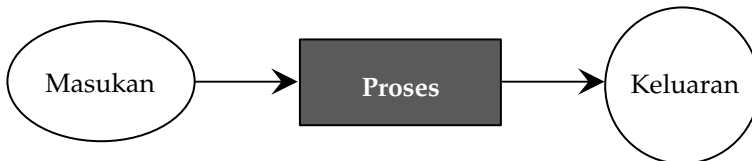
Masing-masing komponen sistem tersebut dapat bersifat alami, buatan, atau semi alam yaitu gabungan antara bersifat alami dan buatan.

Lingkup sistem dapat dirubah/ diatur bergantung pada ketajaman pengamatan dan analisis dalam suatu pengkajian sistem maupun kualitas hasil kajian yang direncanakan. Lingkup suatu sistem ditetapkan untuk kemudahan dalam mengkaji/ mempelajari rangkaian fenomena/ peristiwa/kejadian/proses yang dialami oleh materi tertentu pada sistem. Lingkup parameter masukan sistem dipilih dengan batasan-batasan atau asumsi-asumsi tertentu untuk dapat memfokuskan kajian terhadap proses yang dialami oleh materi pada sistem. Untuk mencapai maksud yang sama, parameter keluaran sistem perlu juga dipilih dengan batasan-batasan atau asumsi-asumsi tertentu.

Suatu IS dapat mencakup sarana dan prasarana fisik sistem yang tergolong masukan maupun lingkungan fisik pada sistem. Sebagai misal di bidang teknik sipil, air dapat berfungsi sebagai sarana fisik untuk mentranspor zat/ material lain yang ditambahkan pada saluran air yang berfungsi sebagai prasarana fisik buatan. Selain itu, sebagai sarana fisik, air dapat juga bertambah secara alami pada sungai atau kanal alami sebagai prasarana fisik alami untuk melakukan proses serupa, yaitu mentranspor zat/ material lain dari suatu lokasi ke lokasi lainnya dalam sistem. Contoh lainnya dapat

diambil dari bidang teknik mesin, untuk pendinginan mesin dapat dilakukan dengan mentranspor udara dingin secara buatan dari ruangan yang bersuhu dingin memakai sarana fisik kompresor. Di lain pihak, untuk tujuan serupa, udara dapat merupakan sarana fisik alami untuk mentranspor suhu dingin dari lingkungan alami sebagai prasarana fisik alami di sekitar mesin tersebut. Proses pendinginan komponen elektronik di bidang teknik elektro juga memakai metode serupa. Dalam konteks alami, sebagai sarana fisik alami, udara dingin dari lingkungan ruangan bersuhu dingin di pegunungan sebagai prasarana fisik alami dapat mengalir secara alami ke bagian tertentu komponen yang memerlukan pendinginan. Sedangkan dalam konteks semi alam, sebagai sarana fisik alami, udara dapat mengalir secara alami dari lingkungan ruangan tertutup bersuhu dingin dengan sarana fisik berupa peralatan pendingin suhu ruangan, yang berfungsi sebagai suatu prasarana fisik buatan pada sistem.

Sistem paling sederhana disebut **Sistem Kotak Hitam**, di mana pada sistem hanya terdapat satu proses dengan masukan dan keluaran dapat bervariasi, lihat Gambar 2.1. Sistem Kotak Hitam digunakan dalam mempelajari proses yang bersifat empiris melalui suatu pengujian di laboratorium atau lapangan. Hal demikian karena proses yang terjadi pada sistem tersebut termasuk masih sulit untuk dipahami/ dipelajari, maka pengkajian maupun optimasi sistem cukup dilakukan secara detil hanya pada komponen masukan dan keluaran sistem.



Gambar 2.1 Sistem Kotak Hitam

Formula atau persamaan matematik yang dihasilkan melalui pengkajian proses secara empiris dikelompokkan kedalam jenis formula empiris atau persamaan empiris. Persamaan-persamaan empiris yang ada umum dilengkapi dengan konstanta-konstanta empiris, yang mengandung dugaan, asumsi, atau aproksimasi.

Dalam banyak kasus di bidang teknik, persamaan empiris masih banyak diperlukan/digunakan karena tingginya tingkat kesulitan proses yang dipelajari, antara lain karena sistem mengandung probabilitas, ketidakpastian, dan *stochastic*.

## 2.2 SUBSISTEM DALAM SISTEM

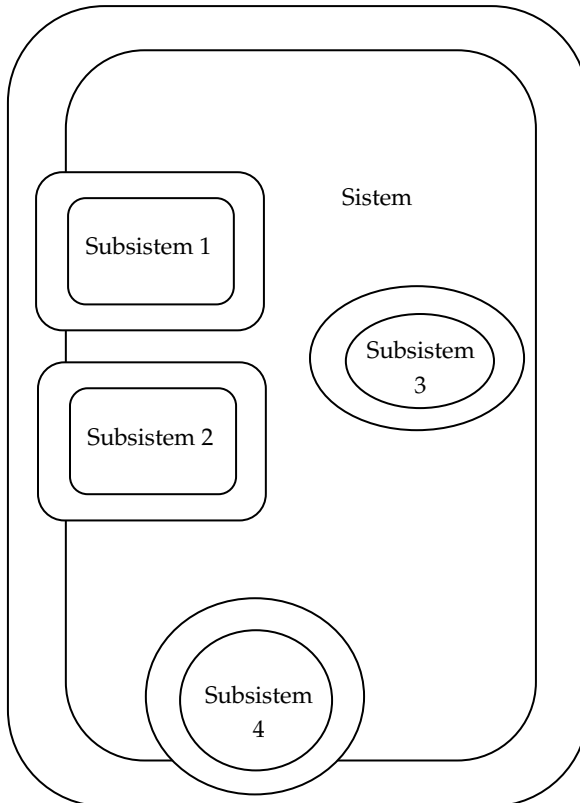
Pada sistem dengan lebih dari satu proses, proses paling menentukan untuk berlangsungnya seluruh proses pada sistem disebut dengan "**proses utama**". Sedangkan proses lain dalam sistem yang tidak lebih menentukan daripada proses utama disebut dengan "**subproses**" karena merupakan proses yang berfungsi mendukung berlangsungnya proses utama dalam sistem maka juga disebut "**proses pendukung**".

Sub-subproses yang berkaitan erat dikelompokkan kedalam *suatu subproses dengan tatanan baru sebagaimana tatanan suatu sistem* yang lebih sederhana yang disebut dengan "**subsistem**". Suatu subsistem dapat ditetapkan memiliki komponen-komponen sebagaimana suatu sistem, namun skala dan lingkup subsistem relatif lebih kecil, sempit, dan sederhana daripada sistem di mana subsistem bersangkutan berada.

Pada sistem yang kompleks dengan banyak proses, banyak di antara proses-proses dalam sistem termasuk rumit untuk dipelajari sehingga perlu disederhanakan dengan mengelompokkan beberapa proses yang saling berkaitan kedalam suatu subproses. Masing-masing subproses dapat difungsikan sebagai suatu subsistem. Pada suatu sistem yang relatif kompleks, lihat visualisasi Gambar 2.2, terdapat satu atau lebih subsistem, dengan dua atau lebih subsistem

## Sistem

memiliki fungsi sama, dengan atau tanpa suatu proses atau pun beberapa proses lainnya dalam sistem yang tidak atau belum dapat dirangkaikan menjadi suatu subsistem. Langkah penyederhanaan kompleksitas proses dalam suatu sistem dengan beberapa subsistem menjadikan suatu sistem yang semula bersifat kompleks menjadi suatu sistem yang relatif sederhana sehingga mudah dipelajari dan dikembangkan.



Gambar 2.2 Sistem dan Subsistem

Subproses yang berlangsung pada suatu subsistem umumnya dirancang untuk melakukan fungsi khusus berkaitan dengan proses utama yang berlangsung pada sistem. Hal tersebut memungkinkan pengembangan sistem melalui penambahan dan pengurangan satu atau beberapa subsistem sehingga pengembangan sistem dapat dilakukan relatif lebih mudah.

Dalam pendekatan sistem diperlukan cara berfikir sistemik untuk dapat mencermati dengan tepat lingkup suatu sistem, di mana dalam lingkup sistem tersebut hanya tercakup proses utama dan sub-subproses yang penting saja. Beberapa proses yang tidak tergolong penting, dan tidak berpengaruh terhadap sistem, maupun tidak relevan terhadap sistem harus dikeluarkan dari lingkup sistem.

Lingkup suatu sistem secara umum dapat disetarakan dengan lingkup suatu sektor yang berkembang di tengah masyarakat, yang umumnya langsung berada di bawah sistem pemerintahan wilayah atau negara. Sub-sektor di bawah sektor bersangkutan dengan demikian dapat disetarakan pula dengan sub-subsistem dalam suatu sistem yang ditinjau. Untuk itu, nama sistem dapat diambil dengan menggabungkan antara nama sektor atau subsektor dengan nama wilayah di mana sistem diterapkan. Sebagai misal adalah sistem transportasi di suatu wilayah provinsi merupakan subsistem dari subsistem transportasi wilayah negara, yang berada di bawah atau diselenggarakan melalui sinergi antara sistem perhubungan dan sistem telekomunikasi negara dalam sistem pemerintahan. Sistem transportasi wilayah provinsi sekaligus pula merupakan induk untuk sub-subsistem transportasi wilayah kabupaten, kecamatan, kelurahan, dan subsistem lain di bawahnya.

Pengembangan sektor di tengah masyarakat dengan demikian dapat dilakukan menggunakan pendekatan sistem. Masing-masing subsektor dalam sektor selanjutnya dapat didekati sebagaimana suatu subsistem dalam sistem.



Lingkup wilayah suatu sistem yang umum dikaji dalam bidang ilmu secara umum berada pada suatu subsektor dari suatu subsektor dalam sektor/ bidang kerja, baca kembali Tabel 1.1. Pada sistem tersebut dapat ditetapkan beberapa subsistem yang secara umum dapat difungsikan sebagai lokus kajian dalam upaya pengkajian maupun optimasi untuk pengembangan sistem. Sebagai misal pada sistem drainase lapangan bola, sistem tersebut minimal harus mencakup subsistem drainase permukaan dan subsistem drainase bawah permukaan. Masing-masing subsistem drainase tersebut mencakup infrastruktur atau prasarana fisik berupa saluran-saluran kolektor dan subkolektor untuk menyalurkan/ membuang air hujan ke badan air pembuangan, umumnya sungai atau laut. Dengan demikian, untuk pengembangan sistem drainase lapangan bola, upaya pengembangan dapat dilakukan melalui pengembangan subsistem drainase permukaan dan subsistem drainase bawah permukaan secara serentak. Namun demikian, upaya pengembangan sistem drainase lapangan bola dapat juga dilakukan lebih mudah dan sederhana jika upaya tersebut difokuskan pada pengembangan subsistem drainase permukaan saja atau dapat juga difokuskan pada pengembangan subsistem drainase bawah permukaan saja. Sebagai contoh lainnya, sistem transportasi jalan raya dalam suatu wilayah provinsi akan mencakup subsistem jalan arteri yang difungsikan untuk menghubungkan wilayah-wilayah penting di provinsi lainnya, di samping subsistem jalan kolektor dan jalan subkolektor pada wilayah kabupaten dalam provinsi tersebut. Upaya pengembangan sistem transportasi jalan raya wilayah provinsi dengan demikian dapat dilakukan melalui upaya pengembangan subsistem jalan arteri penghubung wilayah antar provinsi saja atau pengembangan subsistem jalan kolektor saja. Selain itu, upaya pengembangan sistem transportasi jalan raya wilayah provinsi dapat juga dilakukan hanya melalui upaya pengembangan jalan subkolektor pada wilayah kabupaten dalam provinsi tersebut. Pada sudut pandang lain, upaya pengembangan

sistem transportasi jalan raya pada suatu wilayah provinsi dapat juga dilakukan secara serentak melalui ketiga upaya pengembangan subsistem yang telah diuraikan tersebut. Dalam kedua konteks pengembangan sistem tersebut, dilakukan langkah pengkajian atau optimasi terhadap aspek-aspek yang berkaitan dengan IS yang ditinjau.

## **2.3 MANFAAT PEMAKAIAN SISTEM**

Pemakaian suatu sistem untuk melakukan proses pencapaian tujuan memungkinkan didapatkan manfaat/keuntungan tambahan, antara lain:

- 1) kemudahan dalam mempelajari fenomena atau proses yang terjadi dalam sistem,
- 2) kemudahan pencapaian produk dan dampak positif yang diharapkan,
- 3) efektifitas sumberdaya, sarana, dan infrastruktur terpakai,
- 4) efisiensi sumberdaya, sarana, dan infrastruktur terpakai,
- 5) kemudahan operasi dan perawatan infrastruktur,
- 6) otomatisasi beberapa subsistem dalam sistem.
- 7) kemudahan pengembangan produk,
- 8) kemudahan pengembangan sarana,
- 9) kemudahan pengembangan infrastruktur,
- 10) kemudahan pengembangan organisasi.

Pokok-pokok tersebut diuraikan secara lebih detil agar dapat memudahkan pemahaman dalam mempelajari manfaat sistem. Penggunaan sistem memungkinkan didapatkannya manfaat tambahan jika dibandingkan dengan menuai hasil alam maupun menjalankan proses produksi tanpa menggunakan sistem, meskipun kedua hal yang terakhir disebutkan dapat dilakukan atau terjadi begitu saja. Untuk dapat memetik manfaat tambahan melalui penggunaan sistem diperlukan perencanaan, pengkajian, hingga optimasi sistem.

Manfaat tambahan ke-1, yaitu kemudahan dalam mempelajari fenomena atau proses yang terjadi dalam sistem umumnya berkaitan dengan konteks fenomena alam. Pemakaian sistem secara prinsip diperlukan untuk memfokuskan kajian pada proses yang berlangsung dalam sistem. Hal tersebut dikarenakan proses yang terjadi pada sistem belum dapat diketahui secara pasti. Proses yang berlangsung dalam sistem tersebut kadang relatif sangat sulit dipelajari.

Berlainan dengan fenomena pada sistem alam, pada sistem buatan maupun semi alam dimungkinkan didapatkannya semua manfaat tambahan yang telah dirincikan tersebut. Hal demikian dimungkinkan karena pada sistem buatan dan semi alam proses yang berlangsung pada sistem umumnya dapat diketahui secara pasti, meskipun proses dalam penguasaan pengetahuan tersebut tidak selalu dapat dilakukan dengan mudah. Oleh karena itu, hal penting yang perlu diketahui lebih lanjut adalah kondisi proses atau informasi lebih detil tentang proses yang berlangsung pada sistem. Selain itu, penting pula diketahui lebih detil tentang kemudahan pencapaian produk dan dampak positif, operasi dan perawatan, hingga kemudahan dalam pengembangan berbagai komponen sistem, yang telah dirincikan tersebut.

Keluaran pada suatu sistem buatan umum dinyatakan sebagai produk sistem. Suatu sistem buatan dapat dibuat untuk mampu menghasilkan suatu atau banyak produk. Kondisi produk sistem diukur berdasarkan pada ketentuan standar kualitas produk yang diberlakukan melalui peraturan perundangan.

Pemakaian sistem memungkinkan timbulnya kemudahan dalam pencapaian produk dan dampak positif yang diharapkan. Hal demikian karena penguasaan pengetahuan tentang proses dalam pencapaian produk memungkinkan pencapaian produk dapat dilakukan secara lebih terjadwal, dalam jumlah mencapai target, dan dapat dipertahankan terjamin berkualitas. Pencapaian produk dengan metode sistem kini telah pula dilakukan hingga produk

bersangkutan sampai kepada masyarakat/konsumen/pengguna dengan maupun tanpa jaminan kualitas purna jual. Pencapaian produk demikian memungkinkan dampak positif yang diharapkan dapat relatif mudah diukur dan didokumentasikan, tidak hanya direncanakan. Pemakaian sistem dengan demikian memungkinkan dampak positif yang diharapkan dapat juga lebih mudah dicapai baik bagi pengembang maupun masyarakat pengguna. Beberapa dampak negatif yang perlu dihindarkan juga diukur berdasarkan pada ketentuan standar yang diberlakukan melalui peraturan perundangan.

Pengetahuan tentang sistem dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan sistem memungkinkan sumberdaya dan IS yang tersedia secara alami maupun buatan dapat dipilih dan digunakan secara efektif. Pemakaian sistem mereduksi terjadinya penumpukan sumberdaya dan sarana sehingga hal-hal tersebut mereduksi pula dari resiko IS dalam kondisi terbengkalai, mengalami penurunan kualitas, dan tidak termanfaatkan karena kerusakan. Kondisi pemakaian sumberdaya dan IS memungkinkan residu-residu dalam pencapaian tujuan sistem dapat direduksi hingga mencapai nilai residu minimal.

Pemakaian sistem membuka peluang peningkatan efisiensi pemakaian sumberdaya dan IS dapat dilakukan secara lebih mudah. Hal demikian karena pemakaian sistem dapat menghindarkan pemborosan waktu maupun biaya dan dapat mereduksi terjadinya resiko penumpukan, keterbengkalai, penurunan kualitas, dan kerusakan pada sumberdaya dan IS pada sistem. Pemakaian sistem dapat juga meningkatkan efisiensi melalui reduksi residu dalam pemakaian sumberdaya dan IS.

Pemakaian sistem memungkinkan operasi dan perawatan infrastruktur mudah dilaksanakan berdasarkan pada ilmu pengetahuan tentang proses dalam sistem yang relatif mudah dipelajari dan dikuasai. Penerapan pengetahuan tersebut dalam operasi dan perawatan infrastruktur memungkinkan perawatan

komponen-komponen sistem dapat dilakukan relatif mudah, baik untuk sistem yang bersifat alami, buatan, maupun semi alam. Kemudahan dalam perawatan komponen-komponen sistem memungkinkan sistem dapat selalu siap dioperasikan untuk mencapai kinerja optimal.

Penerapan pengetahuan tentang proses dalam sistem beserta operasi dan perawatan komponen-komponen sistem akan memungkinkan beberapa subsistem dalam sistem dapat dioperasikan secara otomatis. Automatisasi beberapa subsistem akan lebih memungkinkan operasi dan perawatan sistem dapat dilakukan secara lebih mudah dan efisien.

Kemudahan pengembangan produk dapat diperoleh melalui pemakaian sistem. Produk sistem dapat ditingkatkan baik ditinjau dari segi jumlah, kualitas, maupun variasi tipe berdasarkan pada hasil analisis terhadap produk yang telah dihasilkan dari waktu ke waktu melalui pemakaian sistem.

Kemudahan pengembangan sarana dapat juga diperoleh melalui pemakaian sistem. Sarana pada sistem dapat terus dikembangkan sejalan dengan pengembangan tujuan pemakaian sistem dari waktu ke waktu. Pengembangan sarana dapat dilakukan antara lain melalui peningkatan jumlah, kapasitas kerja, dan automatisasi kerja dalam mendukung kinerja sistem.

Kemudahan pengembangan infrastruktur dapat juga diperoleh melalui pemakaian sistem. Pengembangan infrastruktur dapat dilakukan antara lain melalui perluasan lingkup sistem, penambahan jumlah, jenis, kualitas kinerja, maupun kapasitas infrastruktur.

Pemakaian sistem memungkinkan pula dilakukannya pengembangan organisasi. Pengembangan organisasi sistem dapat dilakukan melalui berbagai cara antara lain: peningkatan kualitas sumberdaya manusia, standar keahlian anggota organisasi, dan penambahan maupun pengurangan jumlah anggota organisasi dalam sistem.

Berbagai kemudahan untuk pengembangan komponen-komponen sistem yang telah diuraikan dalam alenia terdahulu tentu saja dapat diperoleh dengan menggabungkan dua atau lebih kemudahan tersebut. Peningkatan efisiensi operasi sistem sebagai misal dapat dilakukan melalui pemakaian infrastruktur yang efektif dioperasikan disertai pemilihan operator dengan keahlian yang memadai sebagai anggota.

Kondisi proses pada suatu sistem umum dinyatakan sebagai kinerja sistem. Kinerja sistem perlu diketahui untuk dapat mencapai kondisi operasi sistem yang mendukung pencapaian tujuan sistem. Kinerja sistem perlu juga diketahui untuk menjaga sistem tetap dapat beroperasi dengan aman dan awet. Di samping itu, kinerja sistem perlu juga diketahui untuk dapat menentukan suatu atau beberapa strategi dan langkah lanjut untuk pengembangan sistem. Kinerja sistem dapat diukur berdasarkan pada ketentuan standar kinerja sistem maupun dapat juga dibandingkan terhadap kinerja sistem lain sejenis.

## **2.4 KINERJA SISTEM**

Kinerja sistem berkaitan erat dengan lingkup wilayah operasi, ukuran, dan teknologi terpakai, karena ketiga karakter sistem tersebut berkaitan langsung dengan kondisi lingkungan fisik maupun sosial masyarakat di mana sistem tersebut diterapkan. Produk yang dihasilkan oleh sistem dapat dikonsumsi atau dimanfaatkan masyarakat di dalam wilayah kerja sistem, namun dapat juga ditranspor untuk dapat dikonsumsi atau dimanfaatkan masyarakat di luar wilayah kerja sistem. Banyak di antara sistem menghasilkan produk yang berkaitan erat dengan pengembangan wilayah, sehingga kinerja sistem tersebut sangat berkaitan erat dengan lingkup wilayah operasi sistem. Kesesuaian antara pengembangan sistem dan pengembangan wilayah memungkinkan produk yang dihasilkan sistem dapat cepat memberikan dampak

positif bagi masyarakat dalam wilayah operasi sistem. Wilayah operasi sistem yang berkembang dengan cepat dapat berdampak positif meningkatkan kebutuhan untuk mengembangkan sarana maupun prasarana wilayah. Ukuran sistem juga sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem. Sistem berukuran besar dapat mudah dipahami memungkinkan menghasilkan produk dan dampak berukuran besar. Kinerja sistem berukuran besar umum memakai sumberdaya dan IS yang juga berukuran besar. Pemilihan dan pemakaian teknologi yang tepat memungkinkan tercapainya nilai tambah pemakaian teknologi yang diharapkan. Pemilihan dan pemakaian teknologi yang tepat dalam pembuatan maupun operasi sistem memungkinkan pula tercapainya kinerja optimal sistem yang efektif dan efisien sehingga akan memudahkan pengembangan sistem dan peningkatan kesejahteraan pengembang dan masyarakat dalam wilayah operasi sistem.

#### **2.4.1. Kinerja Umum Sistem**

Setiap sistem selalu memiliki kinerja umum dalam memproses masukan menjadi keluaran. **Kinerja umum sistem** atau **unjuk kerja umum sistem** merupakan *prestasi rata-rata proses dalam sistem*. Dalam kelas sistem-sistem alami, kinerja umum sistem tergolong masih sulit untuk dapat distandarisasikan. Karena itu banyak di antara sistem yang bersifat alam belum dapat dioptimalkan dan masih dioperasikan berdasar efektifitas operasi sistem bersangkutan. Pada sistem yang bersifat alam, proses atau rangkaian proses yang dialami hanya dibedakan dalam kondisi umum atau kritis. Proses atau rangkaian proses yang dilakukan pada sistem buatan dan semi alam dapat dinilai berdasarkan pada suatu standar atau kriteria tertentu. Standar kinerja umum sistem dapat ditetapkan berdasarkan pada prestasi rata-rata proses atau rangkaian proses pada sistem atau dapat ditetapkan berdasarkan pada prestasi rata-rata dalam kelas sistem sejenis.

Dalam beberapa kelas sistem buatan, terutama di bidang produksi barang dan jasa dalam bidang kerja yang berkaitan erat dengan JIS, ketentuan standar untuk kinerja umum sistem telah dapat distandarisasikan. Sebagai misal adalah standar umum kinerja untuk manajemen organisasi, sumberdaya, dan sarana untuk produksi barang dan jasa dalam bidang teknik jasa konstruksi yang umumnya diukur berdasar pada kondisi minimal atau kondisi optimal dalam kelas sistem. Oleh karena itu, manajemen organisasi, sumberdaya, dan sarana untuk produksi barang dan jasa dalam bidang teknik jasa konstruksi secara umum terus ditingkatkan melalui kegiatan-kegiatan optimasi sistem. Kegiatan-kegiatan tersebut secara langsung maupun tidak langsung meningkatkan efektifitas dan efisiensi JIS yang akan, sedang, maupun telah direalisasikan.

Untuk suatu jenis sistem baru yang belum diketahui secara pasti ketentuan standar untuk kinerja umum sistem, maka kinerja umum untuk sistem baru tersebut dapat ditetapkan berdasarkan pada teori-teori yang berkaitan erat terhadap sistem baru yang ditinjau tersebut.

#### **2.4.2. Kinerja Maksimum Sistem**

Setiap sistem memiliki kinerja maksimum yang berkaitan erat dengan potensi sistem yang telah dibangun berdasarkan rencana. **Kinerja maksimum sistem** merupakan *prestasi maksimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem*. Kinerja maksimum sistem identik atau samadengan **potensi sistem**, yaitu kemampuan maksimal/kapasitas suatu sistem dalam menghasilkan keluaran sistem.

Kinerja maksimum sistem tidak diukur berdasarkan pada suatu standar atau kriteria tertentu, meskipun pengukuran berdasar pada suatu standar atau kriteria tertentu dapat dilakukan. Namun demikian, dalam banyak kasus perencanaan, perancangan, dan



operasi sistem, kinerja maksimum sistem umumnya dibandingkan terhadap kinerja maksimum sistem dalam kelas sistem sejenis. Hal tersebut umumnya perlu dilakukan untuk mengetahui rasio potensi sistem yang ditinjau terhadap potensi sistem lain atau sistem dalam kelas sistem sejenis yang telah ada.

Dalam konteks sistem dalam kelas sistem alam dan semi alam serta hubungannya terhadap kapasitas maksimalnya, suatu sistem tertentu perlu dijaga untuk dioperasikan dalam 3 katagori kelas operasi sistem meliputi:

- 1) dapat dioperasikan di atas kinerja maksimal sistem,
- 2) selalu dioperasikan pada kinerja maksimal sistem atau tidak dioperasikan di bawah kinerja maksimal sistem,
- 3) selalu dioperasikan di bawah kinerja maksimal sistem atau tidak dioperasikan pada kinerja maksimal sistem,

Dalam konteks sistem buatan, suatu sistem tertentu perlu dijaga hanya untuk dioperasikan dalam 2 katagori kelas operasi sistem meliputi:

- 1) selalu dioperasikan pada kinerja maksimal sistem atau tidak dioperasikan di bawah kinerja maksimal sistem,
- 2) selalu dioperasikan di bawah kinerja maksimal sistem atau tidak dioperasikan pada kinerja maksimal sistem,

Kondisi batas tersebut penting dalam upaya mempertahankan sistem dapat dioperasikan dengan aman dan awet.

### **2.4.3. Kinerja Minimal Sistem**

**Kinerja minimal sistem** merupakan *prestasi minimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem dalam mengubah masukan menjadi keluaran*. Dalam kondisi tertentu, operasi sistem penting dilaksanakan dalam kinerja minimal sistem dalam upaya mempertahankan sistem dapat dioperasikan dengan aman dan awet.

Operasi sistem dalam kinerja minimal sistem umum dilakukan dalam periode perawatan. Hal tersebut ditujukan untuk dapat melaksanakan perawatan sistem dalam kondisi tetap beroperasi untuk menghasilkan produk sistem dalam pencapaian target produksi atau tujuan lain yang diperlukan.

Kinerja minimal sistem perlu diukur sebagai tolok ukur dalam pemakaian minimal sumberdaya dan sarana beserta produk dan dampak minimal yang dihasilkan. Hal demikian karena kinerja minimal sistem tidak hanya berkaitan dengan produk dan dampak minimal sistem, tetapi umumnya berkaitan erat pula dengan pemakaian sumberdaya dan sarana minimal sistem.

Kinerja minimal sistem dapat digunakan sebagai suatu tolok ukur untuk kinerja umum sistem dalam menghasilkan produk dan dampak dibandingkan terhadap karena kinerja minimal sistem untuk kelas sistem sejenis.

Kinerja minimal sistem berkaitan erat dengan potensi sistem, sebagaimana kinerja maksimum sistem. Berkaitan dengan hal tersebut, kinerja minimal sistem dalam banyak kasus perencanaan dan operasi sistem dibandingkan terhadap kinerja minimal sistem dalam kelas sistem sejenis.

#### **2.4.4. Kinerja Optimal Sistem**

Di antara parameter potensi sistem yang penting diketahui adalah kinerja optimal sistem, di samping parameter-parameter sistem telah diuraikan terdahulu. **Kinerja optimal sistem** merupakan *prestasi maksimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem dalam menghasilkan keuntungan maksimal dalam kondisi masukan sumberdaya dan sarana minimal*. Selain itu, kinerja optimal sistem juga bermakna sebagai *prestasi maksimal proses pada sistem dalam meminimalkan kendala, resiko, atau dampak negatif pada kondisi masukan sumberdaya, prasarana dan sarana minimal dalam operasi sistem*.

## **2.5 TIPE-TIPE SISTEM**

Pendekatan sistem akan lebih mudah, efektif, dan efisien digunakan apabila sistem yang dipelajari atau dikembangkan dapat diidentifikasi dengan tepat. Tipe-tipe sistem yang telah dikenal dan digunakan hingga kini dapat dibedakan berdasarkan pada sifat dan perilaku sistem. Perbedaan sifat dan perilaku sistem antara lain meliputi: asal usul/ keberadaan sistem di alam; probabilitas kejadian dalam distribusi ruang dan waktu; ukuran; tingkat teknologi; stabilitas bentuk atau posisi; linearitas; urutan proses; otomatisasi proses; dan interaksi antar komponen sistem. Jenis-jenis atau tipe-tipe sistem tersebut perlu diuraikan secara rinci dalam bagian ini sebagai berikut.

Sistem secara umum dapat diklasifikasikan berdasar pada asal usul atau keberadaan komponen-komponennya di alam. Berdasar pada kriteria tersebut, sistem dapat dikelompokkan kedalam 3 kelas, yaitu:

- 1) **Sistem alam** adalah sistem dengan komponen-komponen sistem bersifat alami. Sistem Hutan Jati alam sebagai misal memiliki habitat alam Pohon Jati dengan semua pohon dalam habitat tumbuh dan berkembang secara alami.
- 2) **Sistem buatan** adalah sistem dengan komponen-komponen sistem bersifat buatan. Sistem rumah tinggal sederhana di tepi jalan desa dapat diambil sebagai misal untuk suatu sistem buatan. Sistem Hutan Jati, Hutan Jati buatan, dapat juga dibuat dengan menanam dan memelihara habitat Pohon Jati dalam lahan hutan alam maupun lahan kosong.
- 3) **Sistem semi alam** adalah sistem dengan komponen-komponen sistem bersifat gabungan antara bersifat alami dan buatan. Misal, sebagai gabungan dari dua sistem yang telah disebutkan terdahulu, yaitu sistem rumah tinggal sederhana di tepi jalan desa dan di tengah Hutan Jati alam. Selain itu, sistem suatu rumah kaca dapat juga dipakai sebagai misal

sebagai suatu sistem semi alam. Hal tersebut karena rumah kaca dibuat manusia untuk dapat mengkondisikan nilai-nilai parameter dalam rumah kaca untuk dapat diatur dengan peralatan-peralatan sesuai dengan kondisi yang direncanakan atau dikehendaki sebagaimana kondisi cuaca alami pada umumnya, antara lain: parameter suhu, kelembaban, dan kondisi udara, air, tanah, beserta segenap isi ruangan dalam rumah kaca. Namun demikian, secara langsung maupun tidak langsung, setelah dioperasikan rumah kaca tersebut juga akan selalu berinteraksi dengan lingkungan di sekitarnya, segenap komponen ekosistem dan lingkungan fisik di luar ruangan rumah kaca tersebut.

Untuk mempelajari fenomena-fenomena alam dan semi alam, sistem-sistem umumnya dikelompokkan kedalam beberapa kelas berdasarkan pada probabilitas kejadian dalam distribusi ruang dan waktu, sebagaimana dijabarkan dalam [5]. Berdasar pada kriteria sifat sistem tersebut, sistem dapat dikelompokkan kedalam beberapa kelas, antara lain:

- 1) **Sistem *stochastic*** merupakan kelas sistem yang bersifat probabilistik. Sebagai misal, suatu sistem untuk mempelajari atau mengkaji hujan daerah pada suatu daerah aliran sungai (DAS) yang ditetapkan untuk upaya pengembangan potensi sumber daya air pada tempat-tempat wisata alam maupun semi alam. Sistem tersebut bersifat probabilistik, terdistribusi dalam ruang dan waktu.
- 2) **Sistem *deterministic*** merupakan kelas sistem yang bersifat tidak probabilistik. Sistem peralatan ukur tinggi muka air otomatis yang diletakkan pada sebuah sumur khusus di tepi sebuah sungai atau saluran terbuka yang mengalirkan air dapat diambil sebagai misal untuk suatu sistem deterministik yang tidak terdistribusi dalam ruang, tetapi terdistribusi dalam waktu. Selain itu, sistem deterministik dapat juga

berupa suatu sistem yang bersifat tidak probabilistik, terdistribusi dalam ruang, tetapi tidak terdistribusi dalam waktu, misal sistem peralatan pengukur massa jenis zat di alam semesta.

Berdasar pada ukuran fisik sistem, suatu sistem dapat dikelompokkan kedalam 5 kelas sebagai berikut:

- 1) **Sistem mini** merupakan sistem dengan ukuran mini dengan biaya IS umumnya sangat kecil. Sebagai misal, sistem pada peralatan-peralatan permanen untuk pengukuran, antara lain sistem peralatan pengukuran tinggi muka air dan kecepatan aliran air pada sungai atau saluran terbuka. Sistem pada model fisik suatu fenomena alam yang digunakan untuk mempelajari fenomena alam menggunakan rangkaian suatu benda sebagai miniatur fenomena alam tersebut umumnya dapat dimasukkan kedalam sistem mini, meskipun biaya untuk penyelenggaraan sistem tersebut dapat relatif mahal. Namun, penggunaan sistem miniatur untuk model fisik tersebut dalam banyak kasus dapat menghemat biaya untuk mempelajari fenomena bersangkutan daripada mempelajari fenomena sesungguhnya pada IS.
- 2) **Sistem kecil** merupakan sistem dengan ukuran kecil dengan biaya IS relatif kecil. Di dalam negeri, biaya sistem tersebut umumnya kurang dari 100 juta rupiah. Sistem kolam renang anak-anak dapat dipakai sebagai misal, sistem tersebut digunakan untuk pemenuhan kebutuhan rekreasi bagi anak-anak dan dapat dibuat baik di rumah maupun tempat rekreasi.
- 3) **Sistem sedang** merupakan sistem dengan ukuran sedang dengan biaya IS relatif mahal. Di dalam negeri, biaya sistem dalam kelas ini umumnya berkisar antara 100 juta hingga 250 juta rupiah.

- 4) **Sistem besar** merupakan sistem dengan ukuran besar dengan biaya IS tergolong mahal. Di dalam negeri, sistem dalam kelas ini umumnya berkisar antara 250 juta hingga 2 milyar rupiah.
- 5) **Sistem sangat besar** merupakan sistem dengan ukuran amat besar dengan biaya IS tergolong sangat mahal. Di dalam negeri, sistem kelas ini umumnya hanya dapat diwujudkan dengan biaya lebih dari 2 milyar rupiah.

Sistem dapat juga diklasifikasikan berdasarkan pada tingkat teknologi atau kerumitan proses dalam sistem, meliputi kelas:

- 1) **Sistem sederhana** adalah sistem untuk penerapan teknologi sederhana dengan proses yang tergolong sederhana atau sedikit jumlahnya, sehingga tidak tergolong proses rumit.
- 2) **Sistem kompleks** adalah sistem untuk penerapan teknologi menengah atau teknologi tinggi dengan satu atau banyak proses yang tergolong tidak sederhana sehingga proses dalam sistem tergolong rumit.

Berdasar pada perilaku operasi sistem, sistem dapat juga diklasifikasikan kedalam kelas-kelas sebagai berikut:

- 1) Kelas sistem berdasarkan pada stabilitas bentuk atau posisi sistem meliputi:
  - a) **Sistem statis** merupakan sistem dengan bentuk atau posisi komponen sistem bersifat tetap ketika sistem bersangkutan bekerja/ dioperasikan. Misal, sistem tiang bendera di mana sistem harus berada dalam kondisi tetap stabil meskipun bendera pada sistem bergerak. Sistem konstruksi rumah tinggal satu lantai dapat pula dipakai sebagai misal, di mana rumah tinggal tersebut harus berada dalam kondisi tetap meskipun pohon-pohon dan berbagai jenis kendaraan bergerak lalu lalang di sekitar rumah tersebut.

- b) **Sistem dinamik** merupakan sistem dengan bentuk atau posisi sebagian dari komponen sistem dapat berubah posisi secara periodik (siklik) ketika sistem dioperasikan. Misal, sistem konstruksi gedung parkir bertingkat banyak, konstruksi jembatan rangka baja, dan sistem konstruksi rangka kendaraan.
- 2) Kelas sistem berdasarkan pada linieritas sistem, atau sifat dan perilaku linear atau nonlinear sistem, baik proses maupun hubungan antara masukan dan keluaran sistem. Sistem dalam kelas ini meliputi:
- a) **Sistem linear** merupakan sistem dengan proses maupun hubungan antara keluaran sistem sebanding (berbanding lurus atau kelipatan) terhadap masukan sistem. Sebagai misal adalah sistem gerak kendaraan lurus beraturan dalam selang waktu tertentu yang menunjukkan bahwa jarak gerak kendaraan sebanding dengan kecepatan sesaat maupun kecepatan rata-rata gerak kendaraan.
  - b) **Sistem nonlinear** merupakan sistem dengan proses atau hubungan antara keluaran sistem tidak sebanding terhadap masukan sistem. Misal, sistem gerak kendaraan lurus berubah beraturan yang menunjukkan bahwa jarak gerak kendaraan tidak sebanding dengan kecepatan sesaat gerak kendaraan oleh pengaruh percepatan gerak kendaraan, meskipun jarak tersebut dapat sebanding dengan kecepatan rata-rata gerak kendaraan.
- 3) Kelas sistem berdasarkan pada urutan proses (atau cara proses) dalam sistem meliputi:
- a) **Sistem berurutan** merupakan sistem dengan beberapa proses yang berlangsung secara berurutan satu demi satu, dan proses tersebut harus dilaksanakan sesuai dengan urutan. Sistem gerak kendaraan masuk dan keluar terminal dapat dipakai sebagai misal.

- b) **Sistem bersamaan** merupakan sistem dengan proses dalam sistem berlangsung secara bersamaan. Sistem pengawasan dan pelaksanaan operasi sebagai misal, kedua sistem harus dilaksanakan secara bersamaan.
  - c) **Sistem simultan** merupakan sistem dengan beberapa proses yang berlangsung secara acak tanpa urutan tertentu. Sebagai misal, sistem gerak kendaraan masuk dan keluar suatu kota.
- 4) Kelas sistem berdasarkan pada keberadaan mesin atau bangunan dalam proses sistem meliputi kelas:
- a) **Sistem manual/nonteknis** merupakan sistem yang tidak menggunakan dukungan mesin atau benda buatan manusia dalam keberlangsungan proses sistem. Sistem manual pada fabrikasi meubel dan sistem irigasi pertanian nonteknis dapat diambil sebagai misal di antara sistem yang dapat dilangsungkan secara manual.
  - b) **Sistem mekanis/teknis** merupakan sistem yang seluruh proses di dalamnya dilakukan menggunakan mesin atau benda buatan manusia. Misal, sistem mekanis untuk irigasi pertanian teknis.
  - c) **Sistem semi mekanis/semi teknis** merupakan sistem yang tidak seluruh proses di dalamnya dilangsungkan memakai dukungan mesin atau benda buatan manusia. Sistem fabrikasi meubel dan sistem irigasi semi teknis sebagai misal.
- 5) Kelas sistem berdasarkan pada automatisasi proses pada sistem kedalam kelas-kelas sebagai berikut:
- a) **Sistem manual** merupakan sistem dengan proses kerja sistem dilangsungkan dengan sumberdaya manusia, hewan, atau tumbuhan. Misalnya, sistem pengendalian mobil pada umumnya di jalan raya, sistem produksi bata untuk material bangunan, dan sistem perawatan taman-taman kota.



- b) **Sistem otomatis** merupakan sistem dengan peran manusia tidak mutlak diperlukan dalam proses kerja sistem. Manusia hanya melakukan sekali pengaturan saat sistem akan mulai bekerja. Misalnya, sistem pengisian air pada tower memakai pompa, robot pembersih sampah, dan peralatan-peralatan dengan kecerdasan buatan (artificial intelligence), dan semua sistem alami.
- c) **Sistem semi otomatis** merupakan sistem dengan peran manusia masih diperlukan dalam proses kerja sistem sementara proses kerja sistem berjalan otomatis. Sebagai misal, sistem pengendalian mobil di jalan raya yang didukung perlengkapan otomatis untuk transmisi gigi dengan pedal gas. Sistem penerangan jalan atau area dengan sumber energi alam dan otomatisasi kerja. Demikian halnya dengan robot-robot yang dibuat untuk mempermudah manusia dalam melaksanakan pekerjaan-pekerjaan rutin.

Sistem dapat juga diklasifikasikan berdasarkan pada lingkup wilayah operasi sistem di mana sistem bekerja. Berdasar klasifikasi tersebut sistem dapat dikelompokkan kedalam kelas:

- 1) **Sistem universal** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem dalam wilayah antar planet, tatasurya, atau galaxy. Misal, sistem satelit geo positioning system (GPS) dan sistem pengamatan bintang atau benda ruang angkasa.
- 2) **Sistem internasional** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup wilayah antar 2 atau lebih negara atau wilayah global. Sebagai misal, sistem transportasi angkutan laut, transportasi angkutan udara, dan telekomunikasi seluler.
- 3) **Sistem nasional** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup beberapa atau seluruh wilayah suatu negara. Di tanah air, suatu sistem nasional dibangun untuk dioperasikan dalam wilayah antar 2 atau beberapa provinsi

dalam wilayah negara. Sistem transportasi bus antar wilayah provinsi, transportasi penyeberangan antar pulau, dan sistem pemancar televisi nasional UHF dapat dipakai sebagai misal untuk suatu sistem nasional.

- 4) **Sistem regional** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup zone dalam wilayah antar 2 atau beberapa distrik dalam wilayah suatu negara. Di tanah air, lingkup operasi sistem tersebut adalah antar 2 atau beberapa kabupaten/ kota. Sebagai misal, sistem pemancar televisi UHF atau radio FM yang beroperasi di suatu daerah dengan cakupan wilayah penyiaran untuk beberapa kabupaten atau provinsi. Sistem transportasi jalan raya arteri antar provinsi dapat juga dipakai sebagai misal.
- 5) **Sistem lokal** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup hanya pada suatu zone dalam wilayah desa, yang tentu saja berada dalam wilayah kelurahan, kecamatan, atau kabupaten. Misal, sistem transportasi jalan raya dalam wilayah desa, termasuk gang dan jalan dalam kawasan permukiman..

Akhir-akhir ini, telah banyak penerapan sistem dalam skala lokal, regional, maupun nasional di tanah air yang didukung infrastruktur berteknologi tinggi berbasis LAN (local area network) dan/atau WLAN (wireless area network) untuk fungsi penyimpanan dan penyebaran data dan informasi.

Suatu sistem dapat juga diklasifikasikan kedalam kelas-kelas sistem berdasarkan pada interaksi sistem terhadap sistem lainnya sebagai berikut:

- 1) Kelas sistem independen mencakup beberapa kelas sistem meliputi:
  - a) ***Sistem independen*** merupakan suatu sistem yang memiliki sifat tidak tergantung/ independen terhadap sistem lainnya. Sistem kelas ini umumnya ditetapkan berdasar asumsi, sebagai misal suatu sistem peralatan

yang dibangun dengan maupun tanpa suatu bangunan khusus untuk pemanfaatan sumber tenaga alam. Suatu sistem panjang jalan tertentu dengan berbagai fasilitas sarana dan prasarana setempat.

- b) **Sistem interindependen** merupakan suatu sistem independen yang saling berhubungan secara tidak saling bergantung dengan satu sistem independen lainnya. Misal, 2 unit IS komunikasi dengan masing-masing memiliki sifat independen dan saling dihubungkan antara satu IS komunikasi dengan lainnya. Jenis sistem lain dalam kelas ini adalah 1 di antara 2 jenis IS panjang jalan dengan 2 arah jalur gerak kendaraan, yang saling berlawanan dan diberi pembatas baik pada bagian tepi maupun perbatasan antara kedua arah jalur tersebut. Kedua arah jalur tersebut saling berhubungan antara satu dengan lainnya hanya pada titik-titik tertentu untuk lokasi perputaran atau pergantian arah jalur gerak kendaraan.
  - c) **Sistem multiindependen** merupakan suatu sistem independen yang saling berhubungan secara tidak saling bergantung dengan 2 atau lebih sistem independen lainnya. Sistem total station peralatan pengukuran dengan basis data GPS dapat diambil sebagai misal untuk suatu sistem independen yang saling berinteraksi secara tidak saling bergantung.
- 2) Kelas sistem dependen mencakup beberapa kelas meliputi sebagai berikut:
- a) **sistem dependen** merupakan suatu sistem yang memiliki sifat bergantung/ dependen pada sistem lainnya. Sistem yang telah ada dan digunakan umumnya bersifat dependen, dibuat untuk dapat meningkatkan kemudahan dan kenyamanan dalam melakukan suatu proses tertentu.

- b) **Sistem interdependen** merupakan suatu sistem dependen yang saling berhubungan dengan suatu sistem dependen lainnya dengan interaksi saling bergantung antara satu dengan lainnya. Sebagai misal, jalan akses pada suatu wilayah pelabuhan terhadap tempat parkir kendaraan pada wilayah pelabuhan tersebut.
- c) **Sistem multidependen** merupakan suatu sistem dependen yang saling berhubungan dengan 2 atau lebih sistem dependen lainnya dengan interaksi saling bergantung antara satu dengan lainnya. Misal, hampir semua sistem pada infrastruktur jalan raya, terminal, pelabuhan, dan gedung atau ruangan pada rumah sakit.

## 2.6 SINERGI SISTEM

Di alam semesta adakah sistem yang memiliki sifat murni mandiri / independen? Pada sistem peralatan ukur sekalipun, untuk dapat memberikan informasi kondisi suatu nilai parameter yang diukur dari lingkungan sekitar sistem, umumnya sistem tersebut dirancang menerima sumber energi penggerak dari sistem lain, bukan sumber energi dari subsistem. Sementara hingga kini, telah banyak sistem yang dikenal dan dikembangkan dengan asumsi sebagai suatu sistem independen, memiliki sifat tidak tergantung terhadap sistem lain. Sistem kotak hitam untuk mengkaji fenomena-fenomena empiris sebagai misal dapat dipandang sebagai sistem independen karena proses yang terjadi pada sistem belum dapat dijelaskan meskipun bersifat sederhana.

Suatu asumsi digunakan dalam pengkajian dan optimasi sistem untuk beberapa tujuan, umumnya untuk keperluan:

- 1) memfokuskan tinjauan terhadap parameter atau argumen tertentu pada sistem dan
- 2) membatasi lingkup tinjauan dengan mereduksi sejumlah parameter atau argumen tertentu baik proses, masukan, maupun keluaran sistem.

Fenomena interaksi antara 2 atau lebih sistem dapat terjadi atau pun dibentuk melalui 1 atau lebih parameter pada sistem untuk mewujudkan suatu sinergi sistem. Suatu parameter pada sistem dapat dipilih untuk digunakan mewakili suatu komponen tertentu pada sistem. Selain itu, suatu parameter dapat juga dipilih untuk digunakan mewakili suatu komponen tertentu pada suatu subsistem dalam sistem yang relatif kompleks.

Ketergantungan/ dependensi dan kemandirian/independensi merupakan kondisi-kondisi ekstrim dalam interaksi antara 2 sistem yang masing-masing berpotensi untuk saling memerlukan dan memberikan pengaruh/efek.

Kesejajaran sistem pada interaksi antara 2 sistem dependen memungkinkan masing-masing sistem tidak cenderung menjadi subsistem dari sistem lainnya. Hal tersebut dimungkinkan karena ketergantungan antar sistem tersebut bersifat timbal balik atau saling bergantung.

Sinergi sistem dapat terjadi secara alami dan menimbulkan hambatan dalam pengembangan sistem. Daya dukung tanah yang bernilai rendah pada tanah sekitar pantai dan hutan merupakan suatu misal fenomena sinergi tersebut. Kondisi tanah demikian memerlukan penanganan khusus untuk dapat secara mudah dikembangkan sebagai lahan permukiman, perkantoran, atau untuk keperluan lainnya.

Dalam banyak kasus, sinergi sistem dapat dibuat untuk dapat menyelesaikan beberapa permasalahan-permasalahan pada suatu sistem, antara lain:

- 1) Pencapaian tujuan suatu sistem dependen, karena tujuan sistem dependen hanya dapat dicapai dengan didukung sistem lain.
- 2) Pencapaian tujuan sinergi sistem yang lebih menguntungkan daripada tujuan masing-masing sistem. Tujuan sistem dimungkinkan lebih menguntungkan melalui akomodasi

kinerja komponen atau subsistem dari sistem lain untuk peningkatan kinerja sistem. Kinerja komponen atau subsistem pada suatu sistem dapat lebih efektif atau efisien dalam sinergi kinerja dengan sistem lain.

- 3) Penambahan komponen atau subsistem untuk pengembangan sistem yang hanya dapat dilakukan melalui sinergi sistem, misal penambahan luas lingkup JIS pada suatu sistem gedung yang dilakukan secara sinergi dengan JIS pada suatu atau lebih gedung lainnya.
- 4) Efisiensi perubahan rencana dan realisasi sinergi sistem-sistem yang harus dibangun secara bertahap dan memerlukan pengkajian ulang terhadap rencana terdahulu.
- 5) Diperlukannya penyelesaian tuntas dengan melakukan sinergi sistem terhadap permasalahan-permasalahan yang timbul dalam tahap realisasi rencana yang memerlukan dukungan sistem lain.
- 6) Mendorong upaya-upaya pengembangan sistem maupun infrastruktur terkait baik pada tahap perencanaan, konstruksi, operasi, dan perawatan. Keberadaan sistem-sistem yang telah ada dan beroperasi secara optimal pada suatu wilayah akan memungkinkan didapatkannya kemudahan untuk dapat melakukan pengembangan sistem-sistem baru di sekitar sistem tersebut.

Keuntungan tambahan yang dimungkinkan dapat diperoleh melalui perwujudan sinergi sistem, antara lain:

- 1) Peningkatan tingkat keberlanjutan operasi sistem yang telah dibangun. Keberadaan sistem-sistem yang telah ada dan beroperasi secara optimal pada suatu wilayah tidak hanya memudahkan dalam pengembangan sistem baru, tetapi juga memudahkan dalam pencapaian kinerja optimal sistem-sistem baru yang telah dibangun.

- 2) Peningkatan efektifitas dan efisiensi operasi, perawatan, serta akomodasi komponen-komponen sistem dari luar sistem. Simergi sistem memungkinkan didapatkannya peningkatan kecepatan penyebaran data dan informasi sumberdaya dan IS. Simergi sistem memungkinkan pula didapatkannya peningkatan efektifitas dan efisiensi kinerja IS. Sedangkan akomodasi komponen-komponen sistem dari luar sistem dimungkinkan dalam batas rentang beban kinerja operasi terhadap kapasitas maksimal sistem yang telah dapat diidentifikasi pada sistem.

## **2.7 OPERASI DAN PERAWATAN SISTEM**

Perawatan perlu dilakukan pada suatu sistem yang telah dapat dioperasikan agar sistem dapat melakukan kinerja dan mampu menghasilkan produk sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan dengan aman dan lancar. Perawatan sistem terutama perlu dilakukan terhadap sistem-sistem buatan yang digunakan untuk menghasilkan produk barang. Dalam banyak kasus praktek pada pemakaian sistem, perawatan sistem yang dilakukan secara intensif dan efisien dapat memberikan jaminan terhadap konsistensi kualitas produk dan memungkinkan didapatkannya reduksi nilai penyusutan terhadap komponen-komponen sistem maupun nilai asset sistem secara keseluruhan.

Perawatan dapat dilakukan dalam keadaan sistem tetap dioperasikan maupun tidak dioperasikan. Berdasarkan kebijakan, suatu kegiatan perawatan dapat dilakukan dalam keadaan sistem tetap dioperasikan, meskipun operasi sistem dilaksanakan dalam keadaan mengalami kerusakan cukup berat. Namun daripada itu, khususnya perawatan khusus, perawatan dapat pula dilaksanakan dalam keadaan sistem tidak dioperasikan dalam selang waktu tertentu selama perawatan sedang dilakukan.

Perawatan sistem akhir-akhir ini dapat dilakukan oleh pihak ketiga di luar sistem. Pihak tersebut dapat merupakan perorangan, badan usaha, atau badan hukum yang memiliki keahlian khusus untuk melakukan perawatan sistem sesuai bidang kerja di mana suatu infrastruktur dioperasikan.

### **2.7.1. Perawatan Khusus**

Perawatan khusus pada sistem secara prinsip bersifat insidental, hanya dilakukan dalam kondisi tertentu apabila diperlukan. Perawatan khusus perlu dilakukan apabila sistem dalam kondisi: 1) Pada saat suatu sistem mengalami kerusakan cukup berat oleh karena satu atau beberapa komponen tertentu pada sistem tidak dapat beroperasi dengan lancar, 2) Pada saat unjuk kerja sistem perlu diukur, misal untuk mengetahui kinerja sistem dalam kegiatan optimasi sistem, dan 3) Pada saat unjuk kerja sistem perlu dirubah untuk mencapai kinerja optimal sistem. Sistem yang telah berada dalam kondisi kinerja optimal secara prinsip tidak memerlukan perawatan khusus. Hal demikian karena sistem-sistem yang menunjukkan kinerja optimal sistem pada umumnya telah mendapatkan perawatan sistem secara periodik dan berkualitas baik melalui perawatan rutin maupun berkala. Pada sistem yang sedang mengalami kerusakan relatif berat, perawatan khusus perlu dilaksanakan dengan cepat untuk dapat memulihkan kondisi sistem sehingga mampu kembali mencapai kinerja optimal sistem sebagaimana sebelum mengalami kerusakan.

### **2.7.2. Perawatan Rutin**

Suatu sistem memerlukan perawatan rutin untuk dapat tetap beroperasi dalam kondisi prima sebagaimana telah direncanakan. Perawatan rutin dilaksanakan dalam keadaan sistem tetap beroperasi menghasilkan produk. Perawatan rutin umumnya perlu dilakukan pada IS, meskipun perlu pula dilakukan pada sarana-sarana sistem yang tidak tergolong IS. Perawatan rutin perlu



dilakukan secara periodik dalam selang waktu harian hingga mingguan sesuai dengan tipe IS agar IS tersebut tetap dalam kinerja optimal dan menghasilkan produk sesuai dengan standar spesifik yang direncanakan. Pada jenis-jenis sistem produksi tertentu, perawatan rutin harus dilakukan secara intensif setiap hari untuk menghindarkan suatu komponen sistem mengalami kerusakan, misal akibat penumpukan debu/kotoran dan kondisi suhu ruangan yang perlu dipertahankan secara menerus berada dalam rentang suhu tertentu. Penggantian komponen sistem yang relatif sederhana dan mengalami keausan dapat dilakukan dalam perawatan rutin. Demikian halnya, penambahan pelumas pada bagian-bagian tertentu pada komponen infrastruktur perlu dilakukan untuk menghindarkan keausan dan peningkatan suhu terlalu tinggi pada komponen tertentu tersebut sehingga sistem tetap bekerja secara optimal. Pada sistem-sistem keairan perawatan rutin diperlukan untuk menjaga kondisi aliran air tetap dalam kondisi optimal pada komponen infrastruktur, misalnya kecepatan aliran optimal dan elevasi permukaan airnya.

### **2.7.3. Perawatan berkala**

Perawatan berkala dilakukan dalam periode tertentu dapat dalam selang tiga (triwulan) atau empat (kuartal) bulanan atau dapat juga dalam periode satu atau beberapa tahunan. Peningkatan kinerja operasi sistem yang dihasilkan melalui optimasi sistem dapat juga dilakukan dalam perawatan berkala. Perawatan berkala diperlukan untuk mengganti komponen-komponen sistem untuk meningkatkan kinerja sistem sesuai dengan tuntutan perkembangan produk yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Pada sistem-sistem produksi, perawatan berkala dilakukan untuk penambahan infrastruktur dan pergantian infrastruktur maupun komponen tertentu pada IS untuk dapat menjamin sistem dapat beroperasi secara optimal setiap waktu.

## 2.8 OPERASI DAN PERAWATAN INFRASTRUKTUR SISTEM

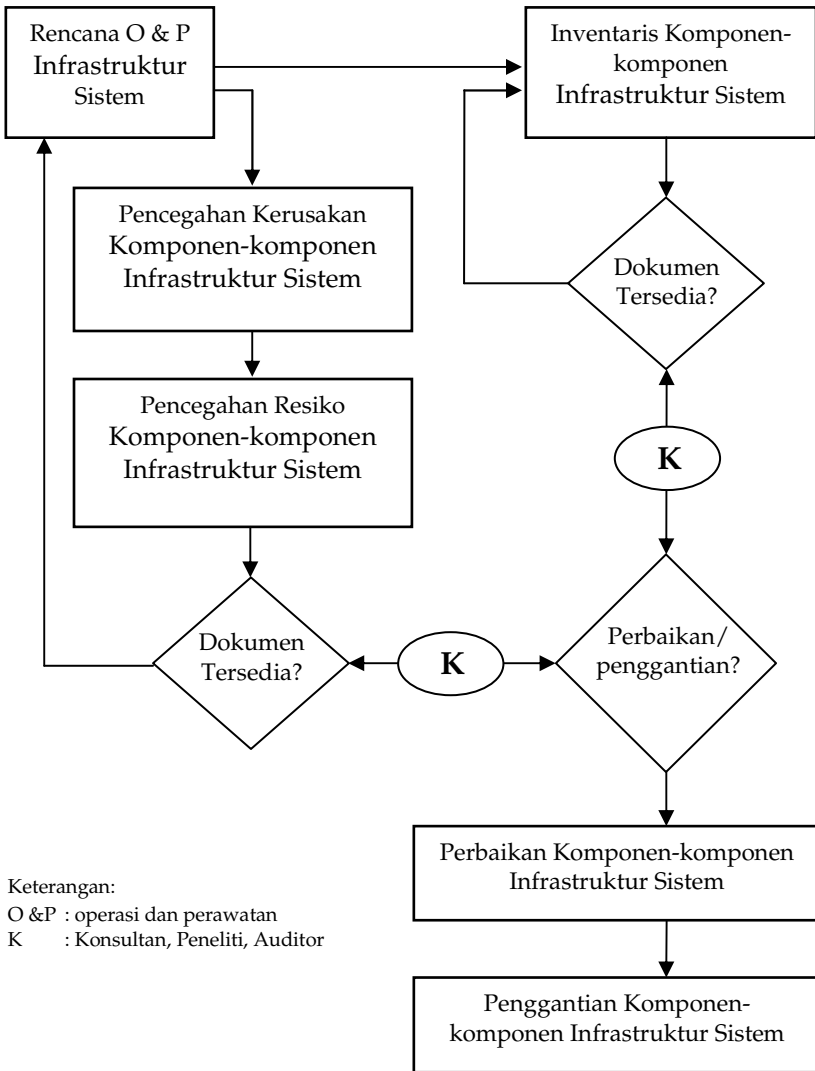
Perawatan IS merupakan permasalahan yang masih relatif tergolong kompleks di tanah air. Banyak di antara IS di tanah air belum mendapatkan perawatan secara memadai, terutama infrastruktur-infrastruktur untuk pelayanan umum dalam kelas sistem kecil dan sedang.

**Perawatan Total Infrastruktur Sistem (PTIS)** merupakan *suatu metode penilaian (assessment) kinerja sistem beserta komponen-komponen IS maupun subsistem di dalamnya*. Untuk itu, kegiatan tersebut harus dilakukan sesuai prosedur dengan berpedoman pada ketentuan-ketentuan standar operasi dan perawatan sistem serta peraturan-peraturan yang berlaku berkaitan dengan sistem yang dikaji.

Kegiatan PTIS dilaksanakan dengan tujuan utama menjamin produktifitas kerja sistem dan/atau subsistem sesuai dengan tujuan yang telah direncanakan tersebut. Hasil kegiatan tersebut berupa satu atau beberapa rekomendasi sebagai catatan proses operasi sistem dalam pencapaian tujuan sistem bersangkutan. Hal penting yang perlu direkomendasikan antara lain adalah ketidaksesuaian antara proses yang sedang berlangsung pada sistem terhadap ketentuan prosedur proses operasi sistem yang telah ditetapkan dan kerusakan bagian tertentu dari sistem yang perlu segera mendapat perbaikan untuk menjamin pencapaian tujuan sistem.

Kegiatan PTIS umumnya dilaksanakan oleh pihak ketiga, baik perseorangan atau tim yang beranggotakan beberapa orang dari suatu instansi atau badan hukum yang memiliki keahlian khusus untuk menangani kegiatan tersebut.

Metode PTIS meliputi 6 pokok prosedur kegiatan yang dilaksanakan secara berurutan, sebagaimana ditunjukkan pada skema dalam Gambar 2.3. Di antara prosedur-prosedur kegiatan dalam PTIS, prosedur pertama hingga keempat penting dilakukan untuk kemudahan sistem mencapai kinerja optimal.



Gambar 2.3 Skema Perawatan Total Infrastruktur Sistem (PTIS)

### **2.8.1. Rencana Operasi dan Perawatan**

Satu di antara hasil-hasil pengkajian dan optimasi sistem yang diperlukan untuk kemudahan implementasi strategi sistem adalah rencana operasi dan perawatan (rencana O & P) IS bersangkutan. Rencana O & P ini diperlukan khususnya untuk sistem-sistem berukuran kecil hingga amat besar, di mana memuat beberapa subsistem yang relatif rumit dan memerlukan prosedur operasi yang relatif juga rumit .

Untuk sistem yang berukuran mini, di mana tidak terdapat subsistem yang tergolong rumit untuk dioperasikan, rencana O & P relatif tidak diperlukan. Misalnya, pada sistem rumah tinggal sederhana, hampir seluruh sub-subsistem dalam sistem tidak rumit dan mudah dioperasikan.

Rencana O & P secara umum dibuat untuk dapat memberikan penjelasan/ informasi kepada pihak pemilik/ pengembang sistem tentang mekanisme kerja dan perawatan sistem secara keseluruhan maupun sub-subsistem yang tercakup dalam sistem. Rencana O & P sangat penting pada sub-subsistem yang memerlukan kecermatan tinggi ketika subsistem atau pun sistem bersangkutan dioperasikan.

Operasi suatu sistem harus berpedoman pada rencana O & P yang telah disusun untuk sistem bersangkutan. Dalam rencana O & P terkandung ketentuan-ketentuan tentang prosedur operasi sistem dan sub-subsistem.

Dalam rencana O & P terkandung ketentuan-ketentuan tentang prosedur operasi sistem untuk mencapai kapasitas produksi dan produksi optimal sistem. **Kapasitas produksi sistem** adalah jumlah produk maksimal suatu sistem dalam satu siklus kerja sistem. Untuk mencapai siklus tersebut sistem harus bekerja dengan kapasitas penuh. Sedangkan **produksi optimal sistem** adalah jumlah produk optimal suatu sistem dalam satu siklus kerja sistem dalam kondisi sumberdaya sistem minimal. Secara konsisten, untuk mencapai siklus produksi tersebut sistem harus bekerja dalam kondisi optimal.

Rencana O & P disusun oleh perencana dengan berpedoman pada ketentuan-ketentuan standar operasi dan perawatan sistem serta peraturan-peraturan yang berlaku berkaitan dengan sistem. Perencana dapat perseorangan atau badan hukum yang memiliki keahlian khusus berkaitan dengan sistem.

Rencana O & P minimal memuat prosedur operasi sistem dan mekanisme perawatan rutin dan berkala untuk sistem yang sedang direncanakan. Perawatan rutin untuk suatu sistem dilakukan dengan prosedur tertentu secara rutin misalnya setiap hari atau minggu. Perawatan berkala untuk suatu sistem dilakukan pula dengan prosedur tertentu dalam periode tertentu, misal bulanan, triwulan, atau tahunan, atau dapat juga dilakukan setelah sistem bekerja dalam satu atau dua siklus.

Untuk sistem-sistem dan sub-subsistem yang tergolong rawan mengalami kerusakan dan beresiko tinggi, rencana O & P perlu memuat prosedur pencegahan kerusakan dan resiko komponen-komponen IS.

### **2.8.2. Pencegahan Kerusakan Komponen**

Beberapa kemungkinan kerusakan komponen IS dan dampak yang ditimbulkan harus dapat diprediksikan dalam kegiatan PTIS. Penyebab-penyebab kerusakan tersebut harus diantisipasi melalui mekanisme prosedur secara rinci dan jelas sehingga komponen IS yang diprediksi rawan mengalami kerusakan dapat terhindar dari kerusakan.

Kerusakan yang dapat terjadi pada komponen sistem dapat disebabkan oleh bencana alam, kecelakaan, kesalahan operator, atau pun kesalahan lain yang bersifat teknis operasi sistem. Di antara sebab-sebab kesalahan yang bersifat teknis tersebut dimungkinkan dapat menimbulkan kerusakan komponen IS, yang lebih lanjut dimungkinkan pula dapat menimbulkan kerusakan sistem secara keseluruhan.

Beberapa di antara indikasi sebab-sebab teknis kerusakan sistem akibat kerusakan IS yang perlu dihindarkan agar tujuan sistem dapat tercapai antar lain:

### **1) Kesalahan prosedur operasi sistem**

Kesalahan prosedur operasi sistem dapat ditimbulkan oleh kelalaian operator, di samping pengetahuan operator yang kurang memadai tentang operasi sistem. Sedangkan untuk tipe-tipe sistem yang digunakan untuk masyarakat umum, kesalahan prosedur operasi dapat timbul akibat kelalaian masyarakat maupun kurangnya pengetahuan kalangan masyarakat umum tentang operasi sistem bersangkutan.

Operasi sistem sesuai dengan rencana O & P merupakan cara standar untuk menghindari terjadinya kesalahan operasi sistem sehingga komponen-komponen IS pada sistem dan sub-subsistem dapat dioperasikan secara aman sesuai rencana.

Sosialisasi tentang prosedur operasi sistem-sistem yang digunakan untuk masyarakat umum sesuai dengan prosedur yang terkandung dalam rencana O & P harus dilakukan kepada masyarakat umum agar operasi sistem tersebut dapat dilakukan secara aman oleh masyarakat umum. Operasi sistem-sistem untuk kalangan masyarakat umum yang aman sesuai dengan ketentuan dalam rencana O & P memungkinkan komponen-komponen IS dapat terhindar dari kerusakan sehingga dapat awet bermanfaat melebihi umur rencana sistem.

### **2) Kualitas produk sistem di bawah standar kualitas**

Kualitas produk suatu sistem dimungkinkan kurang dari kualitas/mutu standar produk untuk kelas sistem bersangkutan. **Kualitas standar produk sistem** merupakan suatu ukuran kualitas minimum untuk produk suatu sistem sesuai dengan ketentuan dan peraturan yang berlaku.

Kualitas standar produk sistem sangat dipengaruhi oleh kualitas standar komponen-komponen IS. Dalam konteks ini, standar kualitas komponen-komponen IS harus direncanakan dan dilaksanakan sesuai dengan standar kualitas komponen-komponen IS yang dikandung dalam spesifikasi teknis dan peraturan-peraturan yang berlaku untuk kelas sistem terkait. Hal tersebut mutlak dilakukan untuk menghindarkan terjadinya kerusakan komponen-komponen IS akibat kualitas produk sistem di bawah standar produk sistem.

Kualitas produk sistem di bawah standar kualitas minimum produk sistem oleh akibat tersebut dimungkinkan dapat terjadi dalam proses perencanaan sistem dan infrastrukturnya. Dalam banyak kasus, hal tersebut mungkin dapat terjadi karena kekurangan dana realisasi dan ketersediaan komponen IS yang diharapkan dalam spesifikasi tidak tersedia di pasar sehingga harus dilakukan penyesuaian dengan standar baru sesuai ketersediaan komponen. Oleh karena kondisi tersebut, seorang insinyur perlu berupaya menyesuaikan rencana sistem untuk dapat mengantisipasi hal-hal tersebut.

Sebagian kasus lainnya, kualitas produk sistem yang kurang kurangnya dari kualitas standar produk oleh akibat yang sama dimungkinkan pula dapat terjadi dalam proses pelaksanaan/konstruksi oleh karena alasan serupa, yaitu kekurangan dana realisasi dan tidak tersedianya komponen IS berkualitas di pasar. Di samping itu, hal demikian dimungkinkan pula terjadi karena waktu pelaksanaan kurang memadai dan kemampuan serta jumlah tenaga pelaksana pembangunan, operator, atau pengawas pelaksanaan pembangunan masih kurang memadai untuk pelaksanaan pembangunan dan operasi IS bersangkutan.

Beberapa kondisi dalam uraian alenia-alenia terdahulu terutama berkaitan dengan perencanaan, pelaksanaan, dan operasi sistem-sistem maupun infrastruktur-infrastruktur sistem yang mengakomodasikan teknologi tinggi/ canggih.

### **3) Operasi sistem di luar batas kapasitas**

Suatu sistem yang bekerja di luar kapasitasnya mungkin dapat mengalami stagnasi dalam memproduksi oleh akibat kerusakan pada satu atau beberapa komponen IS, meskipun sistem tersebut telah dapat mencapai produk maksimalnya dalam kurun waktu tertentu.

Kerugian sistem akibat sistem dioperasikan di luar batas kapasitas maksimal sistem dapat timbul oleh karena peningkatan beban kerja sistem untuk mencapai target produksi di atas kapasitas produksi sistem. Peningkatan tersebut dapat ditimbulkan oleh meningkatnya permintaan produk sistem, yang dilakukan tanpa disertai peningkatan kapasitas sistem. Oleh karena itu, peningkatan beban kerja sistem dalam banyak kasus berhubungan erat dengan peningkatan permintaan terhadap produk kerja sistem. Pelonjakan beban kerja sistem secara langsung direspon oleh komponen-komponen struktural dari IS. Dampak kerusakan bagian struktural maupun nonstruktural pada komponen infrastruktur dapat timbul jika beban kerja sesaat jauh melebihi kapasitas operasi komponen infrastruktur tersebut.

Operasi sistem di luar kapasitas dapat juga disebabkan oleh kelalaian atau kurangnya pengetahuan operator tentang aspek keamanan komponen-komponen infrastruktur dalam operasi sistem. Untuk sistem-sistem yang digunakan masyarakat umum, operasi sistem di luar kapasitas dimungkinkan juga timbul akibat kelalaian dan kurangnya pengetahuan masyarakat umum tentang operasi sistem bersangkutan.

Pembatasan operasi sistem merupakan satu-satunya upaya yang mungkin dilakukan, terutama dalam rencana O & P suatu sistem. Hal demikian karena peningkatan kapasitas kerja sistem sulit dilakukan secara mendadak. Sebagai misal, suatu sistem dapat dipertahankan untuk beroperasi pada kondisi optimal yang berada di bawah kapasitas maksimalnya untuk dapat menjaga keawetan seluruh komponen IS dalam beroperasi.



#### **4) Kerusakan komponen**

Kerusakan komponen IS merupakan satu di antara masalah umum penyebab timbulnya kerugian sistem. Resiko sistem yang ditimbulkan oleh sebab tersebut antara lain berupa terjadinya kecelakaan dan penurunan produktifitas sistem. Suatu sistem mungkin juga mengalami stagnasi dalam menghasilkan produk apabila penurunan produktifitas sistem akibat kerusakan komponen tidak diperhatikan dan diatasi.

Komponen IS dapat mengalami kerusakan oleh karena kesalahan prosedur operasi IS atau komponen IS dan dapat juga mengalami kerusakan oleh imbas dari kerusakan komponen infrastruktur lainnya yang tidak segera ditangani. Kerusakan IS atau komponen IS mungkin timbul akibat kesalahan prosedur operasi IS atau komponen IS dalam operasi sistem baik oleh operator atau pengguna, sebagai misal operasi sistem berlangsung dalam kondisi melebihi kapasitas operasi sistem. Kesalahan prosedur operasi tersebut relatif mudah diantisipasi dan dikendalikan. Namun demikian, kerusakan komponen sistem akibat kerusakan komponen sistem lainnya atau oleh sebab keterlambatan dalam pergantian komponen sistem relatif sulit diantisipasi dan dikendalikan, meskipun sistem tersebut tidak dioperasikan melebihi kapasitas operasi sistem.

Dua penyebab tersebut lebih lanjut mungkin timbul oleh kekurangannya pengetahuan operator atau pengguna dalam operasi IS dan kedisiplinan operator maupun pengembang dalam melaksanakan perbaikan/ perawatan sebagaimana tertuang dalam O & P sistem.

Kerusakan komponen sistem dapat dihindarkan melalui beberapa upaya, antara lain: pemilihan teknologi tepat guna, ketersediaan pedoman operasional sistem, pelatihan operasi sistem, pemilihan sumberdaya yang tepat, dan sosialisasi operasi sistem kepada para pengguna, terutama untuk IS dan JIS pada sistem-sistem yang digunakan untuk masyarakat umum.

### 5) Penyusutan komponen

Kerugian sistem paling umum mungkin ditimbulkan oleh **penyusutan komponen IS**, yaitu berkurangnya kualitas komponen IS sejalan dengan waktu operasi komponen IS yang berpotensi menurunkan unjuk kerja sistem. Penyusutan tersebut dapat terjadi oleh karena keausan material, bentuk, dan ukuran komponen IS dan perawatan kurang memadai sejalan dengan waktu operasi komponen IS.

Perawatan IS perlu dijadwalkan untuk dapat dilaksanakan secara memadai dalam mengatasi penyusutan kualitas komponen IS. Metode PTIS merupakan satu di antara metode perawatan IS dan komponen IS yang disarankan dapat digunakan untuk mengatasi penyusutan kualitas komponen IS.

### 2.8.3. Pencegahan Resiko Komponen

Pencegahan resiko komponen IS perlu dimuat dalam rencana O & P suatu sistem, di samping menjadi bagian dari aspek kesehatan dan keselamatan kerja (K3) bagi komponen-komponen IS. Di antara upaya tersebut sebagai misal dapat dilakukan dengan pembersihan secara rutin bagian-bagian dari komponen IS dari kotoran yang mengganggu kinerja komponen IS. Upaya dapat juga dilakukan dengan penerapan Metode PTIS dalam pelaksanaan perawatan IS dan komponen IS.

Pencegahan kemungkinan resiko pada komponen-komponen IS dapat dilakukan oleh pihak ketiga yang memiliki kompetensi dalam perawatan komponen-komponen IS.

Pencegahan kemungkinan resiko komponen IS dalam beberapa sebab dapat dijamin kepada pihak ketiga di luar sistem melalui asuransi resiko sistem, di samping kepada pelaksana pembangunan sistem. Jenis resiko yang dapat dijamin antara lain: gedung, peralatan kantor, properti, kecelakaan kerja, kesehatan pekerja, dana pensiun, dan kendaraan.

#### **2.8.4. Inventaris Komponen**

Komponen IS perlu selalu diinventaris secara periodik/ berkala, misalnya dalam periode tahunan. Kegiatan tersebut secara prinsip dilakukan untuk mendokumentasikan informasi komponen-komponen IS yang ada.

Beberapa informasi tentang kondisi komponen-komponen IS perlu didata berlandaskan pada pengaruhnya terhadap efektifitas dan efisiensi kerja sistem. Hasil-hasil proses inventarisasi minimal harus menunjukkan data dan informasi tentang tipe/jenis; tanggal, bulan, dan tahun mulai dioperasikan jumlah; ukuran; serta kondisi pada saat inventarisasi dilakukan, antara lain: berfungsi aktif/pasif, baik/rusak, perlu perbaikan /cukup dibiarkan, dan prioritas perbaikan jika diperlukan perbaikan kondisi infrastruktur dengan segera.

#### **2.8.5. Perbaikan Komponen**

Komponen IS yang mengalami kerusakan atau tidak berfungsi dalam kondisi baik sehingga mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan perlu untuk diperbaiki apabila kondisi komponen tersebut masih memungkinkan untuk diperbaiki. Perbaikan dapat dilakukan dengan membenahi bagian fisik komponen IS sehingga dapat kembali berfungsi secara baik dalam mendukung kinerja sistem. Perbaikan tersebut tidak hanya dilakukan dengan membersihkan bagian-bagian komponen IS dari kotoran yang mengganggu kinerja komponen IS. Perbaikan dapat dilakukan misalnya memperbaiki ukuran/ dimensi atau pun posisi perletakan untuk suatu atau beberapa komponen IS.

Perbaikan komponen-komponen IS sangat penting dilakukan terutama untuk komponen-komponen utama dari IS yang masih mungkin untuk diperbaiki. Hal demikian mengingat bahwa kondisi komponen-komponen utama IS akan sangat mendukung kinerja IS maupun sistem secara keseluruhan.

Perbaikan komponen-komponen IS yang mengalami kerusakan perlu dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa upaya perbaikan komponen-komponen tersebut akan dapat menghasilkan nilai ekonomis lebih tinggi daripada upaya pergantian komponen-komponen tersebut. Kondisi tersebut memungkinkan upaya perbaikan komponen-komponen IS akan efisien dilakukan daripada pergantian komponen-komponen tersebut.

Perbaikan komponen IS dapat dilakukan dalam kondisi IS sedang dioperasikan, meskipun perbaikan tersebut dapat juga dilakukan dalam kondisi IS tidak dioperasikan. Untuk itu, perlu dilakukan suatu penjadwalan yang tepat untuk pelaksanaan perbaikan tersebut sehingga komponen lainnya pada sistem yang tidak memerlukan perbaikan tetap dapat beroperasi secara normal dalam kurun waktu pelaksanaan perbaikan komponen. Pelaksanaan perbaikan dengan cara tersebut memungkinkan sistem tetap dapat menghasilkan produk meskipun IS tertentu berada dalam kondisi perbaikan.

Perbaikan komponen IS dapat dilaksanakan melalui kegiatan perawatan rutin, berkala, maupun khusus bergantung pada tingkat kerusakan IS. Untuk suatu kerusakan komponen IS dalam tingkat kerusakan sangat ringan hingga ringan, perbaikan komponen IS dapat dilaksanakan bersamaan dengan pelaksanaan kegiatan perawatan rutin. Sedangkan untuk suatu kerusakan komponen IS dalam tingkat kerusakan sedang hingga berat, perbaikan komponen IS dapat dilaksanakan melalui kegiatan perawatan berkala maupun khusus.

Perbaikan komponen-komponen IS dapat dilakukan oleh pihak ketiga yang memiliki kompetensi dalam perawatan komponen-komponen IS. Perbaikan komponen-komponen IS secara demikian memungkinkan komponen lainnya pada sistem tetap dapat beroperasi secara normal selama masa pelaksanaan perbaikan komponen tersebut.

### **2.8.6. Penggantian Komponen**

Komponen IS yang berada dalam kondisi rusak atau tidak berfungsi (non-aktif) kadang kala perlu diganti dengan komponen sejenis sehingga tidak berdampak mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan. Pergantian komponen IS demikian memungkinkan IS yang mengalami kerusakan akan dapat kembali berfungsi dengan cepat/segera sehingga sistem secara keseluruhan dapat juga kembali dioperasikan dengan cepat/segera untuk mencapai tingkat produksi sesuai dengan target produksi yang direncanakan.

Pergantian komponen IS dapat dilakukan melalui kegiatan perawatan berkala maupun khusus. Pergantian komponen IS hanya dilakukan melalui kegiatan perawatan khusus apabila komponen tersebut berada dalam tingkat kerusakan cukup berat. Pergantian komponen IS melalui kegiatan perawatan khusus diperlukan apabila komponen sistem yang mengalami kerusakan perlu mendapatkan pergantian komponen dengan segera.

Sebagaimana pada perbaikan komponen IS, pergantian komponen IS dapat juga dilakukan dalam kondisi IS sedang dioperasikan atau tidak dioperasikan dengan mempertimbangkan waktu yang diperlukan untuk pergantian komponen IS. Pergantian komponen IS pada kondisi IS tidak dioperasikan relatif lebih mudah dilakukan daripada pada kondisi IS sedang/tetap dioperasikan. Untuk keperluan pergantian komponen pada kondisi IS sedang/tetap dioperasikan, perlu dilakukan suatu penjadwalan yang tepat sehingga komponen lainnya pada sistem yang tidak memerlukan pergantian tetap dapat beroperasi secara normal selama masa pelaksanaan pergantian komponen. Penjadwalan untuk pelaksanaan pergantian komponen yang tepat mungkin dapat dilakukan untuk mempertahankan sistem tetap dapat mencapai kinerja dalam kisaran kinerja optimal sistem sehingga sistem tetap dapat menghasilkan produk dalam kisaran kuantitas dan kualitas produk yang telah direncanakan.

Pergantian komponen-komponen IS dapat juga dilakukan oleh pihak ketiga yang memiliki kompetensi dalam perawatan komponen-komponen IS. Pergantian komponen-komponen IS secara demikian memungkinkan komponen lainnya pada sistem tetap dapat beroperasi secara normal selama masa pelaksanaan pergantian komponen tersebut.

# 3

## JARINGAN INFRASTRUKTUR SISTEM (JIS)

Pada bagian pendahuluan telah ditegaskan pentingnya penerapan metode sistem untuk pengembangan infrastruktur pada berbagai bidang kerja dalam Pembangunan Nasional Berkelanjutan. Pada bagian tersebut telah pula diuraikan arti penting IS untuk unit suatu infrastruktur, di samping JIS untuk penyebutan dan sekaligus juga unit suatu jaringan infrastruktur dalam upaya pengembangan infrastruktur, mengingat suatu infrastruktur dapat dibuat dan dioperasikan secara independen maupun dependen dalam bentuk suatu jaringan.

Istilah “jaringan” atau “*network*” mulanya dipakai untuk suatu metode hubungan antar radio-radio telekomunikasi dan komputer-komputer dalam sistem peralatan militer di Amerika pada tahun 1950. Dalam waktu tidak lebih dari 10 tahun, telah dibangun saluran perpipaan minyak memakai teknologi *network*. Kemudian pada tahun 1971, teknologi *network* mulai digunakan untuk masyarakat

vumum terutama setelah peralatan *bridge* dan *reuter* mulai dipasarkan untuk menghubungkan antar desktop (PC network) menggunakan metode local area networks (LAN). Setahun kemudian teknologi network mulai dikembangkan memakai metode wireless local area networks (WLAN) meskipun belum dipasarkan bagi masyarakat.

Istilah jaringan atau network lebih lanjut makin banyak digunakan untuk keperluan di bidang teknik, antara lain: sistem instalasi komunikasi telepon pada suatu atau antar wilayah, pipa vertikal dan horizontal di pertambangan minyak dan gas bumi, distribusi air minum, irigasi pertanian, dan instalasi instrumentasi serta kontrol berbagai peralatan elektronik pada gedung bertingkat.

Sejak beberapa tahun lalu, istilah jaringan atau network juga telah mulai banyak digunakan dalam berbagai bidang kerja sosial untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara global. Pemakaian media internet dan penggunaan komputer pada berbagai aktivitas bidang kerja sosial sangat didukung oleh perkembangan penggunaan teknologi *network* dalam bidang kerja telekomunikasi dan komunikasi.

Pada bagian ini, diuraikan lebih lanjut beberapa aspek yang berkaitan dengan JIS untuk pemakaian JIS dalam pengembangan infrastruktur. Beberapa aspek tersebut antara lain meliputi: tipe-tipe, pola-pola, dan operasi serta perawatan JIS. Untuk memperjelas uraian tersebut disertakan pula berbagai JIS yang telah dioperasikan di tengah masyarakat.

### **3.1 JARINGAN INFRASTRUKTUR SISTEM (JIS)**

Suatu IS dan JIS dapat dibuat/dibangun dan dioperasikan secara independen maupun dependen. Operasi IS pada suatu sistem telah diuraikan dalam bab terdahulu, baik untuk IS yang dioperasikan independen maupun dependen. JIS secara umum difungsikan untuk mensinergikan 2 atau lebih infrastruktur, yang



dapat tersedia secara alam atau dibuat/dibangun serta beroperasi secara independen atau dependen. Pada bab terdahulu telah diuraikan secara cukup rinci perencanaan, pelaksanaan, operasi, dan perawatan IS dalam tinjauan penyelesaian permasalahan-permasalahan sistem. Uraian dalam bab ini selanjutnya akan digunakan untuk menjabarkan secara cukup rinci juga JIS pada suatu sistem.

Hingga kini telah dioperasikan berberapa JIS dengan fungsi tertentu pada berbagai bidang kerja, antara lain meliputi:

- 1) JIS TI untuk jaringan telekomunikasi dan informasi
- 2) JIS TL untuk jaringan tenaga listrik
- 3) JIS MEI untuk jaringan mekanik, elektrik, dan instrumentasi
- 4) JIS SPAM untuk jaringan sitem penyediaan air minum
- 5) JIS SPL untuk jaringan sitem penanganan limbah
- 6) JIS Irigasi untuk jaringan irigasi
- 7) JIS Drainase untuk jaringan drainase
- 8) JIS TD untuk jaringan transportasi darat

Pemakaian JIS tidak hanya berguna untuk meringkas penyebutan berbagai infrastruktur pada bidang kerja, tetapi juga berguna untuk memfokuskan tinjauan dalam upaya penerapan metode sistem. Pemakaian JIS tertentu selalu berkaitan dengan sistem tertentu yang dikembangkan dalam bidang kerja tertentu pula. Di samping itu, pemakaian JIS memungkinkan fokus tinjauan mudah diperoleh terhadap aspek sistem pada JIS, di mana fokus tinjauan dapat mudah diletakkan pada, di dalam, atau di luar JIS.

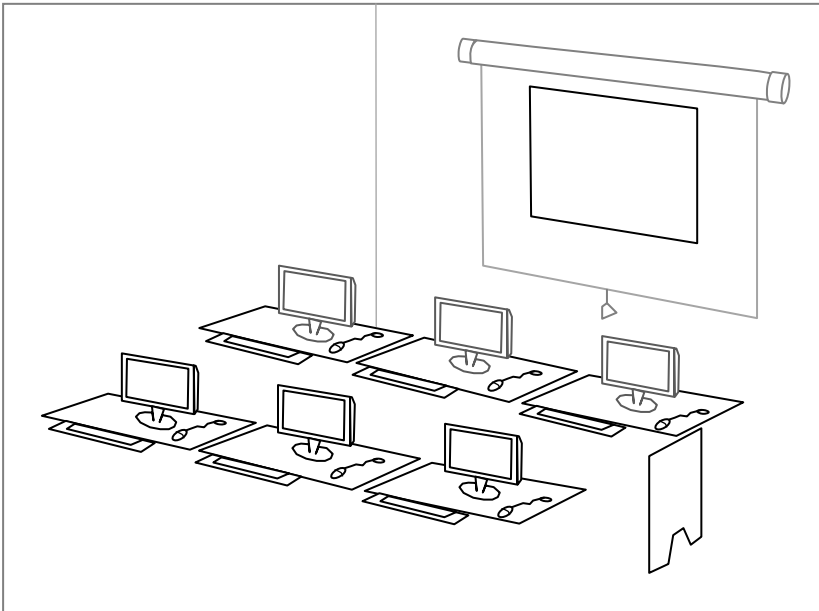
### **3.1.1. JIS TI**

Penggunaan JIS TI di bidang komunikasi dan komputasi sangat pesat jika dibandingkan terhadap penggunaan JIS di bidang teknik lainnya, sebagaimana dirincikan dalam alenia terdahulu. Hal demikian karena penggunaan JIS di bidang komunikasi dan komputasi berkaitan erat dengan berbagai aktivitas sosial masyarakat pengguna JIS TI tersebut. Dapat dicermati dari

perkembangan penyebaran informasi melalui media internet dan penggunaan komputer dalam kehidupan masyarakat global bahwa pesatnya perkembangan dalam pemakaian JIS TI sejalan dengan digunakannya internet untuk beberapa keperluan komunikasi berbasis teknik komputasi, antara lain meliputi:

- 1) transmisi file, data, dan informasi;
- 2) penyebaran program aplikasi komputer;
- 3) pemindahan koneksi untuk mendapatkan kecepatan akses sangat lebih cepat;
- 4) penggunaan peralatan cetak dan visual secara kolektif; hingga
- 5) korespondensi menggunakan surat elektronik.

Dalam bidang komputasi, JIS TI merupakan suatu sistem yang digunakan untuk merangkai sistem pada setiap unit komputer sehingga dapat dioperasikan secara bersamaan dan terintegrasi.

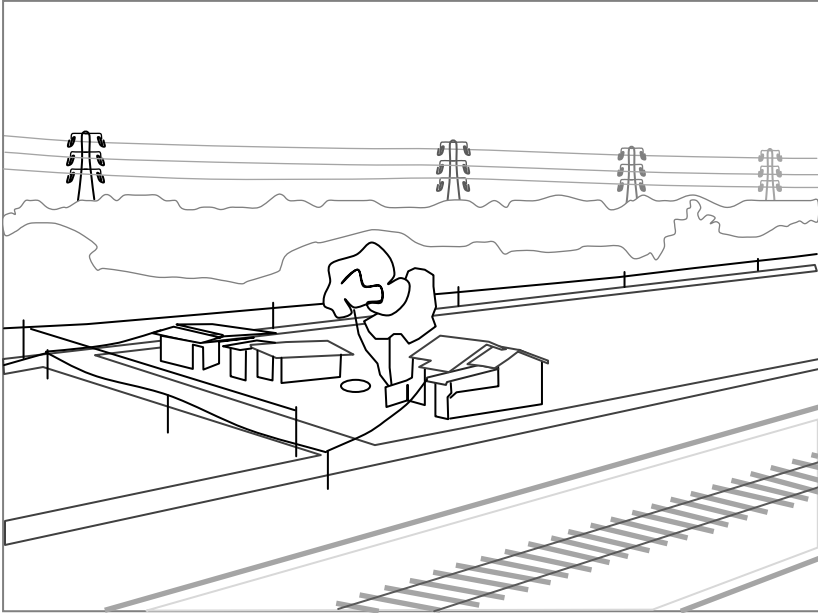


Gambar 3.1 Visualisasi JIS TI

Pemakaian JIS TI kini tidak hanya dikembangkan untuk lingkup keluarga atau rumah tangga dengan sistem PAN, tetapi juga untuk lingkup zone lebih luas dengan sistem LAN, MAN, dan WAN. Pemakaian JIS tersebut kini juga tidak hanya digunakan untuk mengintegrasikan unit-unit komputer, tetapi telah pula digunakan untuk mengintegrasikan peralatan-peralatan pelengkap unit komputer. Di antara peralatan-peralatan pelengkap tersebut antara lain mencakup printer, modem, kamera digital, viewer, GPS, fax, telepon seluler, dan alat penerima siaran TV serta radio. Pemakaian JIS tersebut dilakukan menggunakan berbagai pola hubungan antar peralatan-peralatan pelengkap dengan unit-unit komputer dalam

### **3.1.2. JIS TL**

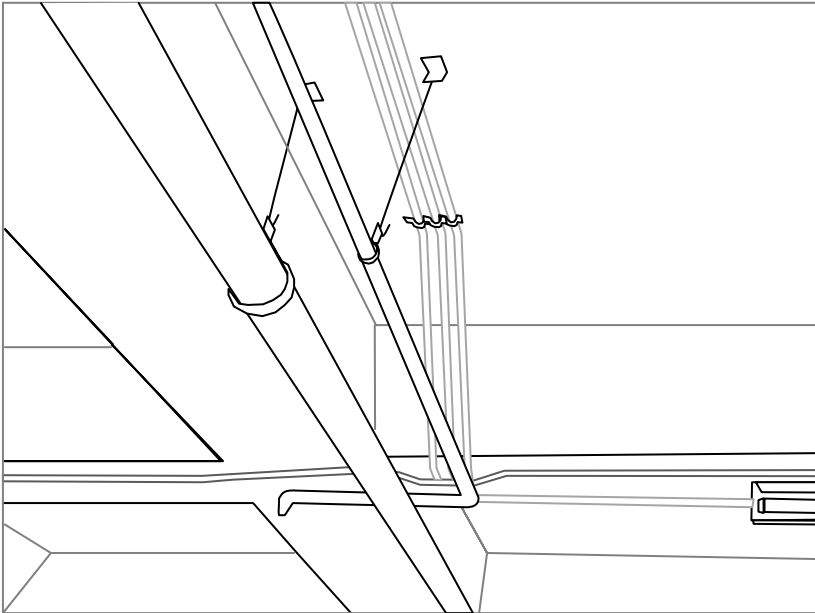
Dalam penyediaan tenaga listrik digunakan 3 subsistem yang masing-masing direncanakan dan dioperasikan dalam skala sistem, yaitu: sistem pembangkitan, transmisi, dan distribusi. Di antara 3 sistem tersebut, JIS TL umumnya hanya dibangun pada sistem transmisi dan distribusi. JIS Transmisi digunakan untuk mengirim tenaga listrik antara 2 lokasi dengan tegangan tinggi. Jarak transmisi antara 2 lokasi tersebut umumnya sangat panjang, dapat dalam jarak lokasi antar kabupaten/kota atau provinsi. JIS tersebut dipasang pada zone yang relatif jauh dari tempat tinggal maupun aktivitas masyarakat agar tidak mengisik ketenangan maupun kenyamanan masyarakat dan menghambat masyarakat dalam beraktivitas kerja. Untuk maksud dan tujuan yang sama, lintasan kabel-kabel bertegangan tinggi pada JIS tersebut juga dipasang pada zone yang relatif tinggi. JIS Distribusi digunakan untuk mengirim tenaga listrik dengan tegangan rendah dari lokasi-lokasi tertentu pada JIS transmisi ke lokasi-lokasi pemakaian tenaga listrik, baik selaku perorangan, badan hukum, badan usaha, atau pemerintah. JIS tersebut dipasang pada zone relatif tinggi, meskipun berada di antara keramaian dan tempat tinggal pemakaian tenaga listrik.



Gambar 3.2 Visualisasi JIS TL

### **3.1.3. JIS MEI**

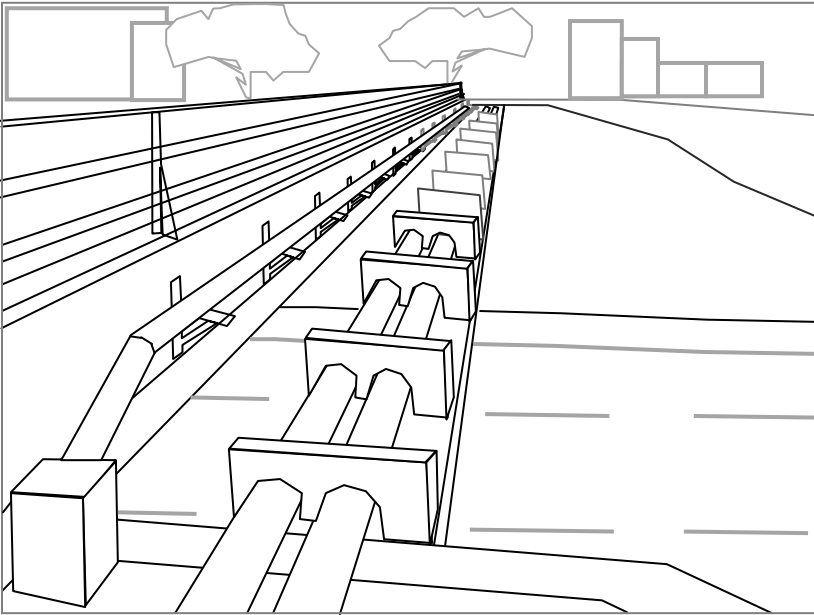
JIS distribusi tenaga listrik juga digunakan untuk mengirim tenaga listrik ke seluruh lokasi yang memerlukan sumber tenaga listrik pada suatu zone, antara lain: JIS MEI pada gedung bertingkat, ruang-ruang produksi dan peralatan pada industri, serta penerangan lanscape di sekitar bangunan. JIS tersebut dikembangkan secara swakarsa oleh pemerintah, perorangan, badan usaha, atau badan hukum melalui perorangan maupun badan hukum lain yang memiliki keahlian di bidang perencanaan dan pemasangan instalasi tenaga listrik. Hal demikian mengingat bahwa wewenang pendistribusian tenaga listrik melalui JIS distribusi dengan tegangan rendah dalam JIS STL tidak menjangkau lokasi-lokasi dalam zone-zone sebagaimana tersebut di atas.



Gambar 3.3 Visualisasi JIS MEI

#### **3.1.4. JIS SPAM**

Pada suatu sistem penyediaan air minum (SPAM) tercakup beberapa subsistem meliputi subsistem penangkapan, penjernihan, transmisi, dan distribusi air minum/baku. Masing-masing subsistem tersebut juga sering ditinjau dalam skala sistem. Namun demikian, JIS SPAM untuk keperluan tersebut hanya umum dibangun untuk sistem transmisi dan distribusi. JIS transmisi digunakan untuk mengirim air minum/baku dari suatu lokasi ke suatu lokasi lainnya, umumnya antar kabupaten. Sedangkan JIS distribusi digunakan untuk mengirim air minum/baku dari lokasi-lokasi tertentu pada JIS transmisi ke berbagai lokasi-lokasi pemakaian air minum/baku, antara lain: pemakaian air minum/baku pada gedung rumah tinggal, perkantoran bisnis, pasar, terminal angkutan, dan instansi-instansi pemerintah.

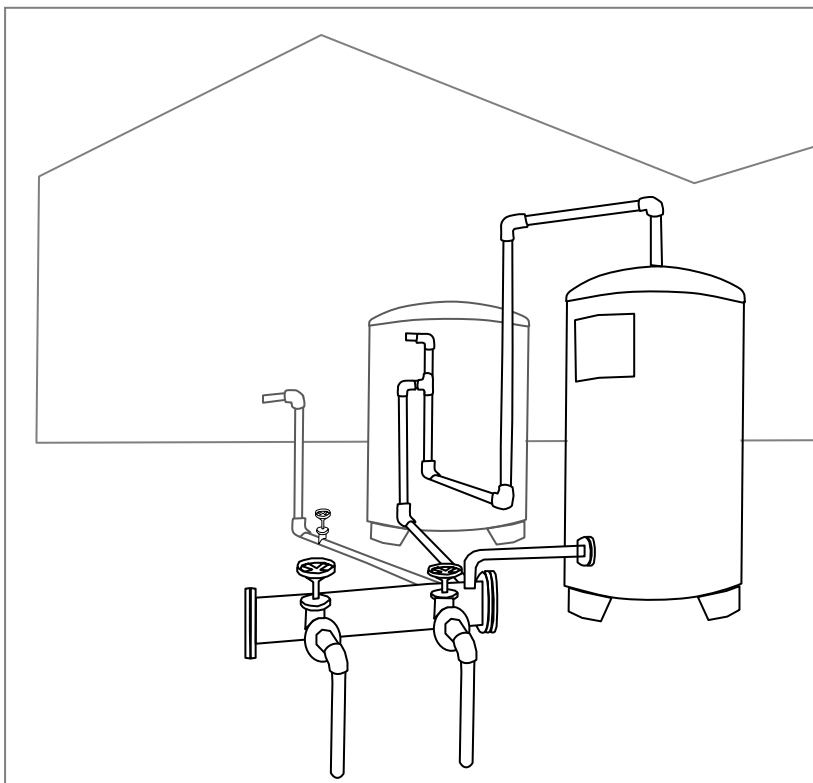


Gambar 3.4 Visualisasi JIS SPAM

JIS SPAM, termasuk JIS transmisi dan distribusi, kadang perlu juga dibangun pada gedung-gedung fasilitas umum yang telah disebutkan dalam alenia terdahulu, disamping dibangun secara khusus untuk suatu zone tertentu yang memerlukan penyediaan air minum/baku.

### **3.1.5. JIS SPL**

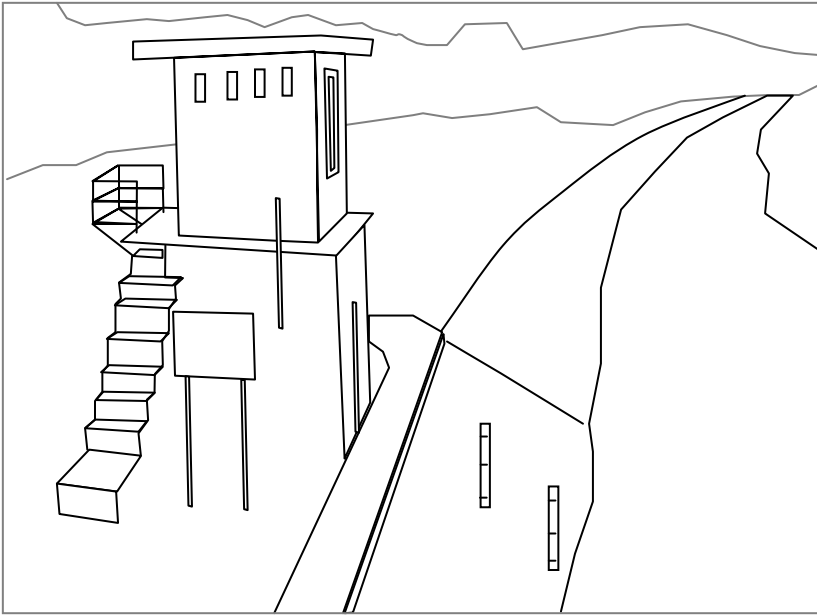
Di antara berbagai jenis limbah yang harus ditangani, hanya limbah padat dan cair yang kini telah umum dibangun dalam bentuk JIS. Sistem penanganan limbah padat dan cair umumnya mencakup subsistem penampungan, pengendapan, aerasi, transmisi, dan distribusi. Dalam kondisi tertentu, sub-subsistem tersebut kadang harus dibuat dalam ukuran sistem.



Gambar 3.5 Visualisasi JIS SPL

### **3.1.6. JIS Irigasi**

JIS Irigasi telah banyak dibangun menggunakan sistem gravitasi memakai prasarana saluran terbuka, tertutup/pipa, atau kombinasi saluran terbuka dan tertutup. JIS tersebut umumnya digunakan untuk menyalurkan air irigasi dari lokasi penangkapan air ke petak-petak lahan pertanian dan perikanan darat yang meliputi area relatif luas pada daerah lembah di lereng sebuah gunung.



Gambar 3.6 Visualisasi JIS Irigasi

Dalam JIS Irigasi tercakup komponen-komponen prasarana JIS meliputi bangunan-bangunan utama, saluran-saluran pembawa, dan bangunan-bangunan pelengkap saluran. Bangunan utama pada JIS tersebut dibuat dengan fungsi untuk menangkap, mengumpulkan, dan menyalurkan/mengarahkan sejumlah aliran air untuk pemenuhan kebutuhan air irigasi menuju saluran pembawa. Bangunan-bangunan utama untuk keperluan tersebut dapat berupa bendungan, bendung, bak penangkap air, atau sumur yang dilengkapi pompa atau kombinasi bangunan-bangunan tersebut. Suatu bendung umumnya dibangun dengan kelengkapan beberapa jenis bangunan-bangunan pelengkap, antara lain meliputi: bangunan penyadap, pelimpah, pengukur tinggi muka air, peredam energi, penguras, dan saluran penangkap lumpur. Sedangkan bak penangkap air dan sumur yang dilengkapi pompa umumnya hanya

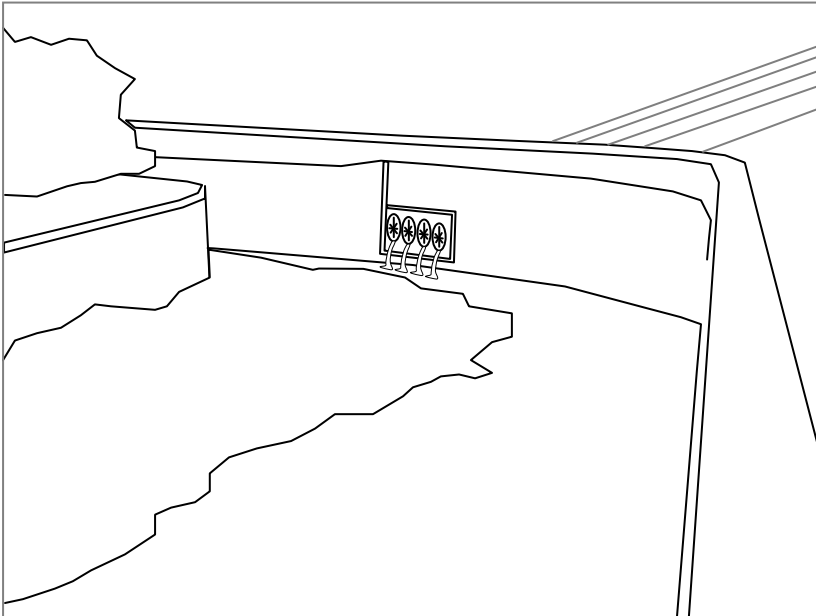


dibuat dengan bangunan pelengkap berupa bangunan penyalur. JIS Irigasi dapat juga dibuat dengan bangunan utama berupa bendungan dengan fungsi tidak hanya menangkap, mengumpulkan, dan menyalurkan/mengarahkan aliran air, tetapi juga dengan fungsi menyimpan air yang dikumpulkan pada musim penghujan untuk digunakan pada musim kemarau. Bangunan-bangunan pelengkap pada bendungan dapat mencakup seluruh bangunan pelengkap pada suatu bendung dan bangunan pelengkap lainnya, antara lain bangunan pintu-pintu dan saluran pengelak serta kolam peredam energi. Saluran-saluran pembawa debit air irigasi dibangun dengan kelengkapan bangunan pintu-pintu air dan bangunan-bangunan pelengkap saluran irigasi dalam jumlah relatif banyak. Bangunan-bangunan pelengkap saluran irigasi, antara lain meliputi: bangunan pembagi, peredam energi, dan terjunan. Saluran irigasi dapat dibuat dalam sistem teknis, nonteknis, atau pun semi teknis dengan mempertimbangkan aspek-aspek setempat yang mungkin dapat berpengaruh terhadap saluran maupun aliran air pada saluran. Pada tinjauan komponen-komponen JIS, setiap bangunan tersebut dapat ditinjau sebagai suatu subsistem atau sebagai suatu sistem.

### **3.1.7. JIS Drainase**

Drainase diterapkan pada banyak tempat dengan berbagai ragam kemanfaatan. Drainase secara prinsip bermanfaat untuk membuang air dari suatu zone/lahan atau mengeringkan kelebihan air pada suatu zone. Saluran dalam JIS Drainase dapat mencakup saluran terbuka, saluran tertutup/pipa, atau kombinasi kedua jenis saluran tersebut. Saluran air untuk keperluan drainase pada JIS Drainase dapat dilakukan tanpa memakai pasangan batu untuk pelindung dinding saluran, misalnya saluran pembuangan air pada lahan pertanian, perkebunan, dan pertambakan. Sedangkan pada zone perkotaan, saluran drainase perlu diperkuat dengan pasangan batu, misal saluran drainase pada zone permukiman.

JIS Drainase juga perlu dibuat untuk menghindari genangan air pada areal jalan raya, lapangan, dan perkantoran bisnis. Hal demikian tidak hanya ditujukan untuk mengeliminasi hambatan kegiatan masyarakat pada zone tersebut, tetapi juga untuk menjaga kondisi lingkungan hidup tetap higienis.



Gambar 3.7 Visualisasi JIS Drainase

### **3.1.8. JIS TD**

JIS yang digunakan dalam bidang transportasi sesuai dengan sistem dalam bidang transportasi, meliputi transportasi darat, laut, dan udara. JIS TD dibangun pada sistem transportasi darat, mencakup jalan-jalan raya, rel-rel kereta, terminal, dan halte-halte untuk menghubungkan antara lokasi terminal dengan berbagai pusat keramaian masyarakat, antara lain: pusat pendidikan, bisnis, produksi perindustrian, perdagangan, ibadah, pelayanan kesehatan,

dan hiburan, serta tempat-tempat rekreasi, lihat Gambar 3.2. Pada beberapa zone tertentu, JIS TD juga dikembangkan memakai kereta gantung dengan lintasan di bawah kabel dan ban berjalan dengan lintasan di atas ban.

### **3.2 TIPE-TIPE JIS**

JIS dapat diklasifikasikan kedalam kelas-kelas berdasarkan pada bentuk, struktur, keperluan, dan pengelolaan untuk dapat memperoleh kemudahan dalam pengembangan sistem, baik melalui metode perencanaan, pembangunan, perawatan, dan operasi suatu infrastruktur pada berbagai bidang kerja, sebagaimana telah dimuat dalam Tabel 1.1 berikut.

Berdasar pada pengaruh komponen terhadap JIS, komponen JIS dapat dikelompokkan kedalam kelas sebagai berikut:

- 1) **Komponen utama JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki pengaruh sangat besar terhadap JIS sehingga JIS hanya dapat berfungsi dengan kelengkapan komponen tersebut.
- 2) **Komponen pendukung JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki pengaruh besar terhadap JIS sehingga JIS tidak dapat berfungsi dengan efektif dan efisien tanpa kelengkapan komponen tersebut.
- 3) **Komponen pelengkap JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki pengaruh tidak besar terhadap JIS sehingga komponen tersebut banyak difungsikan untuk meningkatkan efisiensi JIS.

Berdasar pada posisi/letak/kedudukan, komponen JIS dapat dikelompokkan kedalam kelas sebagai berikut:

- 1) **Komponen primer JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi/letak/kedudukan langsung berhubungan dengan atau setelah konstruksi/bangunan utama.

- 2) **Komponen sekunder JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi setelah komponen primer JIS.
- 3) **Komponen tersier JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi setelah komponen sekunder JIS.
- 4) **Komponen kuartier JIS** merupakan komponen JIS yang hanya memiliki pengaruh penting pada kondisi tertentu, selain itu dapat juga merupakan komponen JIS yang memiliki posisi setelah komponen tersier JIS.
- 5) dan seterusnya.

Berdasar pada bentuk, JIS dapat dibedakan kedalam tipe-tipe sebagai berikut:

- 1) **JIS terbuka** merupakan JIS yang memiliki bagian ujung tidak berhubungan langsung dengan bagian pangkal dari JIS. Bagian ujung terbuka pada JIS dapat juga merupakan lokasi-lokasi di mana JIS yang dikembangkan oleh para pengguna dihubungkan.
- 2) **JIS tertutup** merupakan JIS yang memiliki ujung dan pangkal pada posisi sama, dapat pada posisi nodal sama atau pun penghubung sama. JIS tertutup umum pula disebut sebagai suatu *loop*.

Berdasar pada struktur, JIS dapat dibedakan kedalam beberapa tipe berikut:

- 1) **JIS terstruktur** merupakan JIS dengan susunan berurutan sesuai dengan hirarki tertentu dengan bentuk JIS terbuka. Perletakan komponen-komponen JIS dalam JIS terstruktur sebagai misal dapat diacu dari klasifikasi untuk komponen JIS yang telah diuraikan terdahulu.
- 2) **JIS tidak terstruktur** merupakan JIS tanpa hirarki urutan dengan bentuk JIS tertutup.
- 3) **JIS kombinasi terstruktur dan tidak terstruktur** dengan bentuk JIS terbuka.

Berdasar pada masyarakat pengguna, JIS dapat dibedakan kedalam kelas sebagai berikut:

- 1) **JIS umum** merupakan JIS yang dibangun untuk keperluan masyarakat umum. Masyarakat umum dapat mengakses pada/kedalam JIS tanpa harus mengurus perizinan untuk keperluan tersebut. JIS TD dalam kawasan bisnis pada suatu kabupaten/kota sebagai misal suatu JIS yang dapat dipakai untuk seluruh masyarakat umum baik masuarakat dalam maupun luar kabupaten/kota.
- 2) **JIS khusus** merupakan JIS yang dibangun untuk keperluan masyarakat khusus. Masyarakat umum hanya dapat mengakses pada/ kedalam JIS jika telah mendapatkan izin untuk suatu keperluan tertentu. JIS TD dalam zone militer misalnya hanya digunakan untuk transportasi anggota militer dan JIS TD dalam zone perkebunan hanya digunakan untuk transportasi kendaraan karyawan dan hasil perkebunan.

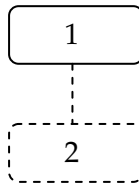
JIS dapat juga dikelompokkan berdasar pada pengelolaan JIS kedalam kelas-kelas sebagai berikut:

- 1) **JIS yang dikelola pemerintah** merupakan JIS yang dikelola oleh pemerintah.
- 2) **JIS yang dikelola oleh swasta** merupakan JIS yang dikelola oleh swasta baik perorangan atau kelompok masyarakat, maupun badan usaha atau badan hukum yang diberi wewenang oleh pemerintah.

### **3.3 POLA JIS**

Suatu struktur organisasi pada JIS dinyatakan terdiri dari persegi dan garis. Setiap persegi pada struktur tersebut menyatakan persona dengan posisi/kedudukan dan wewenang tertentu, umum juga disertai hak dan kewajiban tertentu. Sedangkan garis dalam struktur tersebut menyatakan hubungan hirearkhikal, umummnya

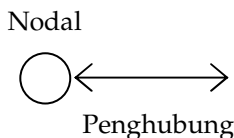
ditunjukkan dengan hirarkhi makin kebawah makin rendah yang ditunjukkan dengan arah anak panah pada diagram. Suatu persegi bersudut lengkung dapat digunakan untuk bentuk lain dari persegi guna menunjukkan bahwa diagram digunakan selain untuk menyatakan hubungan persona, antara lain: proses, prosedur, tata kerja, atau komponen lainnya dalam sistem, sebagai misal diagram dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Diagram Struktur JIS Paling Sederhana

Bentuk fisik suatu JIS maupun model JIS dapat dinyatakan menggunakan suatu skema, yang tersusun dari 3 komponen, yaitu: nodal, penghubung, dan modul. Obyek-obyek infrastruktur dalam JIS dapat ditempatkan baik pada nodal maupun penghubung, dengan maupun tanpa modul. Suatu **nodal** berfungsi sebagai suatu obyek dalam JIS. Nodal dinyatakan menggunakan suatu simbol berupa titik yang berukuran relatif besar sehingga mudah dilihat tanpa memakai alat bantu pengelihatan khusus/tertentu. Suatu nodal terhubung atau dihubungkan terhadap nodal lainnya pada JIS oleh adanya penghubung. Suatu **penghubung** berfungsi menghubungkan suatu lokasi dengan lokasi lainnya, umumnya lokasi di mana nodal berada. Penghubung dapat juga berfungsi sebagai suatu obyek, penghubung dari atau ke suatu nodal, atau penghubung satu nodal dengan nodal lainnya. Penghubung dinyatakan dengan simbol berupa garis dengan atau tanpa tanda anak panah. Tanda/symbol anak panah pada penghubung memiliki fungsi menyatakan arah hubungan atau gerak pada penghubung, dapat berupa hubungan satu arah atau pun dua arah sesuai dengan

arah tanda anak panah pada penghubung. Pada satu nodal dapat disusun lebih dari satu penghubung. **Modul** dalam JIS merupakan susunan nodal dan penghubung sehingga membentuk suatu pola JIS tertentu yang relatif sederhana, berfungsi mewakili suatu IS atau JIS dan saling terhubung antara satu modul dengan lainnya. Modul dapat dibuat dalam banyak ragam bentuk, antara lain dimuat dalam Gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 Skema JIS Paling Sederhana

### **3.4 OPERASI DAN PERAWATAN JIS**

JIS perlu mendapatkan perawatan untuk dapat beroperasi secara optimal secara menerus, yang ditunjukkan dengan kondisi JIS tidak dalam keadaan kritis untuk JIS yang bersifat alam atau ditunjukkan dengan kondisi kinerja optimal untuk JIS yang bersifat buatan maupun semi alam.

Biaya O & P suatu JIS umumnya dapat ditekan mencapai minimal melalui berbagai alternatif untuk pilihan penyelesaian permasalahan. Alternatif pilihan meminimalan biaya tersebut antara lain sebagai berikut:

- 1) Pemilihan tipe dan dimensi JIS dalam perencanaan,
- 2) Pelaksanaan dan pengawasan,
- 3) penghematan waktu perawatan.

Kerusakan yang dimungkinkan timbul dalam operasi JIS dapat direduksi sehingga biaya perawatan dapat diminimalkan dengan memilih tipe dan dimensi JIS yang tepat/efektif, disamping melakukan proses pemilihan secara efektif dalam perencanaan.

Pemilihan tipe JIS yang efektif untuk menyelesaikan permasalahan sistem dimungkinkan dapat mereduksi atau pun menghindarkan timbulnya kerusakan dalam operasi JIS. Reduksi peluang timbulnya kerusakan tersebut lebih lanjut dimungkinkan dapat mereduksi biaya perawatan JIS hingga minimal. Di samping tipe JIS yang tepat, dimensi JIS paling efektif perlu dipilih dan ditetapkan dalam perencanaan. Dimensi JIS yang tepat dimungkinkan dapat juga mereduksi atau pun menghindarkan kerusakan yang dimungkinkan timbul dalam operasi JIS sehingga biaya perawatan makin dapat diminimalkan. Di samping tipe dan dimensi JIS, proses pemilihan perlu juga dilakukan secara efektif memakai prosedur dan peralatan yang tepat dan sesuai untuk penyelesaian permasalahan pemilihan tipe dan dimensi tersebut.

Pelaksanaan dan pengawasan terhadap ketepatan metode pelaksanaan dan spesifikasi teknis dalam pelaksanaan konstruksi sangat diperlukan dalam upaya merealisasikan efektifitas tipe dan dimensi JIS yang telah dipilih dan ditetapkan dalam tahap perencanaan konstruksi. Hal tersebut memungkinkan pelaksanaan konstruksi dapat berlangsung secara efektif dan efisien, serta hasil pelaksanaan konstruksi dapat dihindarkan dari berbagai kerusakan yang dimungkinkan dapat timbul. Konstruksi JIS yang dapat dihindarkan dari berbagai kemungkinan kerusakan dimungkinkan dapat mereduksi biaya perawatan JIS hingga minimal.

O & P JIS secara prinsip dapat dilaksanakan memakai metode PTIS dengan 6 pokok prosedur kegiatan yang dilaksanakan secara berurutan, sebagaimana telah diuraikan dalam bab terdahulu. Dalam praktek pelaksanaan O & P tersebut, efektifitas dan efisiensi penggunaan berbagai sumberdaya dan sarana, biaya, waktu perlu direncanakan makin teliti agar dapat diperoleh kemudahan dan kelancaran dalam praktek pelaksanaan O & P.



# 4

## **PENGAJIAN DAN OPTIMASI SISTEM DAN JIS**

Pengembangan berbagai bidang kerja atau sektor di tengah kehidupan masyarakat telah cukup umum dilakukan memakai metode sistem. Demikian halnya di bidang kerja teknik, di mana metode tersebut mula pertama digunakan, pemakaian metode sistem hampir menjadi pilihan utama untuk penyelesaian berbagai permasalahan sistem alam, buatan, maupun semi alam di tengah kehidupan masyarakat.

Di antara berbagai tipe sistem yang telah dikenal hingga kini, tipe sistem alam, buatan, semi alam, dan sosial merupakan tipe sistem paling mendasar untuk dapat diidentifikasi. Keberhasilan identifikasi bagian-bagian dari permasalahan kedalam konteks permasalahan tipe-tipe sistem tersebut memungkinkan penyelesaian permasalahan diperoleh relatif lebih mudah dan cepat. Penyelesaian permasalahan yang dihasilkan dapat digunakan sepanjang sistem berlangsung, baik masa kini maupun masa datang. Hal demikian berdasarkan pada fakta-fakta bahwa dalam banyak kasus dalam

solusi/penyelesaian permasalahan-permasalahan lingkungan fisik yang telah dicapai, penyelesaian permasalahan umumnya dikaji berlandaskan hukum-hukum, prinsip-prinsip, dan teori-teori sistem alam, buatan, semi alam, dan sosial. Dalam konteks sistem di bidang teknik, penyelesaian permasalahan secara umum diperoleh dengan meninjau suatu materi atau elemen materi tertentu beserta fenomena-fenomena yang dialami oleh materi atau elemen materi tersebut sebagai suatu sistem yang didefinisikan. Sementara itu, dalam konteks sistem sosial, penyelesaian secara umum untuk kasus-kasus/ permasalahan-permasalahan kemasyarakatan dan lingkungan nonfisik diperoleh melalui kajian terhadap sistem yang relatif sulit didefinisikan berlandaskan hukum-hukum dan teori-teori prinsip-prinsip dalam bidang sosial.

Dalam bagian selanjutnya, sebagaimana tujuan penulisan, hanya diuraikan hal-hal yang berkaitan dengan penyelesaian permasalahan-permasalahan lingkungan fisik. Untuk hal-hal yang berkaitan dengan upaya penyelesaian permasalahan-permasalahan kemasyarakatan dan lingkungan nonfisik dipersilakan membaca referensi lain yang menjabarkan pokok-pokok tersebut.

Penyelesaian permasalahan-permasalahan lingkungan fisik dalam banyak kasus juga dipengaruhi oleh faktor politis dan ekonomi, di samping faktor teknik. Untuk itu, dalam kegiatan-kegiatan pengembangan JIS, pertimbangan politis dan ekonomis perlu dilakukan, di samping pertimbangan teknik.

Penyelesaian permasalahan-permasalahan lingkungan fisik di bidang teknik secara umum dapat dilakukan memakai 3 metode pendekatan, yaitu: metode teoritis, terapan, dan empiris. Uraian lebih detail mengenai pemakaian ketiga metode tersebut dapat diacu dalam [16]. Pemakaian metode empirik dalam penyelesaian permasalahan menggunakan metode sistem sebagai misal, sebagaimana dimuat dalam Gambar 2.1 dan Gambar 1.1, merupakan aplikasi 2 metode yang dapat digunakan sebagai satu di antara ujung tombak untuk mendapatkan temuan-temuan materi baru di

alam semesta. Hal itu karena, metode tersebut dapat digunakan untuk mempelajari dan menyelesaikan permasalahan dalam fenomena-fenomena yang dialami oleh suatu materi yang masih tergolong miterius, belum diketahui secara pasti komposisi, sifat, maupun perilakunya di alam semesta.

Aplikasi metode empirik dalam bidang teknik tidak hanya efektif dan efisien dilakukan melalui ekeperimen di laboratorium, dalam upaya penemuan rumus, meterial, atau peralatan baru yang diperlukan dan belum tersedia di pasar, tetapi juga dapat efektif dan efisien digunakan secara efektif dan efisien di luar laboratorium berdasarkan pada data permasalahan dalam fenomena yang terjadi di tengah kehidupan masyarakat.

Dalam buku ini, uraian selanjutnya mengenai metode-metode analisis permasalahan hanya mencakup metode-metode eksak untuk penyelesaian permasalahan sistem dan JIS.

#### **4.1 METODE PENYELESAIAN PERMASALAHAN SISTEM DAN JIS**

**Pengkajian dan optimasi sistem dan JIS** merupakan aktivitas-aktivitas penerapan metode ilmiah menggunakan prosedur tertentu untuk pengkajian terhadap permasalahan sistem dan JIS berlandaskan pada data sistem dan JIS, serta hukum-hukum, prinsip-prinsip, serta teori-teori IPTEKS yang berkaitan dengan permasalahan pada data sistem dan JIS. Dalam kedua aktivitas tersebut, analisis data dilakukan untuk menghasilkan kondisi kinerja optimal dan pokok-pokok penting yang perlu ditindaklanjuti/ dilakukan dalam perencanaan, pelaksanaan, maupun operasi dan perawatan sistem dan JIS.

Dalam penyelesaian permasalahan memakai metode sistem, perlu ditekankan penerapan metode basis sturktur dan sistemik sejalan dengan pemakaian hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan dengan permasalahan yang ditinjau dalam analisis data. Hal demikian memperhatikan bahwa lingkup sistem memiliki sifat

fleksibel, baik dari sudut pandang fakta-fakta yang berkaitan dengan sistem, kualitas produk yang dikeluarkan sistem, maupun pola pikir pengamat/pengkaji. Sementara itu, masing-masing tipe sistem dan JIS secara khusus dikembangkan berdasarkan pada hukum-hukum, prinsip-prinsip, dan teori-teori yang berlainan terhadap sistem dan JIS lainnya.

#### **4.1.1. Metode Basis Struktur**

*Penyelesaian permasalahan pada sistem dan JIS perlu dilakukan dengan meninjau proses-proses dalam sistem yang tergolong struktur* memakai "***metode basis struktur***". Berdasar struktur pada proses-proses dalam sistem, proses dalam sistem secara umum perlu ditinjau menggunakan kriteria 4 kelas proses, meliputi: fenomena yang telah dapat dianalisa, fenomena yang hanya dapat dideskripsikan, fenomena yang baru dapat dideskripsikan, dan fenomena yang belum dapat dideskripsikan.

##### **1) Fenomena yang telah dapat dianalisa**

Fenomena-fenomena dalam kelas ini umumnya telah dapat dinyatakan memakai persamaan matematik untuk menyatakan kebenaran hubungan antar parameter-parameter masukan dan keluaran pada sistem. Fenomena yang telah dapat dianalisa secara prinsip telah ditinjau berdasarkan struktur pada proses dalam sistem sehingga dapat digunakan untuk meninjau proses-proses sejenis yang berlangsung pada sistem lainnya. Tinjauan terhadap proses dalam sistem dengan cara demikian dapat meningkatkan efisiensi waktu dan tenaga dalam pengkajian sistem, baik dalam tinjauan terhadap sistem yang telah dioperasikan maupun yang sedang dalam perencanaan atau penelitian. Di antara fenomena-fenomena tersebut telah umum digunakan dalam analisa penyelesaian permasalahan sistem dan sebagian lainnya belum umum digunakan dalam analisa penyelesaian permasalahan sistem. Beberapa di antara

fenomena-fenomena dalam kelas ini umumnya telah dapat dioptimasi, sebagian lainnya belum umum dioptimasi, dan sebagian lainnya perlu ditinjau untuk dapat dioptimasi. Di antara fenomena-fenomena dalam kelas ini telah dapat juga dirangkai memakai pernyataan-pernyataan matematik sebagai suatu metode tertentu untuk dapat digunakan sebagai alat analisa dalam pelaksanaan aktivitas perencanaan dan perancangan suatu konstruksi tertentu pada sistem atau JIS. Namun demikian, di antara fenomena-fenomena dalam kelas ini masih perlu ditinjau lebih lanjut untuk dapat ditingkatkan efektifitas dan efisiensi penyelesaiannya berdasar pada struktur pada proses-proses dalam sistem atau JIS.

## **2) Fenomena yang hanya dapat dideskripsikan**

Beberapa di antara fenomena pada sistem dan JIS tergolong hanya dapat dideskripsikan, terutama fenomena-fenomena pada sistem dan JIS yang bersifat alam. Fenomena-fenomena demikian umum pula dideskripsikan memakai simbol-simbol matematik sesuai dengan simbol-simbol dalam persamaan matematik yang berkaitan untuk kemudahan penggunaan. Fenomena-fenomena dalam kelas tersebut umumnya hanya dapat diketahui melalui suatu pengukuran untuk dapat digunakan sebagai data masukan kedalam sistem atau JIS. Di antara fenomena-fenomena tersebut dapat juga efisien digunakan dalam analisa penyelesaian permasalahan sistem-sistem dan JIS sejenis, baik yang telah dioperasikan maupun yang sedang dalam perencanaan atau penelitian.

## **3) Fenomena yang baru dapat dideskripsikan**

Fenomena-fenomena yang baru dapat dideskripsikan dalam banyak kasus belum umum digunakan untuk suatu alat analisa untuk mendapatkan penyelesaian permasalahan sistem atau JIS sehingga perlu dibuktikan. Deskripsi fenomena dalam kelas ini antara lain dapat berupa rumusan permasalahan, penyelesaian permasalahan, dan hipotesis. Dalam penelitian, hipotesis merupakan

pernyataan singkat yang akan dibuktikan melalui pelaksanaan penelitian. Pada bidang kerja teknik, deskripsi fenomena dalam kelas ini perlu dinyatakan dengan suatu persamaan matematik untuk menyatakan hubungan antar parameter-parameter masukan dan keluaran pada struktur yang ditinjau dalam sistem atau JIS. Di antara fenomena-fenomena tersebut dapat juga efisien digunakan dalam analisa penyelesaian permasalahan sistem-sistem dan JIS sejenis dan mungkin terus ditinjau dan dikembangkan untuk dapat digolongkan kedalam kelas fenomena yang telah dapat dianalisa.

#### **4) Fenomena yang belum dapat dideskripsikan.**

Fenomena-fenomena penting yang menarik untuk ditinjau melalui aktivitas pengkajian dan penelitian termasuk dalam kelas fenomena pada sistem dan JIS yang belum dapat dideskripsikan.

#### **4.1.2. Metode Sistemik**

Dalam praktek pemakaian sistem untuk penyelesaian permasalahan tidak jarang perlu dilakukan memakai pendekatan pola fikir memakai "**metode sistemik** (systemic thinking)", merupakan *suatu cara penyelesaian permasalahan dengan prinsip memandang permasalahan yang akan diselesaikan sebagaimana suatu sistem*. Metode sistemik secara prinsip merupakan cara berfikir untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada secara menyeluruh. Informasi lebih detil pemakaian metode tersebut dapat diacu dalam [1].

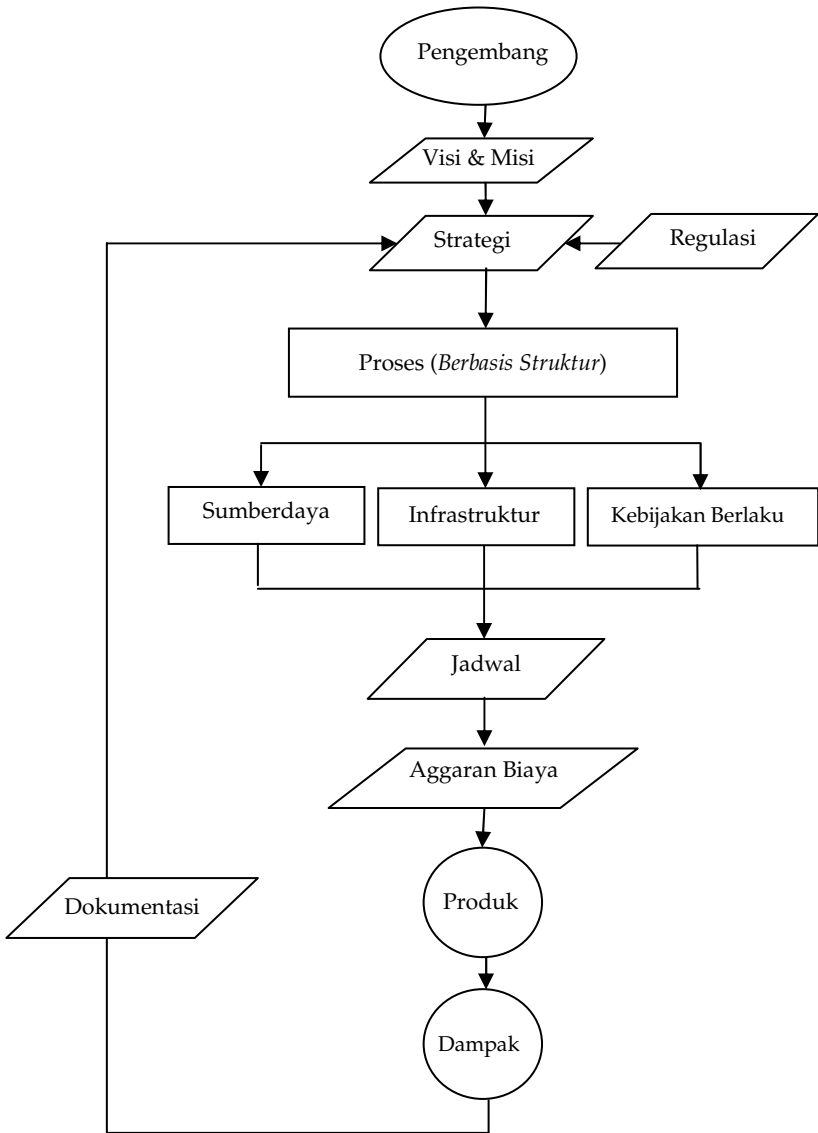
Metode berfikir tersebut efektif dan efisien digunakan dalam bidang teknik untuk memperoleh penyelesaian permasalahan-permasalahan sistem dan JIS yang berkaitan dengan manajemen pada sistem. Dalam manajemen sistem, untuk mencapai tujuan sistem person-person dalam organisasi harus mampu melaksanakan manajemen terhadap seluruh komponen dalam sistem.

Dalam praktek, penerapan metode sistemik dilakukan dengan memperhatikan sebanyak mungkin aspek-sapek yang mungkin berpengaruh terhadap fenomena, proses, dan komponen-komponen pada sistem, termasuk aspek-sapek di luar sistem yang mungkin berpengaruh terhadap fenomena, proses, dan komponen-komponen pada sistem. Dalam penerapan metode integral, metode sistemik diperlukan untuk melakukan identifikasi seluruh aspek dalam sistem hingga komponen sub-subsistem yang terkecil. Oleh karena itu, pemakaian metode tersebut memungkinkan didapatkan suatu hasil kajian menyeluruh terhadap hampir semua aspek yang berpengaruh terhadap sistem.

#### **4.2 PENGKAJIAN SISTEM DAN JIS**

*Pengkajian sistem dan JIS* secara prinsip merupakan suatu kegiatan/aktivitas untuk mengetahui atau mempelajari proses, masukan, dan keluaran pada suatu sistem dan JIS. Pengkajian sistem berlainan dengan pengkajian JIS, meskipun pengkajian sistem umumnya selalu disertai dengan pengkajian JIS. Demikian halnya dalam pengkajian JIS umum pula selalu disertai dengan pengkajian sistem di mana JIS bersangkutan berada. Namun demikian, dapat dipahami dengan mudah bahwa proporsi kajian tentang JIS dalam pengkajian JIS dimungkinkan dapat dilakukan secara detil, terfokus, dan mendalam. Oleh karena itu, untuk lebih memfokuskan kajian tentang JIS dalam sistem, pengkajian JIS lebih tepat dipilih untuk digunakan daripada pengkajian sistem.

Untuk sistem-sistem yang tidak memiliki JIS, tentu saja pengkajian cukup dilakukan melalui pengkajian IS bersangkutan tanpa perlu disertai pengkajian JIS. Sebagian besar di antara sistem-sistem yang telah dikenal dan dikembangkan telah dilengkapi dengan IS namun demikian IS tersebut tidak dapat digolongkan kedalam kelas JIS.



Gambar 4.1 Bentuk Umum Sistem dalam Pengkajian Sistem



Beberapa alternatif langkah tindaklanjut strategis dari hasil pengkajian sistem yang dilakukan melalui kegiatan pengembangan sistem dan JIS secara umum meliputi:

- 1) kebijakan strategis,
- 2) manajemen organisasi,
- 3) penerapan hasil pengkajian teknik, dan
- 4) penerapan hasil pengkajian ekonomi.

Pengkajian teknik dan pengkajian ekonomi berkaitan sangat erat. Hasil kedua pengkajian tersebut dengan demikian harus selaras antara satu dengan lainnya. Pada uraian selanjutnya, hanya pengkajian teknis yang diuraikan lebih lanjut.

#### **4.2.1. Pokok-pokok Pengkajian Sistem dan JIS**

Pengkajian sistem yang berkaitan dengan pengembang sistem memuat pokok-pokok mulai dari kajian identifikasi sistem dan komponen sistem, hingga rekomendasi kepada pengembang sistem. Identifikasi sistem minimal mencakup uraian data organisasi pengembang, visi, misi, fungsi dan lingkup, serta strategi pencapaian tujuan/ produk sistem dan/atau JIS. Pokok pengkajian komponen sistem merupakan bagian prosedur pengkajian sistem yang paling rumit, namun mutlak harus dilakukan. Pokok tersebut antara lain meliputi analisis terhadap sumberdaya dan produk sistem dan/atau JIS, termasuk dokumen terkait, penjadwalan, dan alokasi anggaran biaya. Pengkajian dilakukan untuk mendapatkan proses yang terjadi secara detil, serta siklus kebutuhan sumberdaya dan produk yang dihasilkan pada sistem dan/atau JIS.

Upaya pengkajian sistem diperlukan untuk menghasilkan bahan-bahan pertimbangan dalam pemilihan dan penetapan strategi pengembangan sistem, sebagaimana dimuat dalam Gambar 4.1. Di antara strategi yang perlu ditetapkan adalah untuk dapat memperoleh beberapa manfaat tambahan melalui tidak lanjut hasil pengkajian.

Dalam uraian kajian sistem minimal harus dimuat tinjauan terhadap beberapa aspek berikut:

- 1) Efektifitas operasi sistem  
Kajian dilakukan untuk saat tahun berjalan dan masa depan, meliputi kurun waktu operasi sistem yang direncanakan dalam tahap:
  - a) jangka pendek misalnya 4 tahunan atau 5 tahunan,
  - b) jangka panjang 20 atau 25 tahunan.
- 2) Efisiensi operasi sistem  
Kajian efisiensi operasi sistem juga dilakukan untuk kurun waktu operasi sistem sebagaimana dalam tinjauan efektifitas operasi sistem.
- 3) Realisasi rencana strategi sistem yang telah ditetapkan dan sedang dilaksanakan, antara lain:
  - a) mutu produk,
  - b) ketepatan penjadwalan, dan
  - c) ketepatan alokasi anggaran biaya.

Dalam konteks ketepatan alokasi anggaran biaya, kegiatan pengkajian sistem harus difokuskan pada aspek pengembangan sistem, sebagaimana diuraikan terdahulu dalam pokok 1) dan 2), yaitu efektifitas dan efisiensi proses pada sistem berlandaskan pada strategi yang ditetapkan dalam pencapaian tujuan melalui pilihan lingkup, teknologi, dan infrastruktur ketersediaan sumberdaya. Sedangkan untuk kajian ketepatan alokasi anggaran biaya dilakukan melalui kegiatan audit berdasarkan pada realisasi rencana yang telah ditetapkan dalam strategi pencapaian tujuan, dalam konteks audit infrastruktur perlu dilakukan kajian terhadap sumberdaya, sarana, dan prasarana fisik sistem.

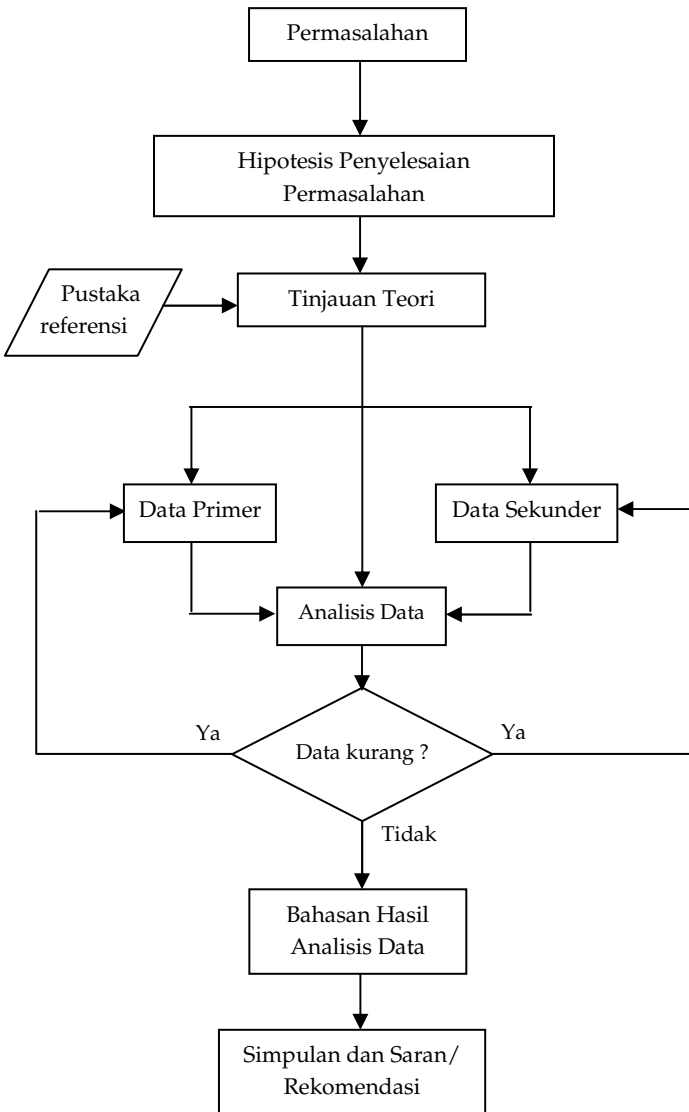
Pertimbangan/ rekomendasi teknis (dan ekonomis) untuk penetapan keputusan/kebijakan pengembangan infrastruktur secara umum dapat dicapai melalui 5 strategi sebagaimana telah diuraikan pada Bab Pendahuluan. Rekomendasi teknis tersebut penting untuk

disesuaikan dengan lingkup, maksud, dan tujuan dilakukannya pengkajian. Dengan demikian, pengkajian sistem perlu dilakukan mulai dari tahap perencanaan, konstruksi, maupun operasi dan perawatan sistem. Hasil pengkajian teknis dan ekonomis adalah berupa rekomendasi yang diharapkan dapat menjadi bahan penting dalam pemilihan dan penetapan kebijakan-kebijakan yang akan diimplementasikan oleh pengembang sistem. Namun demikian, hasil-hasil pengkajian teknis dapat juga berupa barang dan metode, disamping berupa rekomendasi.

Dalam konteks ini, terdapat pokok pertimbangan, apakah pengkajian perlu dilakukan hanya untuk menjelaskan fenomena permasalahan pada sistem atau sampai lingkup pengkajian hasil-hasil implementasi strategi yang memerlukan rencana strategi dan secara konsisten memerlukan selang waktu pengkajian relatif lebih panjang melalui **riset kajian tindak** (action riset).

#### **4.2.2. Metode Pelaksanaan Pengkajian Sistem dan JIS**

Pengkajian sistem harus dilakukan memakai metode ilmiah berdasarkan pada teori-teori sistem serta IPTEKS pada bidang yang berkaitan dengan sistem dan JIS yang dikaji. **Metode ilmiah** secara prinsip merupakan cara mendapatkan kebenaran berdasarkan pada bukti fisik atau data. Metode ilmiah untuk pelaksanaan suatu pengkajian sistem dan/atau JIS samadengan metode ilmiah untuk pelaksanaan suatu pengkajian ilmiah atau pun penelitian ilmiah. Dalam pemakaian metode ilmiah untuk suatu pelaksanaan pengkajian sistem dan/atau JIS minimal harus tercakup beberapa subkegiatan pengkajian ilmiah meliputi: perumusan masalah, pernyataan hipotesis, pembuktian hipotesis, dan penarikan simpulan. Hipotesis merupakan dugaan yang harus dibuktikan dalam penelitian dan harus juga dinyatakan secara singkat dan jelas. Informasi lebih detil mengenai metode ilmiah dan pemakaiannya dalam struktur pengkajian ilmiah dapat dibaca dalam pustaka [9].



Gambar 4.2 Bagan Alir Pengkajian Sistem

Dalam bagian selanjutnya akan diuraikan lebih lanjut hal-hal penting dalam pemakaian metode ilmiah untuk penyusunan karya ilmiah, khususnya laporan pengkajian sistem dan JIS. Pokok-pokok uraian untuk laporan tersebut sebagaimana dimuat pada bagan alir dalam Gambar 4.2 meliputi:

- 1) pendahuluan,
- 2) tinjauan teori,
- 3) metodologi,
- 4) bahasan hasil,
- 5) simpulan dan saran,
- 6) abstrak, serta
- 7) daftar pustaka.

Masing-masing pokok 1) hingga 5) umumnya ditulis dalam masing-masing satu bab dan disusun secara berurutan. Abstrak tidak dibuat berbentuk bab sebagaimana pokok-pokok yang disebut terdahulu, namun merupakan gambaran kandungan laporan dengan susunan alenia dan pokok fikiran, jumlah kata, serta kata kunci ditulis sesuai dengan ketentuan tertentu. Daftar pustaka juga tidak dibuat berbentuk bab, berisi rincian pustaka-pustaka yang diperlukan sebagai referensi dalam penyusunan laporan.

### **1) Pendahuluan**

Bab pendahuluan disusun untuk menjelaskan latar belakang permasalahan, alternatif pilihan solusi permasalahan, rumusan permasalahan, maksud dan tujuan, serta bilamana dipandang perlu dapat dimuat pula batasan lingkup permasalahan dan hipotesis pada bab tersebut. Permasalahan harus dirumuskan dengan singkat dan jelas sehingga sebab dan solusi permasalahan akan menjadi mudah dipahami dan diselesaikan.

### **2) Tinjauan teori**

Dalam tinjauan teori diuraikan hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan serta hasil-hasil pengkajian terdahulu yang relevan.

Seluruh teori-teori yang berkaitan untuk penyelesaian permasalahan dalam pernyataan hipotesis diacu dari berbagai pustaka referensi dan disusun secara deskriptif dan urut.

### **3) Metodologi**

Metodologi memuat prosedur pengkajian berlandaskan pada metode ilmiah. Untuk dapat lebih memfokuskan langkah pengkajian penyelesaian permasalahan dan pengumpulan data, bilamana diperlukan, batasan masalah dan hipotesis pengkajian dapat dinyatakan secara rinci pada subbab khusus dalam bab ini. Demikian halnya dengan pernyataan-pernyataan pribadi yang digunakan untuk memperjelas langkah pengkajian penyelesaian permasalahan atau untuk membangun suatu konsep teori baru dapat disusun secara rinci pada subbab khusus, sebagai misal subbab Landasan Teori. Metodologi untuk pelaksanaan pengkajian ilmiah umumnya harus berisi rancangan prosedur dan data analisis. Namun demikian, bilamana diperlukan sebagaimana pada susunan tulisan hasil penelitian fundamental, dapat dinyatakan juga secara rinci dalam masing-masing sub-subbab uraian mengenai material, peralatan, tempat, jadwal, dan anggaran biaya untuk pelaksanaan pengkajian.

Data, sebagai bahan kajian, dapat berupa gabungan antara data primer dan sekunder. Data primer dipetik secara langsung memakai peralatan ukur di lapangan dan/ atau di laboratorium. Di lapangan, pemetikan data dapat dilakukan memakai kombinasi dari metode-metode sebagai berikut:

- a) pengamatan langsung melalui survey/observasi,
- b) pengukuran nilai parameter memakai peralatan ukur,
- c) pengambilan sampel material,
- d) wawancara,
- e) angket/ questioner, dan
- f) dokumentasi.

Pengukuran untuk pemetikan data primer di lapangan dan/ atau di laboratorium dapat dilakukan terhadap prototipe atau model fisik infrastruktur, atau pun terhadap sampel data yang diperoleh dari lapangan. Untuk keperluan itu, penetapan dan pemetikan data kadang harus dilakukan memakai metode sampel data dan perlu pula diuraikan dalam subbagian ini. Sedangkan data sekunder diperoleh dari instansi-instansi dan berbagai referensi terkait berupa hasil rekaman data selama kurun waktu tertentu oleh instansi terkait maupun hasil-hasil pengumpulan data dalam pengkajian terdahulu. Data sekunder telah tersedia di lapangan.

#### **4) Bahasan hasil**

Hasil-hasil analisis harus didasarkan pada data untuk menjawab ketepatan pemilihan alternatif solusi/penyelesaian permasalahan melalui alternatif solusi yang diusulkan berorientasi pada batasan masalah yang diasumsi dan hipotesis yang ditetapkan. Hasil-hasil dan tahap analisis dalam penyelesaian permasalahan tersebut harus dijabarkan secara deskriptif, rinci, dan urut serta sekaligus harus juga dibahas hingga mencapai pokok-pokok yang penting untuk ditarik sebagai simpul pengkajian. Presentasi hasil-hasil analisis perlu juga dilengkapi dengan visualisasi dalam bentuk diagram, grafik, atau bentuk lainnya sehingga dapat lebih mudah dan jelas untuk dipahami dan tidak menimbulkan bias persepsi di kalangan pembaca.

#### **5) Simpulan dan saran**

Hasil-hasil pengkajian harus diungkapkan pada Bab Simpulan dengan pernyataan-pernyataan singkat agar mudah dipahami dan tidak menimbulkan bias persepsi di kalangan pembaca. Demikian halnya, ungkapan saran/rekomendasi bilamana perlu dimuat secara jelas agar dapat digunakan sebagai dasar tindaklanjut harus juga dinyatakan secara singkat dalam laporan.

Pelaksanaan pengkajian sistem dan JIS kini telah banyak dilakukan dengan penerapan teknik komputasi untuk memperoleh hasil pengkajian lebih efektif dengan sumberdaya dan waktu lebih efisien. Dalam praktek pengkajian sistem dan JIS, kegiatan-kegiatan tersebut dilakukan untuk melakukan optimasi terhadap dimensi suatu konstruksi, baik menggunakan pendekatan teoritis, terapan, maupun empiris, baik dalam tahap penelitian maupun perancangan. Namun demikian, sesuai dengan tujuan pelaksanaan pengkajian, banyak juga di antara kegiatan optimasi tidak dilakukan dengan penerapan teknik komputasi melainkan hanya dilakukan secara manual memakai metode analitik atau eksperimen pengujian di laboratorium dalam berbagai variasi ukuran prototipe maupun model fisik.

Optimasi dimensi suatu konstruksi umumnya dilakukan memakai **metode simulasi**, yaitu serial pengujian secara simultan memakai prototipe, model, atau kombinasi model dan prototipe. Prototipe IS merupakan wujud suatu IS sesungguhnya. Sedangkan model IS merupakan tiruan suatu prototipe IS. Hingga kini, telah tersedia beberapa alternatif pilihan metode simulasi yang dapat digunakan untuk melakukan pengkajian sistem dan JIS. Metode-metode tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut.

### **1) Metode simulasi prototipe**

Suatu IS pada suatu sistem atau berupa JIS dapat dikaji untuk membandingkan unjuk kerja IS tersebut dalam berbagai kondisi sedemikian sehingga dapat dipilih dan ditetapkan suatu kondisi IS tersebut yang paling menguntungkan atau unjuk kerja paling handal untuk dioperasikan. Metode simulasi prototipe merupakan metode paling ideal dipilih karena biaya simulasi memakai prototipe-prototipe untuk memperoleh hasil perbandingan terbaik antar unjuk kerja IS mungkin dapat relatif efisien daripada hanya memakai model.



Metode simulasi prototipe dapat dilakukan dalam 2 alternatif pilihan metode yang lebih rinci yaitu:

- a) Metode riset kajian tindak untuk pengkajian secara langsung terhadap produk dan dampak yang timbul dalam simulasi strategi kedalam operasi prototipe sistem atau JIS di lapangan. Metode tersebut hanya efisien diterapkan pada IS atau JIS yang telah dioperasikan di lapangan.
- b) Metode pengujian prototipe suatu IS atau JIS di laboratorium/ studio untuk pengkajian secara langsung unjuk kerja prototipe tersebut. Metode ini umum dilakukan dalam bidang teknik, khususnya untuk peningkatan kualitas IS atau JIS yang telah ada atau pun untuk elemen IS atau JIS yang berukuran relatif kecil atau mini. Pemakaian metode pengujian prototipe akan memungkinkan prototipe hasil simulasi dapat langsung dioperasikan. Simulasi prototipe Sentonnes dapat diambil sebagai misal untuk suatu simulasi pengujian prototipe kusen beton sebagai elemen IS bangunan gedung. Dimensi efektif kusen tersebut dipilih dari varian prototipe yang dibuat dalam pengujian prototipe. Untuk mendapatkan informasi lebih detil mengenai pengujian prototipe elemen IS tersebut dapat dibaca lebih lanjut dalam publikasi [12].

## **2) Metode simulasi model**

Pengkajian suatu IS dapat dilakukan memakai pengujian model yang dibuat di laboratorium/ studio untuk mewakili suatu IS yang akan atau pun telah dibangun di lapangan. Metode simulasi model digunakan untuk tujuan samadengan metode simulasi prototipe dengan biaya relatif lebih murah. Metode simulasi model secara umum relatif lebih efisien digunakan daripada metode simulasi prototipe, apabila dibandingkan antara metode simulasi model terhadap metode simulasi prototipe. Dalam perkembangan pemakaian metode simulasi model untuk suatu IS, kini telah pula dikembangkan berbagai metode simulasi yang dapat dipilih sesuai

dengan keperluan dan tujuan pelaksanaan simulasi. Beberapa metode simulasi model yang telah dikenal hingga kini dapat dirinci sebagai berikut:

- a) **Simulasi model fisik** dilakukan memakai suatu model fisik yang mewakili prototipe IS. Model fisik dapat dibuat dalam berbagai variasi tipe meliputi:
- (1) model terskala,
  - (2) model terskala terdistorsi, dan
  - (3) model analog.

Model terskala dibuat dengan bentuk dan ukuran sebagai bentuk tiruan dari prototipe sehingga memiliki bentuk sama dengan prototipe dalam ukuran mini atau lebih besar. Model terskala terdistorsi dibuat dengan bentuk dan ukuran tidak samadengan dengan bentuk dan ukuran prototipe. Namun demikian, bentuk dan ukuran model dibuat sesuai dengan skala terhadap bentuk dan ukuran prototipe. Sedangkan model analog dibuat dengan bentuk dan ukuran dapat sama atau pun berlainan dengan prototipe, namun fenomena yang ada pada model mewakili fenomena yang ada pada prototipe. Di antara simulasi model fisik adalah simulasi model fisik peredaman tsunami sebagaimana dimuat dalam publikasi [13] dan [14].

- b) **Simulasi model matematik** dilakukan memakai persamaan-persamaan matematik dalam hukum-hukum dan teori-teori yang dipakai sebagai dasar analisis data. Prosedur hitungan matematik untuk penyelesaian problem aljabar, geometri, trigonometri, maupun kalkulus pada model dilakukan dalam suatu perangkat lunak tertentu, umumnya program aplikasi komputer. Simulasi model matematik relatif paling efektif dan efisien digunakan dalam penyelesaian permasalahan optimasi dimensi IS dan JIS, sebagai misal optimasi dimensi bendung oleh pengaruh seepage dalam publikasi [15].

- c) **Simulasi model hibrid** dilakukan memakai model hibrid IS yang dibuat sebagai gabungan antara simulasi model fisik dan simulasi model matematik yang telah diuraikan terdahulu.

### **3) Kombinasi metode simulasi model dan simulasi prototipe.**

Dalam praktek, aktivitas optimasi IS di laboratorium/ studio menunjukkan alokasi biaya yang relatif lebih hemat daripada metode pengkajian di lapangan. Simulasi model fisik atau matematik dalam beberapa kasus optimasi dimensi suatu IS harus dilakukan sebagai pilihan yang lebih menguntungkan dan efisien daripada memakai simulasi prototipe, khususnya dalam upaya mendapatkan persamaan matematik yang belum tersedia namun diperlukan. Namun, dapat dipahami, optimasi dimensi suatu IS melalui simulasi prototipe baik secara langsung di lapangan maupun di laboratorium berpeluang paling besar untuk menghasilkan prediksi operasi sistem paling memuaskan. Meskipun demikian, untuk dapat mencapai hasil pengkajian yang lebih memadai, tidak jarang pula kombinasi kedua metode optimasi IS tersebut dilakukan.

## **4.3 OPTIMASI SISTEM DAN JIS**

Tindak lanjut dari hasil ke-4 dari suatu kegiatan pengkajian sistem untuk pengembangan sistem dan JIS antara lain adalah perlu dilaksanakannya kegiatan "**optimasi sistem dan JIS**", yaitu kegiatan pengkajian secara lebih mendalam terhadap permasalahan pada sistem dan/atau JIS dengan tujuan utama untuk menghasilkan kualitas kinerja optimal sistem dan/atau JIS. Namun banyak pula dijumpai dalam praktek pengembangan sistem dan JIS bahwa kegiatan optimasi sistem dan/atau JIS harus disertai dengan kegiatan pengkajian sistem dan/atau JIS bersangkutan karena hasil-hasil pengkajian terdahulu belum tersedia secara memadai.

#### **4.3.1. Pokok-pokok Optimasi Sistem dan JIS**

Beberapa pokok yang perlu ditinjau dalam meningkatkan atau pun mengoptimalkan kinerja sistem melalui kegiatan optimasi sistem antara lain mencakup:

- 1) fakta kebutuhan masyarakat terhadap jumlah dan kualitas produk sistem;
- 2) data operasi sistem yang telah beroperasi;
- 3) dukungan sumberdaya sistem meliputi tenaga, bahan, peralatan, waktu, dan biaya;
- 4) dukungan IS.

Tinjauan terhadap beberapa aspek tersebut didasarkan pada hasil-hasil pengkajian sistem terdahulu (yang telah dilakukan), terutama pokok-pokok yang berkaitan dengan efektifitas dan efisiensi operasi sistem serta pencapaian/ realisasi rencana strategi sistem. Oleh karena itu, perlu ditegaskan bahwa apabila dokumen hasil-hasil pengkajian sistem terdahulu belum tersedia, maka dalam pelaksanaan optimasi sistem harus pula disertai dengan pelaksanaan pengkajian sistem.

Kegiatan optimasi sistem dan JIS dapat dilakukan baik dalam tahap perencanaan maupun operasi dan perawatan sistem dan JIS. Dalam tahap perencanaan, optimasi sistem dan JIS dilakukan untuk mendapatkan hasil perencanaan yang memuaskan, berupa sistem atau JIS dengan kinerja paling optimal di antara beberapa alternatif konfigurasi optimal sistem atau JIS yang mungkin dioperasikan. Untuk tujuan tersebut, dilakukan perbandingan terhadap beberapa alternatif konfigurasi sistem atau JIS dengan kondisi kinerja optimal yang mungkin dioperasikan. Sedangkan dalam tahap operasi dan perawatan sistem dan JIS, optimasi sistem dan JIS perlu dilakukan untuk pengukuran kinerja sistem dan JIS yang sedang dioperasikan sehingga kinerja sistem dan JIS dapat dipertahankan. Optimasi

Sistem dan JIS dapat juga digunakan untuk mempertahankan kinerja sistem atau JIS yang telah mencapai optimal agar sistem atau JIS tersebut dapat dioperasikan secara awet. Di samping itu, optimasi sistem dan JIS dapat juga dilakukan dalam tahap operasi dan perawatan sistem untuk tujuan pengembangan sistem dan JIS yang sedang dalam kondisi dioperasikan tersebut. Pengembangan sistem dan JIS dapat dilakukan dengan berbagai alternatif metode pengembangan berdasarkan pada peningkatan kebutuhan kinerja sistem dan JIS yang ditimbulkan oleh peningkatan aspek-aspek yang berpengaruh terhadap kinerja sistem.

Optimasi sistem dan JIS mutlak dilakukan dengan meninjau kinerja sistem baik pada saat ini maupun masa depan ketika suatu sistem telah beroperasi memenuhi tuntutan kebutuhan masyarakat. Oleh karena itu, kegiatan optimasi sistem dan JIS harus dilakukan menggunakan metode simulasi untuk dapat memperoleh gambaran terbaik operasi sistem dan JIS yang optimal di saat ini maupun masa depan.

Optimasi sistem dan JIS harus dilakukan sesuai dengan strategi pengembangan sistem yang telah dipilih dan ditetapkan untuk diujicobakan. Dalam konteks tersebut, lingkup kegiatan optimasi IS dan JIS perlu juga ditetapkan untuk dilakukan sejalan dengan strategi pengembangan sistem secara keseluruhan atau hanya cukup melalui pengembangan beberapa komponen dalam sistem maupun subsistem.

Dalam pengembangan sistem dan JIS, upaya optimasi IS dan JIS dapat dilakukan melalui beberapa alternatif pilihan penyelesaian permasalahan yang secara umum mencakup 3 (tiga) alternatif pilihan sebagai berikut:

- 1) peningkatan efisiensi JIS,
- 2) pengurangan kendala JIS,
- 3) pengurangan resiko JIS.

Alternatif pilihan penyelesaian permasalahan optimasi IS dan JIS tersebut dapat diuraikan secara lebih rinci sebagai berikut.

### **1) Peningkatan efisiensi JIS**

Optimasi IS dan JIS dapat dilakukan melalui peningkatan efisiensi IS dan JIS. Peningkatan efisiensi IS dan JIS dapat dicapai melalui reduksi beberapa komponen biaya dalam penyelenggaraan IS dan JIS, antara lain meliputi:

- a) biaya konstruksi,
- b) biaya operasi,
- c) biaya perawatan, dan
- d) biaya penelitian dan pengembangan.

Peningkatan efisiensi IS dan JIS dapat juga dicapai melalui reduksi waktu yang diperlukan dalam penyelenggaraan IS dan JIS, antara lain:

- a) waktu konstruksi
- b) waktu operasi
- c) waktu perawatan
- d) waktu evaluasi

### **2) Pengurangan Kendala JIS**

Optimasi IS dan JIS dapat juga dilakukan guna mencapai peningkatan kinerja IS dan JIS melalui beberapa cara untuk mereduksi kendala yang mungkin timbul dalam operasi IS dan JIS sebagai berikut:

- a) interkoneksi dan
- b) dependensi.

### **3) Pengurangan Resiko JIS**

Optimasi IS dan JIS dapat juga dilakukan melalui pengendalian terhadap beberapa kemungkinan penyebab resiko JIS, antara lain:

- a) bencana alam,
- b) kesalahan manusia, dan
- c) kelebihan beban operasi.

### **4.3.2. Metode Pelaksanaan Optimasi Sistem dan JIS**

Hingga saat ini, telah tersedia beberapa alternatif pilihan metode simulasi yang dapat digunakan untuk melakukan optimasi sistem dan JIS. Sebagian di antara metode-metode tersebut dapat dimasukkan kedalam kelas metode-metode eksak/analitik dan digunakan melalui pengkajian teoritis maupun terapan, antara lain: metode pemrograman linear dan simpleks. Beberapa metode analitik tersebut dapat digunakan untuk mensimulasikan prototipe IS atau JIS melalui kegiatan riset kajian tindak guna mencapai kinerja optimal untuk IS atau JIS yang belum maupun telah dioperasikan. Sebagian lain di antara metode-metode simulasi termasuk dalam kelas metode empiris yang digunakan juga untuk mensimulasikan prototipe IS atau JIS melalui kegiatan metode simulasi pengujian prototipe guna mencapai kinerja optimal untuk IS atau JIS yang belum maupun telah dioperasikan. Metode simulasi model fisik guna mencapai kinerja optimal untuk IS atau JIS digolongkan pula kedalam kelas metode empiris, sebagaimana metode simulasi pengujian prototipe. Di samping itu, sebagian lain di antara metode-metode simulasi dimasukkan kedalam metode pendekatan/numeris yang umum digunakan untuk melakukan simulasi model matematik, antara lain metode pemrograman dinamik yang dalam banyak kasus dapat juga digolongkan kedalam kelas metode analitik. Berbagai metode yang telah disebutkan umumnya digunakan untuk mendapatkan dimensi efektif atau optimal yang lebih lanjut menghasilkan biaya konstruksi minimal untuk IS atau JIS.

Metode pemrograman linear, simpleks, dan pemrograman dinamik tidak hanya dapat digunakan untuk mendapatkan dimensi efektif dan optimal serta biaya konstruksi minimal, tetapi sekaligus dapat juga digunakan untuk melakukan optimasi sistem atau JIS. Penggunaan ketiga metode tersebut dalam optimasi sistem atau JIS adalah untuk mendapatkan keuntungan maksimal dengan biaya

konstruksi, operasi, dan perawatan, serta biaya penelitian maupun pengembangan minimal untuk IS atau JIS, di samping dapat juga digunakan untuk mereduksi kendala maupun resiko dalam O & P IS atau JIS.





## **OPTIMASI SISTEM DAN JIS LINEAR**

Penerapan matematika di bidang teknik makin berkembang pesat sejalan dengan makin berkembangnya pemakaian sistem dalam berbagai pemecahan permasalahan di bidang teknik. Penyelesaian permasalahan optimasi sistem yang telah berlangsung sejak lama dilakukan memakai kalkulus, setelah tahun 1947 mulai berkembang memakai Metode Pemrograman Linear [6] dan [7]. Pada selang beberapa waktu selanjutnya, sekitar tahun 1950, berkembang pesat pula pemakaian Metode Pemrograman Dinamik sejak mulai dikembangkan metode penyelesaian permasalahan-permasalahan sistem-sistem nonlinear. Kemudian pada selang waktu selanjutnya kuranglebih sejak tahun 1962 mulai berkembang pula pemakaian Metode Simpleks, terutama untuk dapat memanfaatkan pemakaian matrix dalam penyelesaian permasalahan optimasi sistem linear. Sementara itu, dalam beberapa waktu

kemudian telah pula mulai dikembangkan metode simulasi model untuk sarana pengkajian sistem, umumnya dilakukan memakai model fisik dan analog. Pemakaian lanjut metode-metode tersebut sangat didukung perkembangan teknologi di bidang komputasi yang sangat pesat sejak 1986, baik dalam perkembangan perangkat keras maupun perangkat lunak. Sejalan perkembangan teori-teori di bidang teknik, berkembang pula metode numeris untuk analisis permasalahan-permasalahan sistem nonlinear yang hanya mungkin diselesaikan memakai komputer. Perkembangan aplikasi komputer untuk simulasi model maupun prototipe yang makin pesat dalam selang beberapa waktu kemudian memunculkan model maupun prototipe hibrid yang hingga kini makin terus menarik untuk dikembangkan.

Dalam pengkajian suatu sistem, baik memakai prototipe maupun model, di lapangan maupun di laboratorium / studio, kajian teknis sangat penting dikaitkan dengan sifat linear dan nonlinear sistem berdasarkan pada hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan. Kajian demikian umumnya dinyatakan sebagai kajian sistem linear atau pun kajian sistem nonlinear. Karena itu, tipe sistem linear dan nonlinear sangat penting di bidang teknik.

Dalam pengkajian suatu JIS, di antara tipe-tipe sistem lainnya, tipe sistem linear dan nonlinear sangat penting dipakai sudut pandang dalam kajian teknis. Pengkajian tersebut juga dapat dilakukan baik memakai prototipe maupun model, di lapangan maupun di laboratorium / studio. Karena itu, di samping diperlukan penguasaan hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan dengan sistem yang ditinjau, diperlukan pula penguasaan matematika dan metode-metode penyelesaian permasalahan-permasalahan matematika dengan komputer.

Dalam bab ini, uraian tentang optimasi JIS akan dikhususkan untuk menjabarkan tipe sistem linear. Sedangkan optimasi sistem nonlinear akan diuraikan lebih lanjut dalam bab berikutnya.

### 5.1 PERNYATAAN MATEMATIS OPTIMASI SISTEM DAN JIS LINEAR

Pengelompokan suatu sistem kedalam kelas sistem linear didasarkan pada sifat-sifat dan perilaku sistem yang menunjukkan kesesuaian dengan sifat-sifat dan perilaku linear pada suatu persamaan matematika. Dalam matematika, suatu persamaan linear memiliki sifat bahwa variabel terikat persamaan berbanding lurus dengan variabel bebasnya, dinyatakan secara matematik:

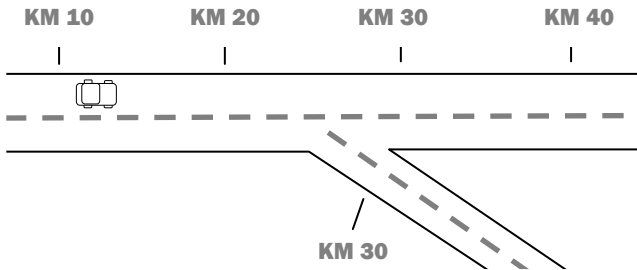
$$y = ax + b \quad \dots\dots (5.1)$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat,  $x$  adalah variabel bebas, dan  $a$  serta  $b$  adalah konstanta. Persamaan (5.1) berbentuk garis lurus dengan gradien kemiringan garis terhadap sumbu horisontal adalah  $tg a$ .

Fenomena sistem linear dapat dipelajari dari fenomena gerak lurus beraturan suatu kendaraan di atas suatu jalan raya. Dalam konteks kinetika, umumnya ditinjau dalam bidang teknik mesin dan sipil, sistem linear dapat diamati pada kendaraan yang bergerak tersebut. Apabila ditetapkan  $y$  adalah jarak gerak kendaraan yang umum diberi simbol  $S$  (km),  $a$  adalah kecepatan gerak kendaraan yang umum diberi simbol  $v$  (km/jam),  $b$  adalah posisi mula-mula kendaraan (km), dan  $x$  adalah selang waktu gerak yang umum pula dinyatakan dengan simbol  $t$  (jam), maka kendaraan tersebut akan bergerak sejauh 4 km setelah kendaraan bergerak selama 60 menit dengan kecepatan gerak 4 km/jam. Kendaraan tersebut akan sampai pada stasiun pada KM 14, jika posisi kendaraan semula berada pada KM 10. Kendaraan tersebut bergerak linear sehingga memungkinkan berada pada KM 18 jika bergerak selama 120 menit. Demikian pula akan sampai pada KM 26 jika kendaraan bergerak selama 240 menit. Dalam konteks IS, umum pula ditinjau di bidang teknik mesin dan sipil, panjang minimal jalan yang dilalui adalah 16 km, meskipun panjang minimal jalan yang harus tersedia adalah 26 km. Dalam uraian tentang sistem linear tersebut, konteks/lingkup permasalahan sistem sangat penting, yaitu IS.

Sifat-sifat dan perilaku linear untuk JIS dapat dianalogikan dengan perilaku linear pada IS. Berdasar pernyataan tersebut, dalam konteks gerak lurus beraturan, sebagai IS, jalan raya dapat dipelajari atau ditinjau dalam konteks JIS linear. Sesuai dengan konteks sistem linear, JIS lainnya dapat ditinjau sebagai JIS linear.

Optimasi sistem untuk IS atau JIS dalam sistem gerak lurus beraturan suatu kendaraan sangat sederhana. Apabila operasi JIS tersebut dinyatakan dapat beroperasi optimal dalam selang waktu kurang dari atau samadengan 120 menit, maka panjang jalan optimal untuk gerak kendaraan tersebut adalah 8 km, dalam posisi antara antara KM 10 hingga KM 18. Sedangkan panjang jalan selebihnya dapat dinyatakan tidak beroperasi optimal.



Gambar 5.1 JIS TD Jalan

Dalam praktek, kondisi optimal untuk IS atau JIS umumnya dipilih dari 2 atau lebih alternatif nilai optimal dari hasil perhitungan guna mendapatkan kondisi paling optimal yang diharapkan. Dalam fenomena operasi JIS, panjang optimal jalan sepanjang 8 km merupakan suatu nilai optimal hasil perhitungan dengan kondisi batas selang waktu kurang dari atau samadengan 120 menit. Diperlukan satu nilai optimal lain, untuk dapat dilakukan pemilihan kondisi paling optimal.

Operasi sistem atau JIS, dapat dinyatakan dengan pernyataan matematik linear dalam kondisi optimal pada suatu kondisi batas tertentu. "**Persamaan atau pertidaksamaan matematik**" merupakan pernyataan matematik pada sistem atau JIS untuk mengekspresikan proses pada sistem atau JIS. "**Kondisi batas**" atau "**syarat batas**" merupakan kondisi untuk batas atau syarat tertentu pada suatu proses dalam sistem, misalnya nilai kinerja operasi sistem adalah nilai 100% untuk kinerja maksimal dan untuk 60% – 90% nilai kinerja optimal.

Kondisi batas untuk suatu proses pada sistem atau JIS dapat dinyatakan memakai pernyataan matematik. Pernyataan matematik untuk kondisi batas pada sistem atau JIS dapat berupa suatu atau beberapa persamaan atau pertidaksamaan linear sebagaimana Persamaan (5.1).

## **5.2 METODE PEMROGRAMAN LINEAR**

Berdasarkan pada sejarah perkembangan matematika, 1947, Metode Program Linear dapat dinyatakan sebagai awal dari upaya-upaya simulasi model matematik untuk mempelajari proses yang terjadi di alam semesta.

**Metode Program Linear** (MPL) merupakan satu di antara metode yang cukup handal digunakan untuk melakukan optimasi sistem. Metode tersebut termasuk dalam katagori **metode analitik** berbasis **persamaan linear**.

Pada optimasi permasalahan-permasalahan sistem sederhana, misalkan permasalahan optimasi suatu sistem dengan 2 parameter pada 4 subsistem, prosedur hitungan dalam pemakaian Metode Program Linear relatif mudah karena dapat dilakukan dengan cara grafis atau pun dengan alat bantu hitung tidak bermesin. Namun demikian, sejalan pesatnya perkembangan teknik komputasi, aplikasi metode ini dengan perlatan komputer dapat sangat efektif digunakan untuk menyelesaikan permasalahan kompleks.

Pemakaian MPL dalam penyelesaian permasalahan optimasi dilakukan dengan langkah melakukan transformasi permasalahan nyata pada proses yang terjadi di alam semesta (sistem) kedalam bentuk persamaan matematik linear sebagai teknik penyelesaian permasalahan dan menyusun algoritma untuk dapat diselesaikan memakai peralatan komputer.

Dalam bagian ini, pemakaian MPL akan dijabarkan lebih detil mulai dari persamaan matematik, prosedur hitungan, analisis sensitivitas, dan beberapa aplikasi program linear untuk penyelesaian kasus permasalahan dengan 2 variabel masukan. Permasalahan yang dipakai sebagai bahasan relatif sederhana dengan harapan akan lebih mudah dipelajari dan dipahami.

### 5.2.1. Persamaan Matematik

Dalam MPL, persamaan matematik untuk menyelesaikan permasalahan disusun dari persamaan sebagai **fungsi obyektif** dan beberapa pertidaksamaan matematik sebagai satu kesatuan **fungsi-fungsi kendala** sebagai berikut.

$$\text{Maksimal } \pi = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (\text{fungsi obyektif}) \quad \dots\dots (5.2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_j \quad (\text{fungsi-fungsi kendala}) \quad \dots\dots (5.3)$$

dengan:

- $\pi$  : nilai keuntungan maksimal
- $x_j$  : nilai variabel  $x$  ke- $j$ ,  $x_j \geq 0$
- $a_{ij}$  : konstanta,  $a_{ij} \geq 0$
- $b_j$  : konstanta,  $b_j \geq 0$
- $c_j$  : konstanta,  $c_j \geq 0$
- $i$  : index variabel,  $i = 1, 2, 3, \dots n$
- $j$  : index variabel,  $j = 1, 2, 3, \dots m$ .

MPL dapat bermanfaat untuk mengoptimalkan kinerja sistem dengan mengoptimalkan kinerja sub-sistem yang bersifat linear dalam sistem. Dalam pemakaian metode, baik sistem maupun sub-sistem yang akan dioptimalkan untuk meningkatkan kinerja sistem harus bersifat linear atau diasumsi bersifat linear.

Optimalisasi sistem memakai MPL dapat dilakukan dalam beberapa alternatif strategi pemecahan permasalahan. Alternatif pilihan strategi penyelesaian permasalahan tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Meningkatkan keuntungan atau produktivitas hingga optimal dengan memaksimalkan fungsi obyektif sistem dan/ atau pun sub-sistem.
- 2) Menurunkan kerugian atau resiko atau defisit atau pun penyusutan hingga optimal dengan meminimalkan fungsi obyektif sistem dan/ atau pun sub-sistem.
- 3) Mengkombinasikan 2 cara pendekatan terdahulu melalui 2 tahap optimasi tersebut.

Penyelesaian persamaan-persamaan matematik dalam MPL diperoleh melalui prosedur hitungan sebagai berikut:

- 1) Menetapkan konstanta-konstanta yang terkandung dalam persamaan-persamaan matematik MPL,  $a_{ij}$ ,  $b_j$ , dan  $c_j$  adalah konstanta-konstanta bernilai positif yang telah diketahui nilainya.
- 2) Menetapkan suatu fungsi obyektif yang sesuai dengan permasalahan yang akan diselesaikan, guna memaksimalkan keuntungan sistem atau menurunkan kerugian sistem.
- 3) Mencari nilai  $x_j$  yang memenuhi semua pertidaksamaan dalam fungsi kendala dengan memaksimalkan nilai pada fungsi obyektif.

Penyelesaian persamaan matematik dalam MPL dapat juga diperoleh menggunakan **metode grafis** dengan prosedur penyelesaian sebagai berikut:

- 1) Menetapkan konstanta-konstanta dalam persamaan MPL, baik  $a_{ij}$ ,  $b_j$ , dan  $c_j$ .
- 2) Menetapkan fungsi obyektif yang sesuai dengan masalah yang akan diselesaikan, memaksimalkan produk sistem atau menurunkan resiko sistem.
- 3) Gambar pertidaksamaan pertama dalam fungsi-fungsi kendala pada salib sumbu koordinat dengan sumbu absis dan ordinat secara berurutan adalah parameter-parameter dalam permasalahan matematik.
- 4) Berikan arsiran daerah yang memenuhi nilai  $x_j$ , yang disebut dengan zone kelayakan nilai  $x_j$ .
- 5) Melakukan langkah 1 dan 2 secara berurutan untuk semua pertidaksamaan yang masih tersisa pada fungsi kendala.
- 6) Gambarkan persamaan pada fungsi obyektif pada salib sumbu koordinat.
- 7) Mencari nilai  $x_j$  yang berada pada titik perpotongan antara persamaan pada fungsi obyektif yang memenuhi semua zone kelayakan dari semua pertidaksamaan dalam fungsi kendala.

### 5.2.2. Analisis Sensitivitas

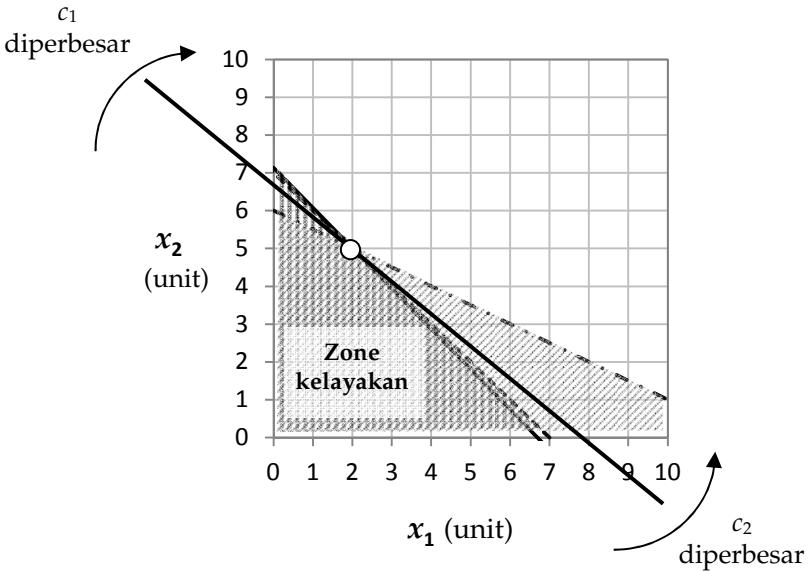
Efektifitas komputasi perhitungan dalam penggunaan Metode Program Linear dapat ditingkatkan dengan meninjau sensitivitas suatu variabel terhadap variabel lainnya di dalam sistem. Variabel-variabel dalam sistem dinyatakan dengan simbol  $x_j$  dengan index variabel  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ . Bobot masing-masing variabel diberikan pada konstanta  $a_{ij}$  dan  $c_j$ , dengan index variabel  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  dan  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ . Analisis sensitivitas dilakukan melalui penetapan nilai-nilai konstanta  $c_j$  yang paling tepat untuk variabel-variabel yang digunakan di dalam sistem.



Penetapan nilai-nilai konstanta  $c_j$  berpedoman pada prinsip efektifitas fungsi obyektif untuk sistem yang dikaji. Nilai-nilai konstanta  $c_j$  dipilih secara coba banding sedemikian sehingga diperoleh rasio antar variabel sistem paling proporsional untuk persamaan fungsi obyektif. Dalam konteks tersebut, fungsi obyektif memiliki batasan fungsi sesuai dengan zone kelayakan sistem berdasarkan pada fungsi-fungsi kendala. Pada kasus optimasi sistem dengan 2 variabel sebagai misal, sensitivitas variabel  $x_1$  dan  $x_2$  dalam sistem dipengaruhi nilai konstanta  $c_1$  dan  $c_2$  dalam fungsi obyektif:

$$\text{Maksimal/ Minimal} = c_1x_1 + c_2x_2 \quad \dots\dots (5.4)$$

Nilai-nilai untuk konstanta  $c_1$  dan  $c_2$  dapat dinyatakan dengan suatu **rasio konstanta**  $c_2/c_1 = 1$  sehingga **rasio variabel**  $x_1/x_2 = 1$ , menunjukkan proporsi  $x_1$  dan  $x_2$  setimbang di dalam sistem. Variabel  $x_1$  tidak lebih berpengaruh daripada  $x_2$  dengan rasio 50 % : 50 %.



Gambar 5.2 Sensitivitas Variabel pada Zone Kelayakan Sistem

Peningkatan nilai konstanta  $c_1$  akan menurunkan pengaruh variabel  $x_1$ , tetapi meningkatkan pengaruh variabel  $x_2$ . Pengaruh peningkatan nilai konstanta  $c_1$  terhadap variabel  $x_1$  dan  $x_2$  tersebut akan meningkatkan rasio konstanta  $c_2/c_1 < 1$  sehingga rasio variabel  $x_1/x_2 > 1$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa variabel  $x_2$  makin lebih berpengaruh daripada variabel  $x_1$  di dalam sistem, atau proporsi  $x_1$  di dalam sistem makin kurang dari 50% dan proporsi  $x_2$  di dalam sistem makin lebih dari 50%.

Peningkatan nilai konstanta  $c_1$  tersebut secara grafis akan tampak disertai perputaran searah jarum jam pada fungsi obyektif dengan nilai optimal variabel  $x_1$  dan  $x_2$  tetap, lihat Gambar 5.2. Dalam konteks ini, seorang insinyur dituntut untuk dapat bersikap hati-hati dalam menetapkan fungsi obyektif yang akan digunakan untuk mengoptimalkan kinerja sistem, antara lain diperlukannya perhatian khusus terhadap batas-batas kapasitas sub-subsistem yang dinyatakan dalam fungsi-fungsi kendala. Sikap hati-hati diperlukan pula dalam penetapan setiap konstanta  $a_{ij}$  pada fungsi-fungsi kendala sub-subsistem di dalam sistem, yang penting dilakukan dengan berpedoman pada prinsip efektifitas dan efisiensi kinerja sub-subsistem.

Pemakaian Metode Program Linear diuraikan pula dengan beberapa penyelesaian permasalahan/kasus optimasi sistem dengan 2 variabel pada setiap subsistem. Dalam kajian pada buku ini, konstanta  $c_j$  pada fungsi obyektif maupun konstanta  $a_{ij}$  dan  $b_j$  pada fungsi kendala telah diketahui nilainya. Dalam praktek di lapangan, nilai konstanta-konstanta tersebut perlu dicari berdasarkan pada data operasi sistem atau rencana operasi sistem yang akan dilaksanakan. Penetapan nilai konstanta-konstanta yang sesuai/tepat akan menghasilkan kinerja sistem yang paling optimal dengan mempertimbangkan sensitivitas variabel-variabel terpakai melalui prosedur analisis sensitivitas.

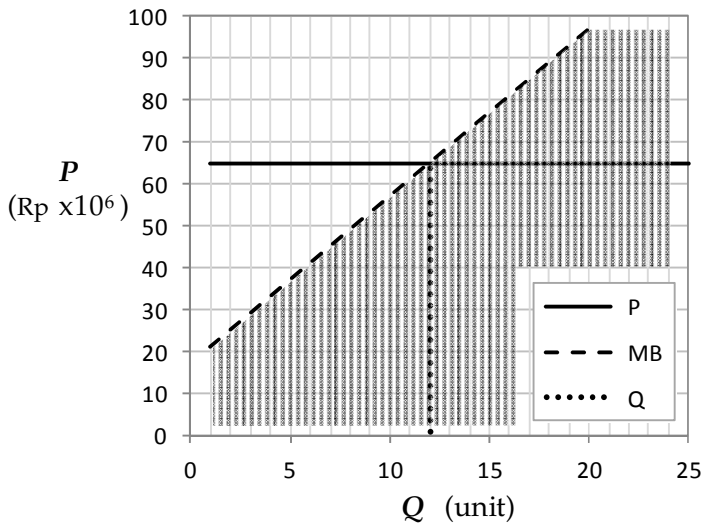
**Penyelesaian kasus 5.1**

Dalam fenomena operasi JIS TD Jalan yang telah diuraikan terdahulu dalam Subbab 5.1, di mana operasi JIS tersebut dinyatakan dapat beroperasi optimal dalam selang waktu kurang dari atau samadengan 120 menit dengan panjang jalan optimal untuk gerak kendaraan sepanjang 8 km, kondisi batas sistem dapat dirubah kedalam bentuk persamaan matematik untuk margin harga kontrak pekerjaan pengecatan marka jalan, dinyatakan secara matematik:

$$\text{Maksimal } P = 65 \times 10^6 \text{ rupiah}$$

$$\text{Kendala : } P \leq 4Q + 17$$

Zone kelayakan sistem untuk optimasi JIS jalan raya tersebut dimuat dalam Gambar 5.3. Penyelesaian optimasi sistem tersebut secara grafis mendapatkan nilai  $Q = 12$  unit pile cat marka jalan.



Gambar 5.3 Zone Kelayakan Sistem

**Penyelesaian kasus 5.2**

Suatu laboratorium telah dibangun dengan kelengkapan 4 ruang pengujian model fisik dan 3 ruang studio. Berdasar operasi gedung dalam setahun, 3 di antara ruang pengujian model fisik dan dan 2 ruang studio belum dioperasikan. Dalam selang waktu tersebut, dioperasikan beberapa peralatan utama dan peralatan pendukung pada laboratorium dengan keuntungan bersih operasi dalam formulasi persamaan berikut:

$$\text{Ruang pengujian model fisik} : x_1 + 2 x_2 \leq 12 \text{ (juta Rp) dan}$$

$$\text{Ruang studio} : x_1 + x_2 \leq 7 \text{ (juta Rp)}$$

dengan:

$$x_1 \text{ adalah jumlah unit peralatan utama, } x_1 > 0$$

$$x_2 \text{ adalah jumlah unit peralatan pendukung, } x_2 > 0$$

Sedangkan keuntungan pemakaian ruang pengujian model fisik dan ruang studio laboratorium dapat diformulasikan dengan persamaan:

$$\text{Keuntungan} = 1,4 x_1 + 1,5 x_2 \text{ (juta Rp) /Bulan}$$

Dalam operasi pemakaian ruang pengujian model fisik dan ruang studio pada laboratorium tersebut, perlu diketahui berapa jumlah peralatan utama dan pendukung yang paling optimal untuk masing-masing ruang dalam laboratorium.

**Jawab:**

Nilai  $x_1$  dan  $x_2$  diperoleh dari 2 pertidaksamaan pada fungsi-fungsi kendala memakai metode substitusi sebagai berikut:

$$x_1 + 2 x_2 \leq 12 \quad \dots\dots (5.5)$$

$$x_1 + x_2 \leq 7 \quad \dots\dots (5.6)$$

Pertidaksamaan 5.6 diubah menjadi persamaan:

$$x_1 + x_2 = 7 \quad , \quad \text{maka:}$$

$$x_2 = 7 - x_1 \quad \dots\dots (5.7)$$

Pertidaksamaan 5.5 diubah menjadi persamaan:

$$x_1 + 2x_2 = 12 \quad \dots\dots (5.8)$$

Substitusi variabel  $x_2$  dalam Persamaan 5.7 kedalam Persamaan 5.8 diperoleh persamaan:

$$x_1 + 2(7 - x_1) = 12$$

sehingga didapat:

$$x_1 = 2$$

Substitusi variabel  $x_1$  tersebut kedalam Persamaan 5.7 sehingga diperoleh persamaan:

$$x_2 = 7 - 2 \quad ,$$

maka:

$$x_2 = 5$$

Dengan demikian diperoleh nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$ .

Sistem pemakaian ruang laboratorium dapat dioptimalkan dengan memaksimalkan nilai keuntungan pemakaian ruang laboratorium. Untuk itu, nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$  dimasukkan kedalam fungsi obyektif:

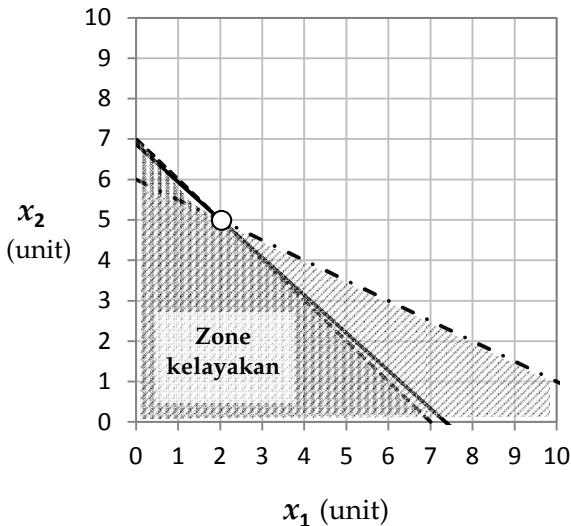
$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= 1,4x_1 + 1,5x_2 \\ &= 1,4 \cdot 2 + 1,5 \cdot 5 \\ &= 10,30 \text{ (juta Rp) /bulan} \end{aligned}$$

Jadi, berdasar pada hasil perhitungan optimasi yang telah dilakukan dapat direkomendasikan bahwa:

“sistem pemakaian ruang pengujian model fisik dan studio di laboratorium dapat dioptimalkan untuk mencapai nilai keuntungan Rp 10,30 juta per bulan dengan komposisi jumlah peralatan utama 2 unit dan jumlah peralatan pendukung 5 unit pada setiap ruang.”

**Penyelesaian kasus 5.3**

Untuk mendapatkan nilai  $x_1$  dan  $x_2$  dapat juga dilakukan dengan cara grafis dengan langkah menggambarkan fungsi kendala dan fungsi obyektif pada salib sumbu koordinat dengan sumbu absis  $x_1$  adalah jumlah peralatan utama dan ordinat  $x_2$  adalah jumlah peralatan pendukung secara berurutan.



Gambar 5.4 Zone Kelayakan Sistem 1 - 1

Dapat dicermati dalam Gambar 5.4 Zone Kelayakan Sistem 1–1, sistem pemakaian laboratorium dengan 1 ruang pengujian model fisik dan 1 ruang studio, fungsi obyektif untuk zone kelayakan berdasar fungsi kendala mencapai nilai maksimal untuk nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$ . Dua nilai variabel tersebut dimasukkan kedalam fungsi obyektif, maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Keuntungan} &= 1,4 x_1 + 1,5 x_2 \\
 &= 1,4 \cdot 2 + 1,5 \cdot 5 \\
 &= 10,30 \text{ (juta Rp) /Bulan}
 \end{aligned}$$

Jadi simpulan yang dapat direkomendasikan adalah samadengan yang dihasilkan dari perhitungan analitik, bahwa:

“sistem pemakaian ruang pengujian model fisik dan ruang studio laboratorium dapat dioptimalkan untuk mencapai nilai keuntungan Rp 10,30 juta per bulan dengan komposisi jumlah peralatan utama 2 unit dan jumlah peralatan pendukung 5 unit pada setiap ruang.”

#### **Penyelesaian kasus 5.4**

Pada laboratorium sebagaimana dalam Penyelesaian kasus 5.2, apabila pada tahun pertama operasi laboratorium tersebut dari sejumlah 4 ruang pengujian model fisik telah dapat kontinyu diaktifkan 2 ruang dan dari sejumlah 3 ruang studio dapat juga diaktifkan 2 ruang, sehingga dapat diformulasikan fungsi-fungsi kendala sistem dalam rangkaian pertidaksamaan berikut ini:

$$\text{Ruang pengujian 1 [8x12 m}^2\text{]} : x_1 + 2 x_2 \leq 12 \text{ (juta Rp),}$$

$$\text{Ruang studio 1 [4x6 m}^2\text{]} : x_1 + x_2 \leq 7 \text{ (juta Rp),}$$

$$\text{Ruang pengujian 2 [8x15 m}^2\text{]} : x_1 + x_2 \geq 3 \text{ (juta Rp),}$$

$$\text{Ruang studio 2 [3x4 m}^2\text{]} : x_1 + 2 x_2 \geq 3 \text{ (juta Rp).}$$

dengan:

$$x_1 \text{ adalah jumlah unit peralatan utama, } x_1 > 0$$

$$x_2 \text{ adalah jumlah unit peralatan pendukung, } x_2 > 0.$$

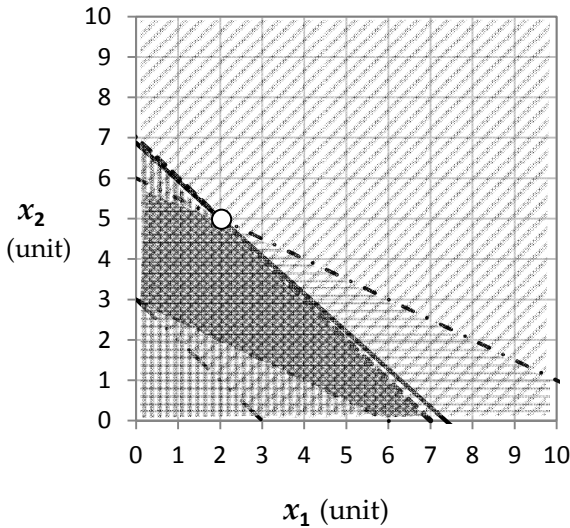
Fungsi obyektif samadengan dalam Penyelesaian kasus 5.2. Berapakah nilai  $x_1$  dan  $x_2$  paling optimal dan keuntungan maksimal sistem.

**Jawab:**

Permasalahan optimasi sistem pemakaian ruang pengujian model fisik dan ruang studio laboratorium dalam kasus ini masih relatif sederhana sehingga dapat diselesaikan memakai cara grafis. Oleh karena itu, nilai  $x_1$  dan  $x_2$  paling optimal didapat memakai cara grafis sebagaimana dalam Gambar 5.5 berikut.

Berdasar perhitungan grafis, didapat kondisi sistem optimal dalam zone kelayakan pada nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$ . Nilai-nilai variabel tersebut dimasukkan kedalam persamaan keuntungan sehingga didapat:

$$\begin{aligned} \text{Keuntungan} &= 1,4 x_1 + 1,5 x_2 \\ &= 1,4 \cdot 2 + 1,5 \cdot 5 \\ &= 10,30 \text{ (juta Rp) /Bulan} \end{aligned}$$



Gambar 5.5 Zone Kelayakan Sistem 2 - 2

Jadi, simpulan yang dapat direkomendasikan adalah:

“Sistem pemakaian ruang dan peralatan laboratorium dapat dioptimalkan untuk mencapai nilai keuntungan Rp 10,30 juta per bulan dengan komposisi jumlah peralatan utama 2 unit dan jumlah peralatan pendukung 5 unit pada masing-masing ruang.”



Bahan Diskusi:

- 1/ Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan dalam Penyelesaian kasus 5.2, bagaimana upaya yang harus dilakukan agar penambahan 1 ruang pengujian model fisik dan 1 ruang studio beserta peralatannya dapat meningkatkan kinerja sistem laboratorium?
- 2/ Bagaimana pandangan pembaca terhadap perbandingan antara pemakaian cara analitik dan cara grafis dalam 3 contoh latihan terdahulu?
- 3/ Bagaimana pula perbandingan antara pemakaian cara analitik dan cara grafis dalam contoh-contoh yang diuraikan di halaman selanjutnya?

**Penyelesaian kasus 5.5**

Permasalahan optimasi sistem dalam contoh ini masih dalam konteks optimasi operasi laboratorium mirip dengan Penyelesaian kasus 5.2 hingga Penyelesaian kasus 5.4, namun pada tahun pertama dalam operasi laboratorium tersebut dari sejumlah 4 ruang pengujian model fisik telah dapat diaktifkan 2 ruang dan dari sejumlah 3 ruang studio dapat juga diaktifkan 2 ruang.

Operasi masing-masing ruang tersebut berfungsi sebagai suatu subsistem yang bersifat independen terhadap subsistem lainnya.

Fungsi-fungsi kendala masing-masing ruang pada laboratorium tersebut dapat diformulasikan dalam bentuk suatu rangkaian pertidaksamaan berikut ini:

$$\text{Ruang pengujian 1 [8x12 m}^2\text{]} : x_1 + 2 x_2 \leq 12 \text{ (juta Rp),}$$

$$\text{Ruang pengujian 2 [8x15 m}^2\text{]} : x_1 + x_2 \leq 7 \text{ (juta Rp),}$$

$$\text{Ruang studio 1 [4x6 m}^2\text{]} : x_1 + x_2 \geq 3 \text{ (juta Rp),}$$

$$\text{Ruang studio 2 [3x4 m}^2\text{]} : 4 x_1 + 2 x_2 \leq 20 \text{ (juta Rp).}$$

dengan:

$x_1$  adalah jumlah unit peralatan utama,  $x_1 > 0$

$x_2$  adalah jumlah unit peralatan pendukung,  $x_2 > 0$ .

Berapakah nilai  $x_1$  dan  $x_2$  paling optimal dan keuntungan maksimal sistem, jika fungsi obyektif pada sistem sebagai berikut.

$$\text{Keuntungan} = 1,5 x_1 + 1,5 x_2 \quad (\text{juta Rp}) / \text{Bulan}$$

Jawab:

Permasalahan optimasi sistem pemakaian ruang laboratorium dalam contoh kasus ini diselesaikan memakai metode substitusi. Namun demikian, grafik dalam Gambar 5.6 diperlukan untuk memperjelas adanya **solusi ganda** untuk keadaan **rasio variabel**  $x_1/x_2 = 1$  pada fungsi obyektif.

Pertidaksamaan-pertidaksamaan pada fungsi-fungsi kendala adalah sebagai berikut:

$$x_1 + 2x_2 \leq 12 \quad \dots\dots (5.9)$$

$$x_1 + x_2 \leq 7 \quad \dots\dots (5.10)$$

$$x_1 + x_2 \geq 3 \quad \dots\dots (5.11)$$

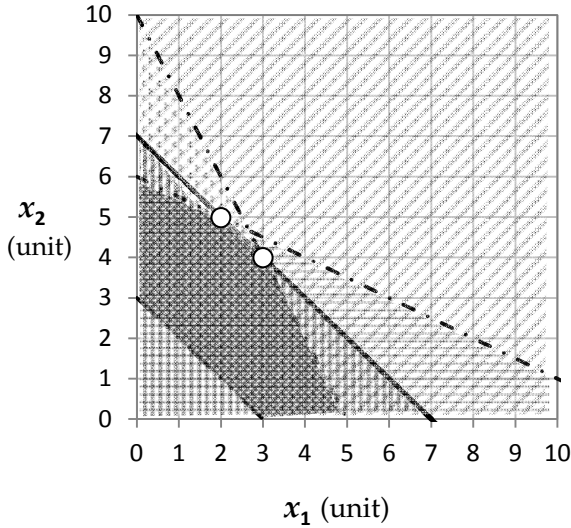
$$4x_1 + 2x_2 \leq 20 \quad \dots\dots (5.12)$$

Pertidaksamaan 5.9 dan Pertidaksamaan 5.10 diselesaikan memakai metode substitusi untuk mendapatkan hasil nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$  sebagaimana diuraikan dalam Penyelesaian kasus 5.2.

Metode substitusi dipakai untuk menyelesaikan permasalahan matematik antara Pertidaksamaan 5.11 dan Pertidaksamaan 5.12 sebagai berikut. Pertidaksamaan 5.10 diubah menjadi persamaan:

$$x_1 + x_2 = 3 \quad , \text{ maka:}$$

$$x_2 = 3 - x_1 \quad \dots\dots (5.13)$$



Gambar 5.6 Solusi Ganda Zone Kelayakan Sistem 2 - 2

Pertidaksamaan 5.9 dapat dinyatakan menjadi persamaan:

$$x_1 + 2x_2 = 12 \quad \dots\dots (5.14)$$

Substitusi  $x_2$  dalam Persamaan 5.13 kedalam Persamaan 5.14 maka:

$$x_1 + 2(3 - x_1) = 12$$

sehingga didapat:

$$x_1 = -6 \quad \dots\dots (5.15)$$

Oleh karena disyaratkan  $x_1 > 0$ , maka nilai  $x_1$  tersebut bukan solusi yang dicari sehingga proses substitusi diabaikan.

Pertidaksamaan 5.9 dan Pertidaksamaan 5.12 diselesaikan secara substitusi, maka Persamaan 5.14 diubah menjadi persamaan:

$$x_1 = 12 - 2x_2 \quad \dots\dots (5.16)$$

Pertidaksamaan 5.12 diubah menjadi persamaan:

$$4 x_1 + 2 x_2 = 20 \quad \dots\dots (5.17)$$

Substitusi  $x_1$  dalam Persamaan 5.16 kedalam Persamaan 5.17 diperoleh persamaan:

$$4 (12 - 2 x_2) + 2 x_2 = 20$$

sehingga didapat:

$$x_2 = 4,6667$$

Substitusi  $x_2$  kedalam Persamaan 5.16 sehingga diperoleh:

$$x_1 = 12 - 2 \cdot 4,6667 \text{ maka}$$

$$x_1 = 2,6667$$

Nilai  $x_1 = 2,6667$  dan  $x_2 = 4,6667$  diujikan terhadap fungsi kendala pada Pertidaksamaan 5.10 sebagai berikut:

$$x_1 + x_2 \leq 7$$

$$2,6667 + 4,6667 > 7$$

$$7,3333 > 7$$

Maka nilai  $x_1$  dan  $x_2$  tersebut bukan solusi yang dicari sehingga proses substitusi diabaikan.

Metode substitusi dipakai lebih lanjut untuk menyelesaikan Pertidaksamaan 5.10 dan Pertidaksamaan 5.11. Dua pertidaksamaan tersebut diubah menjadi persamaan:

$$x_1 + x_2 = 7 \text{ atau } x_2 = 7 - x_1 \quad \dots\dots (5.18)$$

$$x_1 + x_2 = 3 \text{ atau } x_2 = 3 - x_1 \quad \dots\dots (5.19)$$

Dua pertidaksamaan tersebut **divergen** karena sejajar oleh akibat gradien kedua persamaan sama sehingga tidak dapat diselesaikan secara substitusi, solusi dilakukan secara grafis sebagaimana dimuat dalam Gambar 5.6.

Metode substitusi dipakai lebih lanjut untuk menyelesaikan Pertidaksamaan 5.10 dan Pertidaksamaan 5.12 dengan memasukkan  $x_2$  dalam Persamaan 5.18 kedalam Persamaan 5.17 diperoleh:

$$\begin{aligned}4 x_1 + 2(7 - x_1) &= 20 \\ x_1 &= 3\end{aligned}$$

Substitusi  $x_1$  tersebut kedalam Persamaan 5.18 maka:

$$\begin{aligned}x_2 &= 7 - 3 \\ x_2 &= 4\end{aligned}$$

Nilai  $x_1 = 3$  dan  $x_2 = 4$  diujikan terhadap fungsi kendala pada Pertidaksamaan 5.9 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x_1 + 2 x_2 &\leq 12 \\ 3 + 2 \cdot 4 &\leq 12 \\ 11 &\leq 12\end{aligned}$$

Syarat fungsi kendala pada Pertidaksamaan 5.9 terpenuhi.

Nilai  $x_1 = 3$  dan  $x_2 = 4$  diujikan juga terhadap fungsi kendala pada Pertidaksamaan 5.11 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 &\geq 3 \\ 3 + 4 &\geq 3 \\ 7 &\geq 3\end{aligned}$$

Syarat fungsi kendala pada Pertidaksamaan 5.11 terpenuhi.

Metode substitusi dipakai lebih lanjut untuk menyelesaikan Pertidaksamaan 5.11 dan Pertidaksamaan 5.12 dengan memasukkan  $x_2$  dalam Persamaan 5.19 kedalam Persamaan 5.17 diperoleh:

$$\begin{aligned}4 x_1 + 2(3 - x_1) &= 20 \\ x_1 &= 7\end{aligned}$$

Substitusi  $x_1$  tersebut kedalam Persamaan 5.19 diperoleh:

$$\begin{aligned}x_2 &= 3 - 7 \\ x_2 &= -4\end{aligned}$$

Nilai  $x_2 = -4$  tidak memenuhi ketentuan syarat  $x_2 > 0$ , maka bukan merupakan solusi yang dicari dan proses substitusi diabaikan.

Berdasar perhitungan yang dilakukan, didapatkan **solusi ganda** untuk nilai  $x_1$  dan  $x_2$ . Solusi pertama diperoleh nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$ , sedangkan solusi kedua  $x_1 = 3$  dan  $x_2 = 4$ . Pilihan solusi terbaik didasarkan perhitungan keuntungan pada fungsi obyektif sistem. Nilai-nilai solusi tersebut dimasukkan ke dalam fungsi keuntungan untuk dapat dibandingkan sebagai berikut.

Untuk nilai  $x_1 = 2$  dan  $x_2 = 5$ , didapat:

$$\begin{aligned}\text{Keuntungan} &= 1,5 x_1 + 1,5 x_2 \\ &= 1,5 \cdot 2 + 1,5 \cdot 5 \\ &= 10,50 \text{ (juta Rp) /bulan.}\end{aligned}$$

Untuk nilai  $x_1 = 3$  dan  $x_2 = 4$ , didapat:

$$\begin{aligned}\text{Keuntungan} &= 1,5 x_1 + 1,5 x_2 \\ &= 1,5 \cdot 3 + 1,5 \cdot 4 \\ &= 10,50 \text{ (juta Rp) /bulan.}\end{aligned}$$

Jadi, berdasar pada hasil perhitungan nilai keuntungan dari dua alternatif solusi yang menunjukkan hasil sama besar, maka dua solusi tersebut tepat untuk dipilih (pilihan bersifat optional) atau dapat dipilih satu dari dua solusi tersebut. Selanjutnya dapat direkomendasikan:

“sistem pemakaian ruang dan peralatan laboratorium dapat mencapai nilai keuntungan Rp 10,50 juta per bulan dengan komposisi 2 unit peralatan utama dan 5 unit peralatan pendukung atau dapat juga 3 unit peralatan utama dan 4 unit peralatan pendukung.”

### 5.3 METODE SIMPLEKS

Metode Simpleks tergolong sebagai metode yang handal digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi sistem linear, terutama untuk berbagai permasalahan sistem-sistem dengan 2 hingga 4 parameter dalam sistem.

#### 5.3.1. Persamaan Matematik

Penyelesaian permasalahan-permasalahan optimasi sistem linear dapat juga diperoleh menggunakan **Metode Simpleks (MS)**. Metode tersebut dinyatakan dengan persamaan matematik sebagai berikut:

$$\text{Maksimal } \kappa = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (\text{fungsi obyek}) \quad \dots \dots \quad (5.20)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + \sum_{j=1}^n S_j \geq b_j \quad (\text{fungsi-fungsi kendala}) \dots \quad (5.21)$$

dengan:

- $\kappa$  : nilai variabel keuntungan maksimal
- $x_j$  : nilai variabel  $x$  ke- $j$ ,  $x_j \geq 0$
- $a_{ij}$  : konstanta,  $a_{ij} \geq 0$
- $S_j$  : artificial variabel
- $b_j$  : konstanta,  $b_j \geq 0$
- $c_j$  : konstanta,  $c_j \geq 0$
- $i$  : index variabel,  $i = 1, 2, 3, \dots m$
- $j$  : index variabel,  $j = 1, 2, 3, \dots n$ .

Penyelesaian persamaan dalam MS dilakukan dengan “variabel buatan/tambahan atau artificial variabel” yang disebut dengan “*variabel slack* ( $S_j$ )” pada setiap fungsi kendala. Untuk sejumlah  $n$  fungsi kendala diperlukan sejumlah  $n$  variabel *slack*.

Penyelesaian persamaan-persamaan matematik dalam MS diperoleh melalui prosedur hitungan sebagai berikut:

- 1) Menetapkan konstanta-konstanta yang terkandung dalam persamaan-persamaan matematik  $a_{ij}$ ,  $b_j$ , dan  $c_j$  adalah konstanta-konstanta bernilai positif yang telah diketahui nilainya.
- 2) Menetapkan suatu fungsi obyektif sesuai dengan konteks permasalahan yang akan diselesaikan, guna memaksimalkan keuntungan sistem atau meminimalkan kerugian sistem.
- 3) Menetapkan fungsi-fungsi kendala yang masing-masing mengandung variabel *slack*  $S_j$  sesuai dengan konteks permasalahan yang akan diselesaikan.
- 4) Menetapkan penyelesaian layak awal.
- 5) Mencari nilai  $x_j$  dan  $S_j$  yang memenuhi sumua pertidaksamaan dalam fungsi kendala untuk memperoleh beberapa alternatif penyelesaian layak optimal.
- 6) Menetapkan suatu penyelesaian layak optimal dengan memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan kerugian pada nilai fungsi obyektif.

### 5.3.2. Analisis Sensitivitas

Dalam MS dapat juga dilakukan analisis sensitivitas untuk meninjau sensitivitas variabel-variabel yang digunakan untuk menyatakan kondisi sistem memakai parameter-parameter dalam sistem. Analisis tersebut dalam MS dapat dilakukan dengan meninjau bobot variabel-variabel dengan simbol  $x_j$  dan  $S_j$  dalam persamaan. Sensitivitas variabel  $x_j$  dilakukan dengan meninjau bobot konstanta  $a_{ij}$  dan  $c_j$ , dengan index variabel  $i = 1, 2, 3, \dots n$  dan  $j = 1, 2, 3, \dots m$ . Sedangkan untuk sensitivitas variabel  $S_j$ , dilakukan dengan meninjau bobot variabel  $S_j$  dengan index variabel  $j = 1, 2, 3, \dots m$ , di samping variabel  $x_j$  tersebut.



**Penyelesaian kasus 5.6**

Investasi pada suatu areal seluas 20 ha diumumkan oleh pihak pemerintah suatu kawasan wisata untuk dapat dilakukan oleh pihak investor melalui beberapa alternatif metode investasi dengan mempertimbangkan kondisi perekonomian setempat. Dalam selang waktu yang relatif lama, pada kawasan area investasi tersebut diberlakukan suatu kebijakan deregulasi terhadap ketentuan investasi guna mendorong perkembangan perekonomian setempat. Investasi dalam wujud penanaman dana dari luar kawasan mendapat keringanan beban pembayaran pajak sebesar maksimal 5%. Investasi dalam wujud barang hanya diberikan keringanan beban pembayaran pajak maksimal sebesar 20% untuk barang jenis sarana dan prasarana fisik dengan jumlah barang sebesar maksimal 40%. Untuk barang jenis bahan baku kebutuhan industri dengan minimal 60% bahan baku berupa material lokal, hanya diberikan keringanan atas beban pembayaran pajak sebesar maksimal 15%. Pembayaran pajak tersebut harus dilakukan paling lambat dalam waktu 6 bulan setelah kesepakatan investasi dilakukan. Tetapkan komposisi investasi optimal yang mungkin dapat direalisasikan dalam kondisi perekonomian setempat tersebut.

**Jawab:**

Permasalahan optimasi sitem dalam pengembangan sistem kawasan wisata yang telah diuraikan dapat dilakukan untuk meninjau besar beban pajak minimal dalam berbagai alternatif investasi. Optimasi sistem tergolong dalam kelas optimasi sistem untuk memaksimalkan keuntungan, selanjutnya pernyataan dalam permasalahan kasus harus dinyatakan dalam pernyataan matematik sebagai berikut.

Fungsi keuntungan:

$$\text{Maksimal} = x_1 + x_2 + x_3 \quad \dots\dots (5.22)$$

Fungsi-fungsi kendala:

$$x_1 + 2x_2 + S_1 \leq 5 \quad \dots\dots (5.23)$$

$$3x_1 + 2x_2 + S_2 \leq 40 \quad \dots\dots (5.24)$$

$$3x_1 + 4x_3 + S_3 \leq 15 \quad \dots\dots (5.25)$$

dengan:

- $x_1$  : keringanan beban pembayaran pajak investasi dana (%),
- $x_2$  : keringanan beban pembayaran pajak investasi sarana dan prasarana fisik (%),
- $x_3$  : keringanan beban pembayaran pajak investasi bahan baku kebutuhan industri (%),
- $S_j$  : *artificial variabel* berindex variabel  $j = 1, 2, 3$ .

Persamaan fungsi kendala dalam Persamaan 5.23 hingga 5.25 memiliki suatu **penyelesaian layak awal** (*basic feasible solution*). Penyelesaian layak tersebut dinyatakan sebagai penyelesaian awal karena masing-masing nilai variabel  $x_j$  dalam persamaan diberi nilai awal samadengan nol ( $= 0$ ), sedangkan  $S_1$ ,  $S_2$ , dan  $S_3$  secara berurutan 5, 40, dan 15. Penyelesaian layak awal untuk kasus sistem dengan 3 variabel dalam persamaan dinyatakan secara matematik dalam himpunan sebagai berikut:

$$\{x_1, x_2, x_3, S_1, S_2, S_3, 0, 0, 0, 5, 40, 15\} \quad \dots\dots (5.26)$$

Permasalahan matematik dalam Persamaan 5.23 hingga 5.25 harus diselesaikan dengan mencari nilai-nilai variabel  $x_j$  dalam persamaan pada kondisi kinerja sistem optimal sehingga diperoleh suatu **penyelesaian layak optimal** (*optimal feasible solution*). Penyelesaian layak optimal untuk kondisi kinerja sistem optimal dapat dilakukan menggunakan metode *pivoting* dalam kalkulus matrix. Keuntungan maksimal sistem dalam kondisi kinerja sistem optimal selanjutnya dapat ditetapkan berdasarkan pada hasil-hasil penyelesaian persamaan tersebut.

Komposisi investasi paling optimal dapat ditetapkan dari beberapa alternatif penyelesaian layak optimal melalui beberapa kombinasi pilihan investasi sesuai dengan konteks permasalahan, sebagai ekspresi struktur sistem. Kombinasi pilihan investasi sesuai dengan konteks permasalahan meliputi:

- 1) Analisa investasi melalui pemakaian 2 variabel persamaan. Kombinasi pilihan investasi tersebut terdiri dari 3 alternatif pilihan yang dilakukan dengan mengkombinasikan antara fungsi obyektif pada Persamaan 5.22 dengan fungsi-fungsi kendala Persamaan 5.23 dan 5.24, Persamaan 5.23 dan 5.25, atau Persamaan 5.24 dan 5.25.
- 2) Analisa investasi melalui pemakaian 3 variabel persamaan. Kombinasi pilihan investasi dilakukan dengan seluruh fungsi, baik fungsi obyektif pada Persamaan 5.22 dan fungsi-fungsi kendala mulai dari Persamaan 5.23 hingga 5.25. Pilihan ini paling memadai ditinjau dari sudut pandang pemerintah setempat.

Selanjutnya, dalam uraian jawaban penyelesaian kasus hanya akan diuraikan 1 di antara 3 alternatif pilihan investasi memakai 2 variabel persamaan tersebut dengan fungsi-fungsi kendala Persamaan 5.23 dan 5.24, dan pilihan investasi memakai 3 variabel persamaan memakai seluruh fungsi kendala mulai dari Persamaan 5.23 hingga 5.25.

Dalam kasus permasalahan 2 variabel dalam persamaan, pilihan investasi dilakukan dengan mengkombinasikan fungsi obyektif pada Persamaan 5.22 dengan fungsi-fungsi kendala Persamaan 5.23 dan 5.24 menggunakan variabel *slack* sebagai berikut:

$$\text{Maksimal} = x_1 + x_2 \quad \dots\dots (5.27)$$

Kendala:

$$x_1 + 2x_2 + S_1 \leq 5 \quad \dots\dots (5.28)$$

$$3x_1 + 2x_2 + S_2 \leq 40 \quad \dots\dots (5.29)$$

Penyelesaian layak awal dapat diperoleh dengan memasukkan nilai-nilai  $x_1 = 0$  dan  $x_2 = 0$  kedalam Persamaan 5.27 hingga 5.29 sehingga belum diperoleh keuntungan optimal,  $\kappa = 0$ . Penyelesaian layak awal ditulis dalam notasi himpunan sebagai berikut:

$$\{x_1, x_2, S_1, S_2, 0, 0, 5, 40\} \dots\dots (5.30)$$

Penyelesaian layak optimal dilakukan mencari nilai-nilai  $x_1$  dan  $x_2$  dengan menyeimbangkan proporsi nilai-nilai parameter antara kedua persamaan dalam fungsi-fungsi kendala untuk dapat menghasilkan penyelesaian layak optimal sebagai berikut:

$$\{x_1, x_2, S_1, S_2, 1\frac{1}{2}, 27\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, -\frac{1}{4}\} \dots\dots (5.31)$$

Nilai keuntungan maksimal  $\kappa$  pada kombinasi pilihan investasi diperoleh sebesar 29%.

Dalam kasus permasalahan 3 variabel dalam persamaan, kombinasi pilihan investasi dilakukan dengan fungsi obyektif Persamaan 5.22 dan fungsi-fungsi kendala mulai dari Persamaan 5.23 hingga 5.25. Penyelesaian layak awal telah dinyatakan dalam Persamaan 5.26, Sedangkan penyelesaian layak optimal untuk kondisi kinerja sistem optimal dapat dilakukan menggunakan metode *pivoting* dalam kalkulus matrix yang dikembangkan oleh Gauss Joudan berdasarkan hubungan perkalian matrix identitas sesuai dengan pernyataan matematik sebagai berikut:

$$y = A x$$

$$x = A^{-1} y$$

Apabila  $y$ ,  $A$ , dan  $x$  adalah matrix dengan  $A^{-1}$  adalah invers dari matrix  $A$ , maka nilai-nilai variabel dalam matrix  $x$  merupakan penyelesaian persamaan yang dicari. Detil metode tersebut dapat diacu pada pustaka-pustaka kalkulus matrix, di antara pustaka ditulis dalam referensi buku ini [9].

Penyelesaian layak optimal untuk kasus permasalahan 3 variabel dilakukan mencari nilai-nilai  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  dengan menyeimbangkan proporsi nilai-nilai parameter antara kedua persamaan dalam fungsi-fungsi kendala untuk dapat menghasilkan penyelesaian layak optimal dalam notasi himpunan sebagai berikut:

$$\{x_1, x_2, x_3, S_1, S_2, S_3, -5, 27\frac{1}{2}, 7\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, -\frac{1}{4}, \frac{1}{4}\} \dots \dots (5.32)$$

Nilai keuntungan maksimal pada kombinasi pilihan investasi diperoleh sebesar 30%.

**Penyelesaian kasus 5.7**

Suatu IS akan dikembangkan dengan 6 unit subsistem. Jabarkan bentuk persamaan aljabar dan pertidaksamaan-pertidaksamaan kendala dari Persamaan 5.2 dan 5.3 untuk sistem tersebut. Tuliskan pula menggunakan notasi matrix.

Jawab:

Diketahui nilai  $m = 6$

Ditetapkan nilai  $n = m = 6$

Karena itu,  $i = j = m = 6$

Persamaan 5.2 dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Maksimum } \pi = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 \dots \dots (5.33)$$

Pertidaksamaan kendala dijabarkan dari Persamaan 5.3 meliputi:

$$\text{Subsistem 1: } a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 + a_{15}x_5 + a_{16}x_6 \geq b_1 \dots (4.34)$$

$$\text{Subsistem 2: } a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 + a_{25}x_5 + a_{26}x_6 \geq b_2 \dots (4.35)$$

$$\text{Subsistem 3: } a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 + a_{35}x_5 + a_{36}x_6 \geq b_3 \dots (4.36)$$

$$\text{Subsistem 4: } a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + a_{45}x_5 + a_{46}x_6 \geq b_4 \dots (4.37)$$

$$\text{Subsistem 5: } a_{51}x_1 + a_{52}x_2 + a_{53}x_3 + a_{54}x_4 + a_{55}x_5 + a_{56}x_6 \geq b_5 \dots (4.38)$$

$$\text{Subsistem 6: } a_{61}x_1 + a_{62}x_2 + a_{63}x_3 + a_{64}x_4 + a_{65}x_5 + a_{66}x_6 \geq b_6 \dots (4.39)$$

Penyelesaian Persamaan 5.33 dan Pertidaksamaan 5.34 hingga Pertidaksamaan 5.39 akan relatif lebih mudah jika diselesaikan menggunakan metode matrix dengan sistem persamaan-persamaan berikut.

Persamaan 5.2 ditulis dalam notasi matrix:

$$\text{Maks } \pi = [ I ] \{ X \} \quad \text{atau}$$

$$\text{Maks } \pi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} \quad \dots (4.44)$$

Persamaan 5.3 ditulis dalam notasi matrix:

$$[ A ] \{ X \} \geq \{ B \} \quad \text{atau}$$

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{bmatrix} \quad \dots (4.45)$$

## 5.4 METODE INTERPOLASI DAN EKSTRAPOLASI LINEAR

Nilai suatu parameter pada JIS kadang perlu diketahui untuk dapat menganalisis atau mempelajari kondisi proses atau pun respon pada JIS tersebut. Kondisi, sifat, dan perilaku linear terhadap pengaruh suatu parameter pada suatu JIS sebagai misal merupakan suatu kondisi proses atau pun respon yang terjadi pada JIS yang perlu diketahui.

Nilai suatu parameter pada JIS umumnya dapat diketahui melalui 2 cara, meliputi:

- 1) pengukuran nilai parameter tersebut di lapangan atau laboratorium, di mana JIS tersebut berada, dan.
- 2) memprediksikan nilai parameter tersebut berdasar pada hukum-hukum atau teori-teori yang berkaitan dengan JIS bersangkutan.

Dalam banyak kasus, pengukuran nilai parameter merupakan cara paling praktis dan relatif mudah untuk dilakukan sehingga cara tersebut banyak dipilih.

Pengukuran parameter secara langsung memakai peralatan ukur memiliki beberapa keterbatasan, meskipun tidak mungkin dapat dilakukan untuk parameter-parameter dalam permasalahan baru yang belum pernah dikaji. Selain keterbatasan tersebut, pengukuran nilai parameter di lapangan memiliki beberapa keterbatasan lain, antara lain meliputi:

- 1) ketersediaan peralatan untuk pengukuran pada waktu yang diperlukan,
- 2) efektivitas peralatan baik presisi maupun akurasi peralatan yang tersedia, dan
- 3) efisiensi biaya pengukuran baik transportasi ke lokasi pengukuran, konsumsi tim pengukur, dan akomodasi personil serta alat-alat ukur yang diperlukan.

Di samping melalui pengukuran langsung, nilai suatu parameter pada suatu JIS dalam banyak kasus juga perlu diketahui melalui prediksi nilai parameter tersebut. Prediksi nilai parameter pada suatu JIS dapat dilakukan melalui 2 cara sebagai berikut.

Prediksi nilai parameter dapat dilakukan dengan menetapkan hasil prediksi yang dihitung menggunakan hukum atau prinsip yang berkaitan dengan permasalahan pada JIS yang ditinjau. Prediksi nilai parameter dengan cara tersebut dapat dilakukan dalam kasus hukum atau prinsip yang berkaitan dengan permasalahan pada JIS telah tersedia. Oleh karena itu, cara prediksi demikian merupakan pilihan utama untuk menentukan nilai suatu

atau beberapa parameter pada JIS. Besar gaya dinamik yang bekerja pada suatu JIS sebagai misal dapat dilandaskan pada hubungan matematis linear yang dinyatakan dengan persamaan  $F = ma$ , dalam Hukum Newton. Untuk nilai percepatan konstan sebesar  $4 \text{ m/s}^2$ , berapa pun nilai massa suatu benda yang digunakan sebagai masukan kedalam JIS, maka nilai gaya tersebut dapat secara pasti diprediksikan, tanpa bergantung rentang data masukan maupun keluran pada JIS.

Prediksi nilai parameter dapat juga dilakukan dengan cara berikutnya, cara kedua, menggunakan metode-metode untuk **interpolasi** dan **ekstrapolasi** dalam kasus hitungan tidak menggunakan hukum atau prinsip yang berkaitan dengan permasalahan pada JIS belum tersedia. Untuk JIS linear, prediksi nilai parameter dilakukan menggunakan interpolasi dan ekstrapolasi linear. Prediksi nilai parameter dilakukan memakai metode-metode interpolasi dalam rentang interval tertentu untuk data masukan maupun keluaran JIS. Prediksi nilai parameter melalui interpolasi mungkin menghasilkan nilai yang tepat dengan batasan tersebut. Selain itu, nilai parameter mungkin pula dapat diprediksikan dengan tepat melalui ekstrapolasi, meskipun dilakukan di luar rentang interval tertentu untuk data masukan maupun keluaran JIS.

Prediksi nilai suatu parameter melalui interpolasi dan ekstrapolasi linear dapat dilakukan berdasarkan pada hubungan matematik linear antara parameter-parameter pada permasalahan IS. Hubungan antar parameter-parameter yang menjabarkan fenomena pada permasalahan IS di lapangan dapat diacu dari teori yang telah tersedia untuk permasalahan IS yang dikaji. Interpolasi linear dilakukan dengan memasukkan nilai parameter dalam rentang interval tertentu yang diduga berpengaruh terhadap IS kedalam persamaan linear untuk mendapatkan nilai parameter keluaran atau respon IS tersebut. Prediksi nilai suatu parameter dengan cara tersebut umumnya dilakukan dalam perancangan/desain, antara



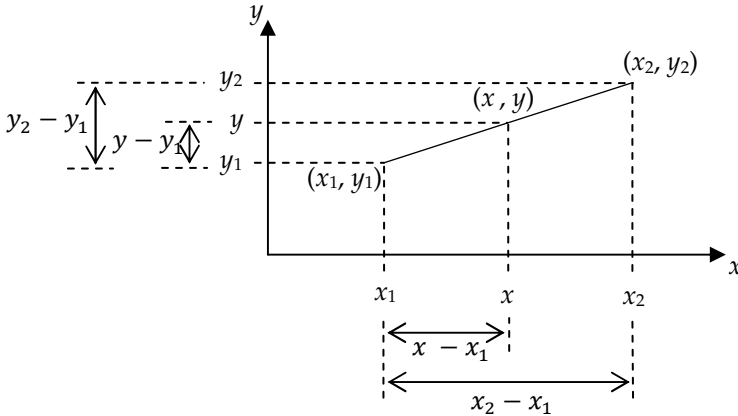
lain dalam penetapan rasio campuran semen, pasir, dan kerikil dalam pembuatan beton dan dalam penetapan dimensi-dimensi bangunan rencana dalam bagian JIS. Dalam konteks tersebut, hasil prediksi parameter terimplementasi pada hasil perancangan yang umumnya dipengaruhi oleh subyektifitas keahlian perancang.

Interpolasi linear dalam beberapa kasus harus dilakukan berdasarkan pada data empiris, tidak menggunakan persamaan matematis yang dinyatakan dengan hukum atau prinsip fisika. Kondisi demikian dimungkinkan dilaksanakan dalam pengkajian terhadap permasalahan JIS yang relatif masih baru sehingga belum tersedia hasil penelitian atau kajian terdahulu yang memuat teori-teori tentang permasalahan yang ditinjau. **Data empiris** umumnya bersifat data primer sebagai hasil pengukuran nilai parameter pada sistem kotak hitam, baik di lapangan maupun laboratorium. Data tersebut dapat juga bersifat data sekunder berupa rekaman hasil pengukuran sejenis di waktu lalu yang tidak berhubungan dengan permasalahan JIS yang sedang ditinjau.

Dalam pemakaian metode interpolasi linear, diperlukan minimal 2 data hasil pengukuran nilai parameter, dapat berupa nilai masukan atau keluaran sistem. Data tersebut digunakan sebagai argumen untuk persamaan matematik yang mewakili proses dalam sistem. Argumen persamaan matematik dapat digunakan sebagai variabel bebas maupun variabel terikat pada persamaan matematik, yang menyatakan hubungan antar parameter pada sistem. Interpolasi linear selanjutnya dapat dilakukan secara langsung berdasarkan pada data hasil pengukuran tersebut atau dapat juga dilakukan menggunakan suatu persamaan matematik linear yang dibentuk berdasarkan pada 2 data hasil pengukuran tersebut.

Ketepatan prediksi nilai parameter tentu saja secara konsisten hanya menghasilkan nilai parameter yang relatif meyakinkan jika dilakukan memakai metode interpolasi dengan data masukan dalam rentang/kawasan di antara 2 data empiris dari hasil pengukuran nilai parameter. Sedangkan, ketepatan prediksi nilai parameter

memakai ekstrapolasi secara konsisten menghasilkan nilai parameter yang relatif lebih kurang meyakinkan karena dilakukan di luar rentang/kawasan di antara 2 data empiris dari hasil pengukuran nilai parameter.



Gambar 5.7 Interpolasi dan Ekstrapolasi Linear

Hubungan antara parameter-parameter dapat dinyatakan dengan persamaan linear sebagai berikut:

$$y = a_0 + a_1x \quad \dots (4.44)$$

Persamaan tersebut dapat dibentuk berdasarkan hubungan antara data pengukuran  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$  dalam Gambar 5.7 menggunakan hubungan matematik:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1) \quad \dots (4.45)$$

dengan  $x$  adalah data masukan, merupakan absis titik atau variabel bebas yang digunakan sebagai argumen pada persamaan dan  $y$  adalah nilai yang diprediksikan, merupakan ordinat titik pada

persamaan. Perhitungan interpolasi dilakukan dengan memasukkan nilai variabel  $x$  sebagai data masukan kedalam persamaan linear yang dihasilkan.

Perhitungan interpolasi dapat juga dilakukan berdasarkan pada hubungan antara data pengukuran  $(x_1, y_1)$  dan  $(x_2, y_2)$  tanpa memakai persamaan, misal Persamaan 5.45. Nilai variabel  $y$  diprediksikan berdasarkan pada nilai variabel  $x$  sebagai data masukan kedalam persamaan berikut:

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) \quad \dots (4.46)$$

Dalam kondisi tertentu, nilai maksimum atau minimum kinerja suatu IS diperlukan sehingga data maksimum atau minimum kinerja IS perlu dihitung. Pada infrastruktur-infrastruktur sistem yang memiliki perilaku linear, nilai maksimum atau minimum kinerja dapat diketahui menggunakan kondisi batas nilai fungsi adalah konstan.

Kinerja optimal IS dapat ditetapkan berdasar kriteria kondisi batas tertentu untuk IS. Kondisi batas dapat diambil misal adalah "**kondisi ekonomis kinerja infrastruktur sistem**", yaitu batas kinerja IS yang menghasilkan operasi ekonomis IS. Kondisi batas untuk kondisi ekonomis kinerja sistem umumnya merupakan pemakaian sumberdaya dan sarana minimal.

### Penyelesaian kasus 5.8

Hasil pengukuran parameter-parameter pada kinerja operasi suatu JIS peralatan studio menunjukkan data konsumsi energi elektrik sebesar 3 kJ untuk menghasilkan produksi pemotongan dan laminasi bahan baku sebesar 4 m<sup>3</sup>. Dalam bulan berlainan, diperoleh hasil pengukuran konsumsi energi elektrik sebesar 12 kJ dan produksi pemotongan dan laminasi bahan baku sebesar 7 m<sup>3</sup>. Tentukan besar konsumsi energi yang akan diperlukan memakai

peralatan tersebut untuk penanganan dan laminasi bahan baku sejenis sebanyak  $8 \text{ m}^3$  dari  $10 \text{ m}^3$  bahan baku yang telah disediakan.

Jawab:

Data hasil pengukuran:

$$(x_1, y_1) = (4,3)$$

$$(x_2, y_2) = (12,7)$$

Tentukan  $y$  untuk  $x = 8$ .

Persamaan linear untuk perhitungan interpolasi:

$$y = y_1 + \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}(x - x_1)$$

$$y = 3 + \frac{(7 - 3)}{(12 - 4)}(x - 4)$$

$$y = 0,5x + 1$$

Jadi, persamaan linear untuk interpolasi adalah  $y = 0,5x + 1$ .

Untuk  $x = 8 \text{ m}^3$ , didapat:

$$y = 0,5 \cdot 8 + 1 = 5$$

Jadi, untuk pemotongan dan laminasi bahan baku  $8 \text{ m}^3$ , peralatan pemotongan dan laminasi bahan baku tersebut akan memerlukan nilai konsumsi energi sebesar 5 kJ.

### Penyelesaian kasus 5.9

Perhitungan interpolasi untuk kinerja optimal IS dalam tersebut dapat dilakukan pula secara langsung tanpa melalui pembentukan persamaan matematik.

Jawab:

Data hasil pengukuran:

$$(x_1, y_1) = (4,3)$$

$$(x_2, y_2) = (12,7)$$

Tentukan  $y$  untuk  $x = 8$ .

Untuk  $x = 8 \text{ m}^3$ , didapat:

$$y = y_1 + \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1)$$

$$y = 3 + \frac{(8 - 4)}{(12 - 4)}(7 - 3) = 5$$

Jadi, hasil hitungan samadengan Penyelesaian kasus 5.8, untuk pemotongan dan laminasi bahan baku  $8 \text{ m}^3$ , peralatan pemotongan dan laminasi bahan baku tersebut akan memerlukan nilai konsumsi energi sebesar 5 kJ.

## 5.5 PERMASALAHAN YANG DISELESAIKAN

1. Suatu stasiun penjagaan tempat parkir pada suatu distrik kota dioperasikan hanya pada siang hari antara jam 7 hingga jam 17. Produktivitas stasiun tersebut dalam menerima, mengatasi, dan mengawasi kendaraan yang masuk area, parkir, dan keluar area tempat parkir tersebut, serta mendistribusikan tiket masuk maupun mendokumentasikan permasalahan yang terjadi dalam waktu operasi dapat dinyatakan secara matematis dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Jam 7 - 10} : x_1 + x_6 \geq 30,$$

$$\text{Jam 10 - 12} : x_1 + x_2 \geq 40,$$

$$\text{Jam 13 - 14} : x_2 + x_3 \geq 20,$$

$$\text{Jam 14 - 15} : x_3 + x_4 \geq 50,$$

$$\text{Jam 15 - 16} : x_4 + x_5 \geq 20,$$

$$\text{Jam 16 - 17} : x_5 + x_6 \geq 50.$$

Apabila keuntungan operasi stasiun penjagaan tersebut dapat dinyatakan secara matematis dengan persamaan berikut:

$$\text{Maksimum } \pi = x_1 + 3x_2 + 1,2x_3 + x_4 + 3x_5 + x_6$$

Tentukan nilai masing-masing variabel terikat dalam kondisi sistem beroperasi secara optimal. Pada malam hari stasiun penjagaan dipertimbangkan untuk dioperasikan jika sudah tidak tersisa permasalahan pada siang hari.

2. Sebagaimana dalam Penyelesaian kasus 5.6, tentukan solusi/ penyelesaian layak optimal untuk kombinasi 2 variabel dalam persamaan yang belum ditinjau. Tentukan pula keuntungan maksimal untuk masing-masing penyelesaian layak optimal kombinasi pada pilihan investasi tersebut.



## **OPTIMASI SISTEM DAN JIS NONLINEAR**

Sistem-sistem yang digunakan untuk mempelajari JIS di bidang teknik umumnya bersifat tidak linear atau nonlinear, baik untuk sistem bersifat alam, buatan, semi alam. Suatu gedung rumah tinggal sebagai misal umumnya akan memiliki JIS minimal mencakup sub-subJIS yang seluruhnya memiliki sifat nonlinear, antara lain meliputi: subJIS sistem distribusi energi listrik, air dingin, dan air kotor.

Fenomena nonlinear pada suatu JIS relatif sangat sulit dipelajari daripada fenomena linear pada suatu JIS. Tingginya tingkat kesulitan tersebut terutama terletak pada pokok tinjauan fenomena-fenomena alam dan semi alam. Hal demikian oleh karena sifat probabilitas pada fenomena-fenomena dalam JIS tersebut tergolong relatif sulit dinyatakan pasti secara. Selain itu, tingginya

kesulitan dalam mempelajari fenomena tersebut juga disebabkan oleh luasnya area tinjauan, yang dapat menimbulkan dampak langsung berupa hambatan sangat tingginya biaya yang diperlukan untuk keperluan tersebut.

Pengkajian fenomena-fenomena sistem nonlinear pada suatu JIS umumnya dipelajari menggunakan metode pemodelan. Dimensi fenomena yang umumnya relatif sangat besar pada JIS ditransformasikan menggunakan suatu model yang berdimensi relatif jauh lebih kecil. Pengkajian menggunakan metode pemodelan dilaksanakan melalui kegiatan simulasi model secara terencana. Hal tersebut dilakukan dengan maksud terutama untuk dapat mereduksi besarnya biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan pengkajian teknis di lapangan secara langsung pada prototipe dan menemukan fenomena-fenomena baru maupun menciptakan suatu bentuk IS baru yang belum tersedia di lapangan.

Sistem beserta JIS nonlinear perlu dioptimasi untuk mendapatkan kinerja optimal sistem, di samping untuk menindaklanjuti hasil-hasil tinjauan yang direkomendasikan melalui suatu kegiatan pengkajian terhadap berbagai aspek teknik dan ekonomi JIS yang telah dilakukan. Kegiatan optimasi untuk sistem nonlinear juga relatif sangat sulit dilakukan jika dibandingkan dengan sistem linear.

Penyelesaian permasalahan optimasi sistem untuk JIS yang kompleks hingga sangat kompleks dilakukan dengan prinsip serupa tetapi relatif tidak lebih mudah dan harus dilakukan memakai komputer untuk alat hitung dalam proses optimasi. Beberapa di antara latihan penyelesaian kasus dapat dibaca dalam [9], disamping dalam uraian buku ini. Tingginya tingkat kesulitan dalam penyelesaian permasalahan tersebut terutama disebabkan oleh persamaan matematik sesuai dengan hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan untuk penyelesaian permasalahan optimasi sistem dan JIS relatif sulit dibentuk dan digunakan.



Optimasi JIS umumnya harus dilakukan melalui prosedur pemrograman komputer untuk peralatan hitung dalam penyelesaian persamaan matematik yang digunakan untuk optimasi JIS. Proses optimasi tersebut secara umum perlu dilakukan dengan suatu rangkaian prosedur sebagai berikut:

- 1) Melakukan transformasi permasalahan nyata pada proses yang terjadi di alam semesta (sistem) atau infrastruktur sistem kedalam bentuk satu atau suatu rangkaian persamaan-persamaan matematik.
- 2) Menetapkan satu atau beberapa kondisi batas optimal kinerja infrastruktur sistem.
- 3) Menyusun algoritma penyelesaian persamaan matematik yang telah dibentuk untuk dapat diselesaikan memakai peralatan komputer.
- 4) Membandingkan beberapa kondisi kinerja optimal sistem dari berbagai alternatif hasil penyelesaian persamaan matematik yang telah dilakukan.
- 5) Menetapkan kinerja optimal sistem sebagai rekomendasi yang diperlukan untuk mencapai operasi sistem yang optimal.

## **6.1 PERNYATAAN MATEMATIS OPTIMASI SISTEM DAN JIS NONLINEAR**

Pengklasifikasian suatu sistem kedalam kelas sistem nonlinear dilandaskan pada sifat-sifat dan perilaku nonlinear sistem yang menunjukkan kesesuaian dengan sifat-sifat dan perilaku nonlinear pada suatu persamaan matematika. Sifat-sifat dan perilaku nonlinear sistem tersebut dinyatakan pada hukum-hukum dan teori-teori sistem bersangkutan, sehingga dapat dicermati pada hukum-hukum dan teori-teori yang berkaitan dengan sistem bersangkutan.

Hampir semua persamaan atau pertidaksamaan matematik yang diterapkan dalam bidang teknik memiliki sifat-sifat dan perilaku nonlinear. Persamaan maupun pertidaksamaan matematik nonlinear memiliki banyak variasi tipe. Untuk mengetahui lebih lanjut dan detil mengenai tipe-tipe persamaan dan pertidaksamaan matematik, dipersilakan membaca referensi matematika kalkulus, aljabar, trigonometri, maupun persamaan deferensial, antara lain referensi yang direkomendasikan dalam daftar pustaka. Dalam bagian selanjutnya, hanya akan diuraikan beberapa di antara tipe-tipe persamaan nonlinear tersebut.

Beberapa di antara persamaan maupun pertidaksamaan matematik nonlinear untuk IS nonlinear dapat dipakai secara langsung untuk melakukan optimasi sistem dengan mengambil nilai  $x$  dari turunan pertama persamaan matematik samadengan nol ( $dy/dx = 0$ ). Proses itu menghasilkan suatu persamaan matematik linear yang menyinggung di suatu titik pada kurva persamaan yang diturunkan.

### 6.1.1. Persamaan Polinomial

Persamaan polinomial dapat dipakai sebagai misal untuk suatu persamaan nonlinear yang relatif sederhana dan umum diselesaikan secara analitik. Persamaan polinomial merupakan persamaan berbentuk deret dengan suku pada deret memiliki orde/pangkat dan konstanta. Persamaan tersebut memiliki bentuk lengkung/kurva, dan dinyatakan secara matematik dengan bentuk umum sebagai berikut:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_ix^n = \sum_{i=0}^m a_ix^n \quad \dots \dots (6.1)$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat,  $x^n$  adalah variabel bebas berorde  $n$ ,  $a_i$  adalah konstanta-konstanta,  $i$  adalah index konstanta dengan  $i = 0, 1, 2, \dots, m$  serta  $n$  merupakan index orde variabel dengan  $n = i$ .

Pangkat/orde tertinggi dalam persamaan adalah  $m$ , yang dipakai untuk menyebutkan identitas persamaan polinomial. Persamaan kuadrat dengan orde-2 merupakan persamaan polinomial nonlinear paling sederhana.

### **Penyelesaian kasus 6.1**

Optimasi sistem nonlinear dilakukan memakai fungsi obyektif dan kendala, serta kondisi-kondisi batas yang ditetapkan untuk suatu kasus tinjauan JIS pada gerak lurus berubah beraturan suatu kendaraan di atas jalan raya. Tentukan panjang IS yang dilintasi kendaraan pada suatu sistem nonlinear sederhana tersebut berdasar ketetapan kondisi batas gerak optimal kendaraan ditetapkan selama 4 jam. Selain itu, jika posisi mula-mula kendaranan berada pada KM 10, tentukan pula posisi minimal kendaraan setelah mencapai kondisi gerak optimal.

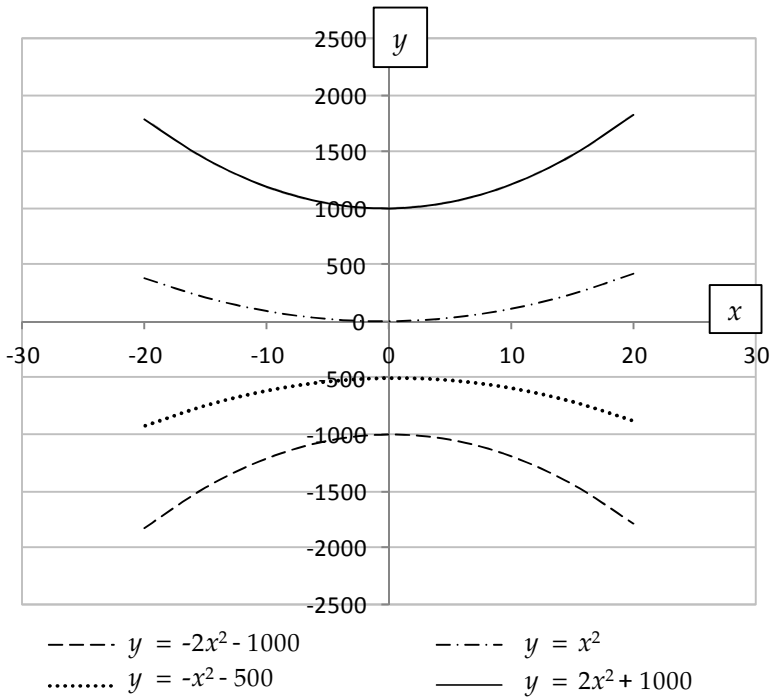
Jawab:

Panjang lintasan gerak kendaraan tersebut pada jalan raya dapat dinyatakan secara matematik mengacu pada Persamaan (6.1).

Dalam konteks tersebut,  $y$  adalah jarak gerak kendaraan yang umum diberi simbol  $S$  (km) dan  $x$  adalah selang waktu gerak yang umum pula dinyatakan dengan simbol  $t$  (jam). Sedangkan  $a_1$ ,  $a_2$ , dan  $a_3$  adalah konstanta-konstanta dalam persamaan dengan nilai secara berurutan adalah 10, 3, dan 2.

Untuk kondisi posisi mula-mula kendaraan adalah pada KM 10 dan kondisi batas gerak optimal kendaraan ditetapkan selama 4 jam, maka panjang IS yang dilintasi kendaraan tersebut adalah 44 km.

Posisi minimal kendaraan tersebut pada kondisi setelah mencapai gerak optimal berada pada KM 54.



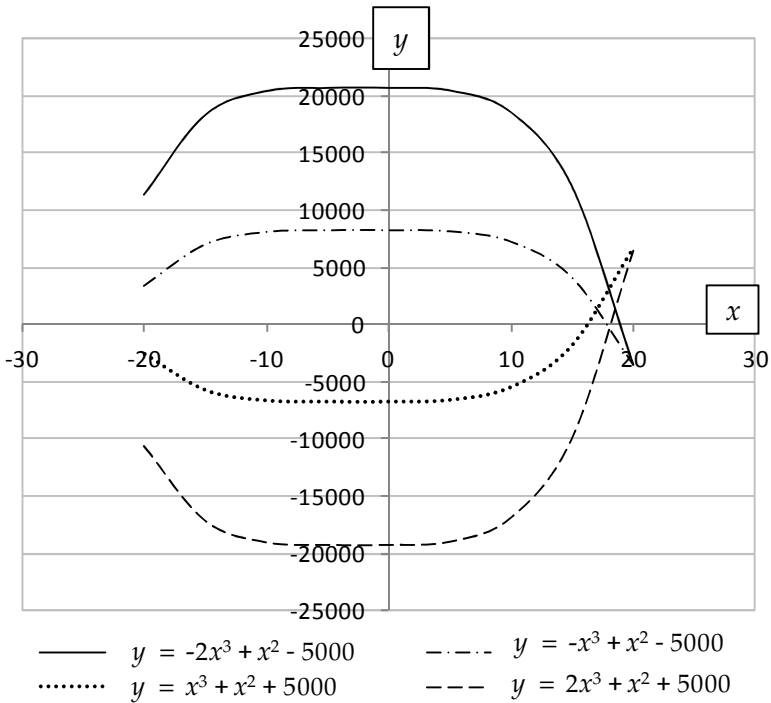
Gambar 6.1 Visualisasi Persamaan Kuadrat

**Penyelesaian kasus 6.2**

Visualisasikan persamaan matematik nonlinear orde-2 untuk menyatakan perilaku IS nonlinear.

Jawab:

Beberapa di antara persamaan matematik nonlinear orde-2 dapat dipilih untuk digunakan untuk menyatakan perilaku IS nonlinear sebagai misal:  $y = -2x^2 - 1000$ ;  $y = -x^2 - 500$ ;  $y = x^2$ ; atau  $y = 2x^2 + 1000$ , sebagaimana dimuat dalam Gambar 6.1.



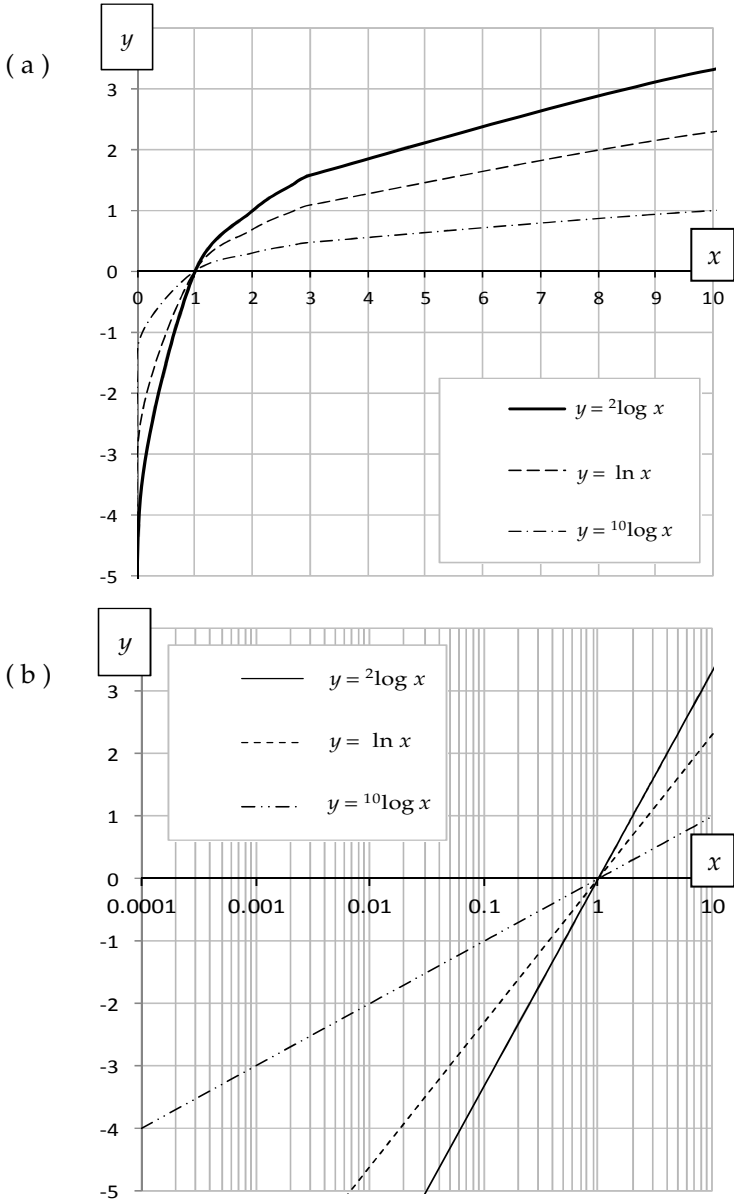
Gambar 6.2 Visualisasi Persamaan Polinomial Orde-3

**Penyelesaian kasus 6.3**

Visualisasikan persamaan matematik nonlinear orde-3 untuk menyatakan perilaku IS nonlinear.

Jawab:

Persamaan matematik nonlinear orde-3 untuk menyatakan perilaku IS nonlinear, sebagaimana dimuat dalam Gambar 6.2, antara lain:  $y = -2x^3 + x^2 - 5000$ ;  $y = -x^3 + x^2 - 5000$ ;  $y = x^3 + x^2 + 5000$ ; atau  $y = 2x^3 + x^2 + 5000$ .



Gambar 6.3 Visualisasi Persamaan Logaritma

### 6.1.2. Persamaan Logarimik

Persamaan logaritma dapat digunakan untuk menyatakan sifat dan perilaku nonlinear sistem karena memiliki sifat-sifat dan perilaku nonlinear, termasuk pula persamaan logaritmik bilangan natural. Persamaan logaritmik memiliki bentuk umum kurva dan ditulis dalam pernyataan matematik sebagai berikut:

$$y = {}^a\log x \quad \dots\dots (6.2)$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat,  $x$  adalah variabel bebas, dan  $a$  adalah konstanta basis bilangan.

#### Penyelesaian kasus 6.4

Suatu IS nonlinear dapat dinyatakan secara matematik menggunakan bentuk persamaan logaritmik, visualisasikan persamaan tersebut.

Jawab:

Di antara persamaan matematik logaritmik untuk menyatakan IS nonlinear antara lain  $y = {}^2\log x$ ;  $\ln x$ , atau  $\log x$ , sebagaimana divisualisasikan dalam Gambar 6.3(a).

Persamaan logaritmik bilangan natural juga memiliki bentuk kurva dan ditulis dalam pernyataan matematik sebagai berikut:

$$y = \ln x \quad \dots\dots (6.3)$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat dan  $x$  adalah variabel bebas.

#### Penyelesaian kasus 6.5

Bentuk persamaan logaritmik untuk IS nonlinear dalam Penyelesaian kasus 6.4 dapat dinyatakan secara matematik menggunakan bentuk persamaan bilangan natural, visualisasikan persamaan tersebut.

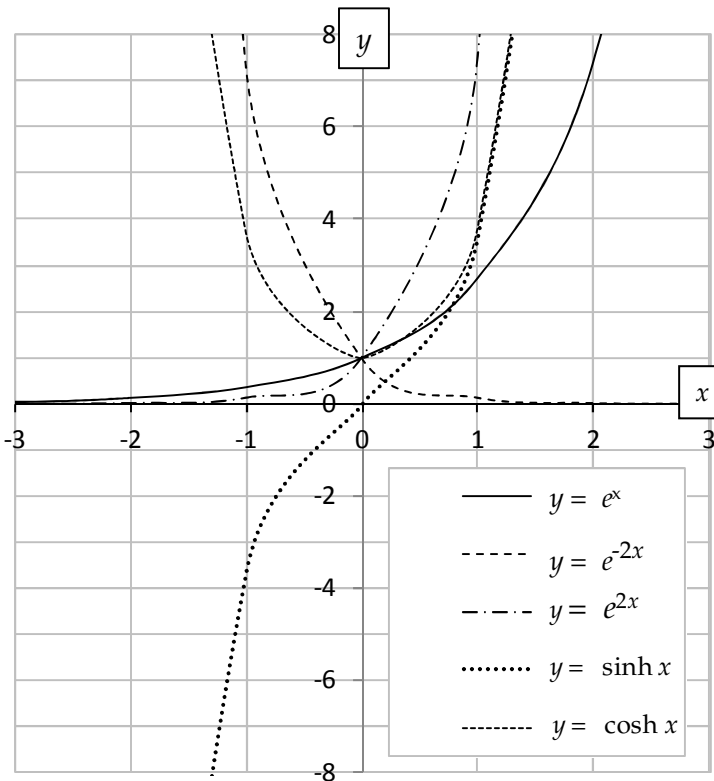
Jawab: Baca visualisasi dalam Gambar 6.3(b).

### 6.1.3. Persamaan Eksponensial

Persamaan eksponensial memiliki bentuk kuva dan dapat dipakai untuk menyatakan sifat dan perilaku nonlinear sistem. Persamaan tersebut dinyatakan secara matematik sebagai berikut:

$$y = ad^{bx} \quad \dots\dots (6.4)$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat,  $x$  adalah variabel bebas, sedangkan  $a$ ,  $b$ , dan  $d$  adalah konstanta-konstanta.



Gambar 6.4 Visualisasi Persamaan Eksponensial



Persamaan eksponensial dapat juga digunakan untuk menyatakan sifat dan perilaku nonlinear sistem berbasis pada bilangan natural, secara matematik ditulis sebagai berikut:

$$y = ae^{bx} \quad \dots\dots (6.5)$$

dengan  $y$  adalah variabel terikat,  $x$  adalah variabel bebas, sedangkan  $a$ ,  $b$ , dan  $e$  adalah konstanta-konstanta. Konstanta  $e$  merupakan konstanta bilangan natural bernilai 2,718 281 828 459.

**Penyelesaian kasus 6.6**

Visualisasikan persamaan matematik eksponensial untuk dapat digunakan menyatakan perilaku IS nonlinear.

Jawab:

Beberapa persamaan matematik eksponensial untuk keperluan tersebut dapat diambil sebagai misal antara lain:

$$y = e^x;$$

$$y = e^{2x};$$

$$y = e^{-2x};$$

atau

$$y = \sinh x ;$$

atau pun

$$y = \cosh x,$$

Persamaan  $y = e^x$  merupakan bentuk persamaan eksponensial paling sederhana. Persamaan tersebut memotong sumbu  $y$  pada nilai  $y = 1$  untuk nilai  $x = 0$  dan bersifat asimtotis terhadap sumbu  $x$  karena tidak memotong sumbu  $x$  hingga nilai  $x = \infty$ . Persamaan tersebut divisualisasikan bersama persamaan-persamaan lainnya dalam Gambar 6.4.

## 6.2 METODE PROMROGRAMAN DINAMIK

Sistem nonlinear yang memiliki anggota sub-subsistem nonlinear dapat dioptimalkan menggunakan Metode Promrograman Dinamik (MPD). Metode tersebut telah banyak diterapkan untuk meyelesaikan berbagai permasalahan optimasi sistem pada berbagai bidang sebagaimana dalam [3] dan [4]. Dalam bab ini, diuraikan pemakaian metode tersebut untuk permasalahan optimasi sistem di bidang teknik, khususnya JIS.

Persamaan matematik dalam MPD disusun dari rangkaian beberapa persamaan sebagai fungsi obyektif dan fungsi kendala sebagai berikut:

$$\text{Maksimal } \sum_{j=1}^n R_j(x_j) \quad (\text{fungsi obyektif}) \quad \dots\dots (6.6)$$

$$\text{Kendala : } \sum_{j=1}^n x_j = C \quad (\text{fungsi kendala}) \quad \dots\dots (6.7)$$

dengan:

$R_j(x_j)$  : Pendapatan pada nilai variabel  $x$  ke- $j$ ,  $x_j \geq 0$

$x_j$  : nilai variabel ke- $j$ ,  $x_j \geq 0$

$j$  : index variabel,  $j = 1, 2, 3, \dots n$ .

$C$  : konstanta.

MPD telah banyak bermanfaat untuk mengoptimalkan kinerja sistem dengan sub-subsistem nonlinear yang dilakukan melalui proses pengambilan **keputusan bertahap**. Dalam permasalahan optimasi demikian, langkah proses optimasi pada suatu tahap ditentukan oleh proses optimasi yang telah dilakukan pada tahap terdahulu (tahap sebelumnya). Hal tersebut oleh karena variabel dalam rangkaian persamaan MPD memiliki ciri khas sebagai variabel dinamik.

Prosedur perhitungan dalam MPD dilakukan dengan menyelesaikan persoalan matematis untuk mendapatkan sejumlah  $n$  nilai variabel  $x_j$  yang memenuhi ketentuan nilai variabel dan fungsi obyektif pada posisi ke- $(j+1)$  dan dipengaruhi oleh pengambilan keputusan pada posisi ke- $j$ .

Fungsi obyektif pada tahap hitungan ke- $j$  untuk pengambilan keputusan secara bertahap diformulasikan:

$$\text{Maksimal} = R_j(x_j) + f_{j+1}(x_j - x_{j-1})$$

Dalam MPD, penyelesaian permasalahan optimasi sistem dilakukan dengan melakukan transformasi proses nyata yang terjadi di alam semesta (sistem) kedalam bentuk persamaan matematik, sebagaimana dalam Persamaan 6.6 dan 6.6. Penyusun algoritma tersebut dimaksudkan untuk dapat menyelesaikan persamaan-persamaan matematik tersebut memakai peralatan komputer sehingga proses hitungan dan pengambilan keputusan dapat dilakukan lebih teliti.

Komputasi perhitungan dalam penggunaan MPD dapat ditingkatkan efektivitasnya dengan meninjau sensitivitas suatu variabel terhadap variabel lainnya di dalam sistem. Variabel-variabel dalam sistem dinyatakan dengan simbol  $x_j$  dengan index variabel  $j = 1, 2, 3, \dots n$ . Bobot masing-masing variabel diberikan pada konstanta-konstanta fungsi obyektif di dalam sistem.

### **Penyelesaian kasus 6.7**

Sebuah perusahaan jasa konstruksi di suatu kabupaten harus memprediksikan beban kerja, jumlah tenaga kerja, dan keahlian/keterampilan tenaga-tenaga kerja yang diperlukan untuk diterjunkan ke tempat pekerjaan dalam 6 bulan ke depan. Pada setiap bulan, harus tersedia seorang kepala tukang untuk melaksanakan pekerjaan pengendalian dan pengawasan terhadap tidak kurang dari tiga item/ jenis pekerjaan penyiapan dan

pemasangan elemen konstruksi yang dilaksanakan di lokasi pekerjaan. Prediksi sementara untuk jumlah tenaga kerja yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan di lokasi pekerjaan dalam bulan pertama hingga keenam berturut-turut adalah sebagaimana dalam tabel berikut.

Tabel 6.1 Alokasi Jumlah Tenaga Kerja Bulan 1 – 6

Bulan ke- $j$	1	2	3	4	5	6
Jumlah Tenaga kerja [ orang per bulan ]	5	7	8	4	6	6

Perusahaan tersebut dapat menambah tenaga kerja setiap waktu dalam hitungan bulanan untuk memenuhi kebutuhan tenaga kerja. Jumlah pekerja melampaui batas keperluan dapat berlangsung, jika kontraktor tersebut berusaha mempertahankan tenaga kerjanya. Namun demikian, upah harus tetap dibayarkan oleh perusahaan kepada para tenaga kerja dan harus diberikan secara tepat waktu sesuai dengan kesepakatan. Perusahaan dapat memberhentikan tenaga kerja juga dalam hitungan bulan, jika jumlah tenaga kerja dinilai sangat berlebihan. Pemberhentian seorang tenaga kerja tidak akan membebani biaya perusahaan. Untuk mulai pelaksanaan pekerjaan pembangunan, perusahaan memperkerjakan sejumlah 5 orang tenaga kerja, yang akan ditingkatkan berjumlah hingga 8 orang tenaga kerja pada bulan selanjutnya. Dalam rencana pelaksanaan pekerjaan tersebut, pola pengalokasian tenaga kerja yang telah diprediksikan dalam tabel terdahulu perlu dievaluasi untuk mendapat alokasi optimal penempatan tenaga kerja di lapangan.

Jawab:

Untuk penyelesaian permasalahan kasus pengalokasian tenaga kerja, didefinisikan suatu variabel  $x_j$  untuk alokasi jumlah tenaga kerja sampai pada akhir bulan ke- $j$  dengan index variabel  $j = 1, 2, 3, \dots, 8$

sehingga nilai variabel  $x_{j-1}$  adalah alokasi jumlah tenaga kerja sampai pada akhir bulan ke-(j+1). Fungsi obyektif untuk optimasi tenaga kerja dinyatakan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut:

$$R_1(x_j) = 3(x_j - a_j) ,$$

$$R_2(x_j) = \begin{cases} 4 + 2(x_j - x_{j-1}) & , x_j > x_{j-1} \\ 0 & , x_j \leq x_{j-1} \end{cases}$$

Perusahaan perlu menghindarkan timbulnya biaya tambahan dalam pengalokasian tenaga kerja dengan menghindari kendala-kendala pencapaian keuntungan. Oleh karena bulan terakhir pekerjaan adalah bulan ke-6, maka alokasi jumlah tenaga kerja pada bulan tersebut harus sama dengan jumlah kebutuhan tenaga kerja rencana, sehingga nilai  $a_5 = a_6 = x_5 = x_6 = 6$ . Jumlah pekerja yang dinaikan mulai bulan ke-4, dari sebanyak 4 orang tenaga kerja menjadi sebanyak 6 orang tenaga kerja, oleh karena itu untuk perhitungan optimasi kinerja sitem pada bulan tersebut dilakukan untuk  $a_4 = 4$  dan  $x_6 = 4, 5, \text{ dan } 6$ . Dengan alasan serupa,  $x_3 = 8, x_2 = 7$  atau 8, dan  $x_1 = 5, 6, 7, \text{ atau } 8$ .

Alokasi tenaga kerja sampai bulan ke-6 dengan  $x_6$

	$R_1(x_6 - a_6) + R_2(x_6 - x_5)$	Optimal
$x_5$	$x_6 = 6$	$f_6(x_5) \quad x_6$
6	$3(0) + 4 + 2(1) = 6$	6    6*

Alokasi tenaga kerja sampai bulan ke-5 dengan  $x_5$

	$R_1(x_5 - a_5) + R_2(x_5 - x_4) + f_6(x_5 - x_4)$		Optimal	
$x_4$	$x_5 = 6$		$f_5(x_4)$	$x_5$
4	$3(0) + 4 + 2(2) + 6 = 14$		14	6
5	$3(0) + 4 + 2(1) + 6 = 12$		12	6
6	$3(0) + 0$	$+ 6 = 12$	12	6*

Alokasi tenaga kerja sampai bulan ke-4 dengan  $x_4$

	$R_1(x_4 - a_4) + R_2(x_4 - x_3) + f_5(x_4 - x_3)$			Optimal	
$x_3$	$x_4 = 4$	$x_4 = 5$	$x_4 = 6$	$f_4(x_3)$	$x_4$
1	$3(0) + 0 + 14$ $= 14$	$3(1) + 0 + 12$ $= 14$	$3(2) + 0 + 12$ $= 14$	14	4*

Alokasi tenaga kerja sampai bulan ke-3 dengan  $x_3$

	$R_1(x_3 - a_3) + R_2(x_3 - x_2) + f_4(x_3 - x_2)$		Optimal	
$x_2$	$x_3 = 6$		$f_3(x_2)$	$x_3$
7	$3(0) + 4 + 2(1) + 14 = 20$		20	8
8	$3(0) + 0$	$+ 6 = 14$	14	8*

Alokasi tenaga kerja sampai bulan ke-2 dengan  $x_2$

$x_1$	$R_1(x_2 - a_2) + R_2(x_2 - x_1) + f_3(x_2 - x_1)$				Optimal	
	$x_2 = 7$		$x_2 = 8$	$f_2(x_1)$	$x_2$	
5	$3(0) + 4 + 2(2) + 20 = 28$		$3(1) + 4 + 2(3) + 14 = 27$	27	8	
6	$3(0) + 4 + 2(1) + 20 = 26$		$3(1) + 4 + 2(2) + 14 = 25$	25	8	
7	$3(0) + 0 + 20 = 20$		$3(1) + 4 + 2(1) + 14 = 23$	20	7	
8	$3(0) + 0 + 20 = 20$		$3(1) + 0 + 14 = 17$	17	8*	

Alokasi tenaga kerja sampai bulan ke-1 dengan  $x_1$

$x_0$	$R_1(x_1 - a_1) + R_2(x_1 - x_0) + f_2(x_1 - x_0)$				Optimal	
	$x_1 = 5$	$x_1 = 6$	$x_1 = 7$	$x_1 = 8$	$f_1(x_0)$	$x_1$
5	$3(0) + 0 + 6$	$3(1) + 4 + 2(1) + 6$	$3(2) + 4 + 2(2) + 6$	$3(3) + 4 + 2(1) + 6$	27	5*

Alokasi tenaga kerja bulan ke-0 dengan  $x_0 = 5$ .

Hasil perhitungan optimasi sistem melalui pengalokasian jumlah tenaga kerja jasa konstruksi menghasilkan nilai optimum jumlah tenaga kerja dari bulan ke-1 hingga ke-6 secara berurutan sebanyak 5, 8, 8, 4, 6, dan 6 orang tenaga kerja. Hasil perhitungan tersebut dapat ditampilkan secara ringkas beserta kebutuhan minimal jumlah tenaga kerja dalam tabel berikut ini.

Tabel 6.2 Alokasi Jumlah Tenaga Kerja Bulan Ke-1 hingga Ke-6

Bulan ke- <i>j</i>	Tenaga Kerja (orang per bulan)		Keputusan
	Kebutuhan Minimal	Optimal	
1	5	5	Tetap
2	7	8	Penambahan 1 orang
3	8	8	Tetap
4	4	4	Tetap
5	6	6	Tetap
6	6	6	Tetap

**Penyelesaian kasus 6.8**

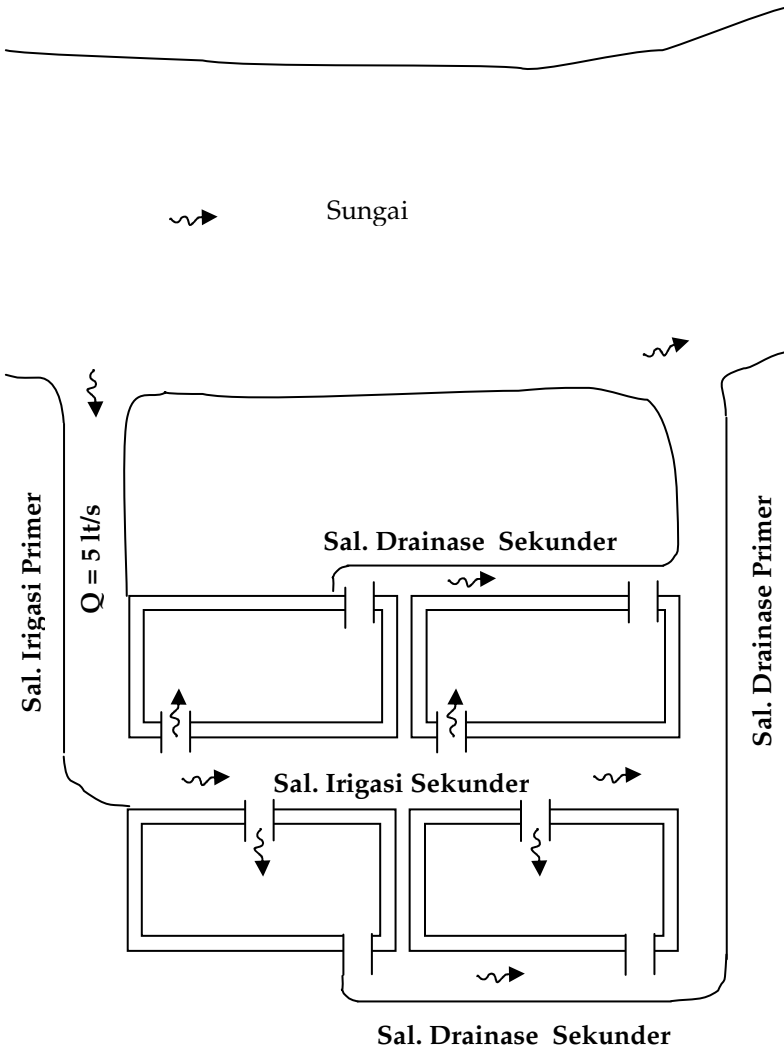
Pada suatu zone pertambakan di wilayah suatu kabupaten akan dibangun beberapa unit kolam pertambakan udang windu dengan denah kolam sebagaimana divisualisasikan dalam Gambar 6.5. Direncanakan udang-udang tersebut akan ditempatkan dalam kolam-kolam secara berurutan mulai dari usia paling muda hingga tua sebagaimana dimuat dalam Tabel 6.3 berikut ini.

Tabel 6.3 Kolam Udang Windu Umur 1 – 3 Bulan

Usia Udang (Bulan)	1	2	3
Jumlah [ ton(f) ]	1	3	6

Lakukan optimasi operasi JIS kolam pertambakan udang windu tersebut memakai rangkaian persamaan matematik eksponensial sebagai berikut.





Gambar 6.5 Sketsa Denah JIS Kolam Perambakan

$$\text{Maksimal } \sum_{j=1}^n \{ a_j [ 1 - \exp(-b_j x_j) ] - c_j x_j^{d_j} \}$$

$$\text{Kendala} \quad : \quad \sum_{j=1}^n x_j = C$$

dengan:

$$x_j \geq 0 \quad , \quad j = 1, 2, 3, \dots, n.$$

$a_j, b_j, c_j,$  dan  $d_j$  adalah konstanta positif.

Sesuai sketsa dalam Gambar 6.5, JIS kolam tersebut dirancang terdiri dari 4 unit kolam. Masing-masing unit kolam dirancang dengan kedalaman 1,2 m dan mengambil air payau secara serial dari sungai di wilayah setempat menggunakan saluran irigasi primer. Untuk mendapatkan kinerja JIS yang optimal, berapakah debit yang dialirkan masuk melalui pintu air pada masing-masing kolam tersebut jika hanya 3 kolam yang diaktifkan beroperasi dan debit aliran air pada saluran sekunder adalah 5 liter/s. Nilai konstanta-konstanta yang diperlukan telah diketahui. Nilai konstanta  $a_1, a_2,$  dan  $a_3$  berturut-turut adalah 3, 10, dan 4, sedangkan nilai konstanta  $b_1, b_2,$  dan  $b_3$  berturut-turut adalah 5, 5, dan 10. Nilai-nilai konstanta  $c_j,$  dan  $d_j$  juga telah diketahui. Nilai konstanta  $c_1, c_2,$  dan  $c_3$  berturut-turut adalah 2; 1,5; dan 1, sedangkan nilai konstanta  $d_1, d_2,$  dan  $d_3$  adalah sama yaitu 0.1.

Jawab:

Jawaban penyelesaian kasus optimasi ini diuraikan secara detail untuk memudahkan dalam pemahaman terhadap penyelesaian permasalahan optimasi sistem dalam kasus tersebut.

Pada pernyataan matematik, keuntungan bersih sistem pada posisi obyek ke- $j$  adalah  $R_j(x_j)$ . Besar keuntungan tersebut diperoleh dari selisih keuntungan kotor  $a_j [1 - \exp(-b_j x_j)]$  dengan biaya  $c_j x_j^{d_j}$  pada setiap obyek dalam JIS yaitu:

$$R_j(x_j) = a_j [1 - \exp(-b_j x_j)] - c_j x_j^{d_j}$$

dengan:  $a_j, b_j, c_j$ , dan  $d_j$  adalah konstanta positif.

Persoalan matematis yang dipecahkan adalah mencari sejumlah  $n$  nilai variabel  $x_j$  yang memenuhi keuntungan bersih maksimal pada setiap obyek dalam JIS. Keuntungan bersih tersebut harus dihitung bertahap, di mana keuntungan bersih pada posisi obyek ke- $(j+1)$  dipengaruhi oleh pengambilan kebijakan/ keputusan untuk meraih keuntungan bersih pada posisi obyek ke- $j$ .

Nilai konstanta:

$a_1 = 3, a_2 = 10, a_3 = 4, b_1 = 5, b_2 = 5, b_3 = 10, c_1 = 2, c_2 = 1,5$ , dan  $c_3 = 1$ , dan  $d_1 = d_2 = d_3 = 0.1$ .

Untuk penyelesaian permasalahan optimasi pemberian air pada JIS kolam pertambakan udang windu ini, hasil perhitungan keuntungan bersih  $R_j(x_j)$  untuk masing-masing kolam dapat dirinci sebagai berikut.

$x_j$	$R_1(x_1)$	$R_2(x_2)$	$R_3(x_3)$
0	0.00	0.00	0.00
1	0.98	8.43	3.00
2	0.86	8.39	2.93
3	0.77	8.33	2.88
4	0.70	8.28	2.85
5	0.65	8.24	2.83

Alokasi air sampai pada kolam ke-3 dengan  $x_3$

		$R_3(x_3)$						Optimal	
$S_3$	$x_3$	0	1	2	3	4	5	$f_3(S_3)$	$x_3$
0	0.00	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00
1	0.00	3.00	-	-	-	-	-	3.00	1.00*
2	0.00	3.00	2.93	-	-	-	-	3.00	1.00*
3	0.00	3.00	2.93	2.88	-	-	-	3.00	1.00*
4	0.00	3.00	2.93	2.88	2.85	-	-	3.00	1.00*
5	0.00	3.00	2.93	2.88	2.85	2.83	-	3.00	1.00*

Alokasi air sampai pada kolam ke-2 dengan  $x_2$

		$R_2(x_2) + f_3(S_2 - x_2)$						Optimal	
$S_2$	$x_2$	0	1	2	3	4	5	$f_2(S_2)$	$x_2$
0	0.00	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00
1	3.00	8.43	-	-	-	-	-	8.43	1.00
2	3.00	11.43	8.39	-	-	-	-	11.43	1.00*
3	3.00	11.43	11.39	11.33	8.28	-	-	11.43	1.00*
4	3.00	11.43	11.39	11.33	11.28	8.24	-	11.43	1.00*
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Alokasi air sampai pada kolam ke-1 dengan  $S_1$

		$R_1(x_1) + f_2(S_1 - x_1)$						Optimal	
$S_1$	$x_1$	0	1	2	3	4	5	$f_1(S_1)$	$x_1$
5	11.43	12.41	12.29	12.20	-	-	-	12.41	1.00*

Dengan demikian, berdasar hasil perhitungan optimasi JIS kolam pertambakan udang windu yang telah diuraikan dapat direkomendasikan:

“Debit yang dialirkan masuk melalui pintu-pintu air pada masing-masing kolam pertambakan udang windu secara berurutan mulai dari kolam ke-1, 2, dan 3 adalah 1 liter/s, 1 liter/s, dan 1 liter/s, dari sejumlah debit 5 liter/s yang tersedia, sehingga masih tersedia debit 2 liter/s yang dapat dialokasikan ke kolam ke-4 yang masih dalam persiapan konstruksi.”

### **6.3 PERMASALAHAN YANG DISESELKAN**

1. Berapakah keuntungan bersih yang dapat dihasilkan perusahaan pertambakan dalam Penyelesaian kasus 6.8 mengalokasikan debit aliran air ke kolam-kolam pertambakan sebesar 3 liter/s dari potensi sebesar 5 liter/s debit air yang tersedia.
2. Berapakah keuntungan bersih yang dapat dihasilkan perusahaan pertambakan dalam mengalokasikan debit aliran air ke kolam-kolam pertambakan sebesar 5 liter/s, seluruh debit air yang tersedia pada saluran irigasi pertambakan.
3. Berapakah kedalaman air pada masing-masing kolam dalam Penyelesaian kasus 6.8 dengan debit aliran air sebesar 3 liter/s.

## Daftar Pustaka

- [1] Aschauer, David A. 1990. "Why Is Infrastructure Important?". Paper presented to a conference of the Federal Reserve Bank of Boston at Harwich Port, Massachusetts, June 28-29, 1990.
- [2] Bartlett, Gary. 1993. "Systemic Thinking: a Simple Thinking Technique for Gaining Systemic Focus". *System Dynamics Review*. 9(2), pp. 113-133, 1993 [3].
- [3] Bellman, Richard Ernest dan Stuart B. Dreyfus. 1962. *Applied Dynamic Programming*. London: Oxford Univ. Press.
- [4] Bellman, Richard Ernest. 1954. "The theory of dynamic programming". *Bulletin of the American Mathematical Society* 60 (1954), 503-515.
- [5] Chow, V.T., Maidment D.R., dan Mays L.W. 1988. *Applied Hydrology*. Singapore: McGraw-Hill Inc. International Edition.
- [6] Dantzig, George B. 1963. *Linear Programming and Extensions*, New Jersey: Princeton University Press.
- [7] Dantzig, George B. 2002. "Linear Programming". *Operations Research* Vol. 50 No. 1. January-February 2002. pp. 42-47.
- [8] Encyclopaedia Britannica, [www.britannica.com](http://www.britannica.com) (diakses pada jam 03.30 WIB tanggal 22 Agustus 2015)
- [9] Kreyszig E. *Advanced Engineering Mathematics*. Fifth Edition. Canada: John Wiley & Sons.
- [10] Suriasumantri, Jujun S. 2001. *Filsafat Ilmu Sebuah Pengantar Populer*. Cetakan Keempatbelas. Jakarta: Pustaka Sinar Harapan.
- [11] Thaha, Hamdy A. 1995. *Operations Research an Introduction*, 5<sup>th</sup> ed. New Delhi: Prentice-Hall.
- [12] Utomo, K. Satrijo dan Endah Kanti Pangestuti. 2011. "Perilaku Lentur Dospel Kusen Beton Bertulang". *Jurnal TERAS*, Tahun 8 Ed.II hlm. 15-72.

- [13] Utomo, K. Satrijo, Dinar Catur Istiyanto, Suranto, Radianta Triatmadja, dan Nur Yuwono. 2004(a). "Karakteristik Hidraulik Hutan Bakau dalam Meredam Energi Tsunami". *Seminar: Perkembangan Riset untuk Penanggulangan Bencana Tsunami di Indonesia*. 9 Maret 2004.
- [14] Utomo, K. Satrijo, Radianta Triatmadja, dan Nur Yuwono. 2004(b). "Rhizophora Forest as a Tsunami Damper". *TEKNOSAINS*, No.1 Vol.17 (1) hlm. 131-147.
- [15] Utomo, K. Satrijo. 1999. "Penggambaran Jaring Aliran (Flownet) dengan Metoda Beda Hingga". *Jurnal TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN*, No.2 Vol.1 hlm. 120–134.
- [16] \_\_\_\_\_. 2014. *Fisika Terapan*. Semarang: UNNES Press.

# Indeks

## A

Abstrak 101  
Aturan 5, 6, 8, 16,  
Alam semesta 6, 55, 62, 101,  
127, 128, 173  
Aktivitas 5, 7, 8, 10, 20, 21, 27,  
28, 29, 30, 82, 83, 85

## B

Badan hukum 3, 9, 11, 15, 23,  
24, 25, 32, 66, 68, 71, 85, 86,  
95  
Badan usaha 3, 9, 11, 15, 23, 32,  
66, 85, 86, 95  
Bahasan hasil 111, 113  
Bangunan 16, 22, 58, 61, 86, 90,  
91, 115, 155  
Berkelanjutan 1, 2, 3, 4, 81,  
Bidang humaniora 5, 6, 25, 26  
Bidang kerja 1, 2, 3, 5, 17, 18,  
19, 20, 24, 27, 32, 35, 43, 50,  
66, 81, 82, 83, 93, 99, 104  
Bidang sains 4, 5, 6, 8  
Bidang sains dan teknik 8, 26  
Bidang sosial 5, 6, 8, 25, 27, 100  
Bidang teknik 4, 6, 8, 21, 26, 27  
Bidang teknik sipil 27, 38

## C

Campuran 25, 155  
Cara grafis 127, 136, 137, 139  
Cara 6, 8, 16, 42, 72, 104, 109,  
127

## D

Daftar pustaka 111, 164  
Dampak 14, 16, 28, 49, 52, 71,  
74, 115, 162  
Dampak langsung 24, 162  
Dampak minimal 52  
Dampak negatif 14, 16, 28, 46,  
52  
Dampak positif 14, 16, 23, 28,  
30, 44, 45, 46, 48  
Data empiris 155, 156  
Data primer 112, 113, 155  
Data sekunder 113, 155

## E

Efektif 4, 5, 13, 20, 46, 48, 49,  
52, 97, 98, 101, 104, 114, 115,  
116, 121, 127  
Efektifitas 4, 12, 13, 16, 17, 23,  
28, 44, 49, 50, 65, 77, 98, 103,  
108, 118, 130, 131, 132



Efisien 4, 5, 12, 13, 20, 47, 49,  
52, 64, 65, 78, 98, 101, 104,  
114, 115, 116, 117

Efisiensi 46, 48, 50, 64, 65, 77,  
98, 102, 103, 108, 118, 120,  
132, 153

Eksponensial 170, 171, 178

Ekstrapolasi 4, 154, 155, 156,

Empiris 39, 40, 62, 100, 114

Etos kerja 20

Expo 2

## **F**

Fenomena 6, 10, 14, 20, 27, 28,  
38, 44, 45, 63, 100, 101, 102,  
103, 104, 105, 109, 116, 132,  
154, 161, 162

Fenomena empiris 62

Fungsi 16, 21, 35, 41, 42, 60, 83,  
90, 91, 96, 107, 131

Fungsi kendala 128, 129, 130,  
132, 136, 142, 143, 145, 146,  
148, 149, 172

Fungsi keuntungan 144

Fungsi obyektif 128, 129, 130,  
131, 132, 135, 136, 140, 144,  
146, 149, 150, 165, 172, 173,  
175

## **G**

Gabungan 5, 6, 25, 38, 53, 112,  
117

## **H**

Hambatan 4, 33, 34, 63, 92, 162

Hasil 2, 3, 5, 6, 7, 20, 30, 38, 44,  
47, 68, 70, 98, 105, 107, 109,  
111, 112, 113, 114, 115, 117,  
118, 121, 126, 135, 139, 144,  
153

Hasil pengukuran 155, 156,  
157, 158

Hipotesis 103, 109, 111, 112,  
113

## **I**

Ilmu sains 4

Ilmu teknik 4, 30, 31

Infrastruktur 3, 20, 21, 22, 23,  
24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 34,  
35, 36

Infrastruktur dependen 22

Infrastruktur independen 22

Infrastruktur sistem 3, 20, 21,  
22, 68, 69, 73, 156

Interpolasi 14, 154, 155, 156,  
157, 158

Investasi 23, 24

IS 3, 4, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 30,  
31, 34, 35, 38, 44, 46, 49, 55,  
56, 61, 67, 68, 70, 71, 72, 73,  
74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 80,  
82, 83, 96, 105, 114, 115, 116,  
117, 119, 120, 121, 122, 126,

151, 154, 157, 158, 162, 164,  
165, 166, 167, 169, 171

## **J**

Jaringan 15, 18, 19, 22, 81, 82,  
83

Jaringan infrastruktur sistem 3,  
20, 22, 81, 82

JIS 3, 5, 20, 22, 23, 27, 28, 30, 32,  
33, 37, 50, 64, 81, 82, 83, 84,  
85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,  
93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100,  
101, 102, 103, 105, 107, 109,  
111, 114, 115, 116, 117, 118,  
119, 120, 121, 122, 123, 124,  
125, 126, 127, 133, 152, 153,  
154, 161, 162, 163, 165, 172,  
178, 179, 180, 181, 182, 183

JIS Distribusi 85, 86, 87

JIS Drainase 83, 91, 92

JIS Irigasi 83, 89, 90, 91

JIS khusus 95

JIS kombinasi terstruktur dan  
tidak 94

JIS MEI 83, 86, 87

JIS SPAM 83, 87, 88

JIS SPL 5, 88, 89

JIS TD 83, 92, 93, 94, 126, 133,

JIS terbuka 94

JIS terstruktur 94

JIS tertutup 94

JIS TI 83, 84, 85

JIS tidak terstruktur 94

JIS TL 83, 85, 86

JIS Transmisi 85, 87, 88

JIS umum 95

JIS yang dikelola oleh swasta  
95

JIS yang dikelola pemerintah  
95

## **K**

Keputusan bertahap 172

Keluaran jis 154

Kinerja 32, 33, 47, 62, 129, 157,  
163

Kinerja operasi 65,

Kinerja umum sistem 49, 50, 52

Kinerja maksimum sistem 50,  
51, 52

Kinerja minimal sistem 51, 52

Kinerja optimal sistem 49, 52,  
64, 66, 79, 117, 162, 163

Kinerja komponen 64, 66, 67

Kualitas material 23,

Unjuk kerja 49, 66, 76, 114, 115

Komposisi 25, 101, 135, 138,  
144, 147, 149

Keseluruhan 2, 65, 70, 71, 77,  
79

Kesejajaran sistem 63

Kenyaman hidup 24

Kebutuhan individu 26

Kebutuhan dasar 26

Kapasitas produksi 32, 70, 74

Kesalahan prosedur operasi 72, 75  
Kualitas standar produk 72, 73  
Kerusakan komponen 71, 73, 75, 78  
Penyusutan komponen 76  
Inventaris komponen 77  
Perbaikan komponen 77, 78, 79  
Pergantian komponen 75, 78, 79, 80  
Komponen utama JIS 93  
Komponen pendukung JIS 93  
Komponen pelengkap JIS 93  
Komponen primer JIS 93  
Komponen sekunder JIS 94  
Komponen tersier JIS 94  
Komponen kuartar JIS 94  
Kuantitas 7, 8, 79  
Kinerja optimal 4, 47, 49, 52, 54, 64, 66, 67, 68, 79, 97, 101, 117, 118, 121, 127, 157, 158, 162, 163  
Kejadian 6, 38, 53, 54  
Keluaran sistem 7, 8, 14, 36, 38, 39, 50, 57, 62, 155  
Keluaran 6, 7, 8, 10, 14, 36, 39, 45, 50, 51, 102, 104, 105, 154  
Kinerja sistem 7, 14, 16, 17, 37, 47, 48, 49, 64, 66, 67, 69, 77, 79, 118, 119, 129, 132, 139, 148, 150, 157, 172  
Kolektor 18, 19, 43

Kebijakan 4, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 32, 65, 107, 108, 109, 147, 181,  
Komponen sistem 6, 7, 10, 11, 16, 17, 21, 28, 34, 35, 36, 37, 38, 45, 47, 48, 53, 56, 57, 65, 67, 71, 79, 107  
Kehidupan nyaman 23, 24, 30  
Kesejahteraan 6, 23, 24, 30, 49, 82  
Kualitas 7, 8, 17, 23, 33, 34, 38, 45, 46, 47, 65, 66, 72, 73, 76, 79, 102, 115, 117

## **L**

Landasan teori 112  
Laporan pengkajian  
Lingkup 2, 3, 5, 9, 11, 16, 17, 20, 22, 23, 27, 38, 40, 42, 43, 47, 48, 59, 60, 62, 85, 107, 108, 109, 111, 119, 125  
Logaritma 168, 169

## **M**

Masukan 6, 7, 10, 12, 17, 36, 38, 39, 49, 51, 52, 57, 62, 103, 105, 154  
Materi 6, 24, 38, 100, 101  
Material 12, 13, 15, 23, 24, 25, 26, 27, 34, 38, 59, 76, 112, 147  
Metode *basis struktur* 102  
Metode grafis 131

Metode ilmiah 101, 109, 111, 112  
Metode sistem 3, 17, 20, 21, 22, 25, 45, 81, 83, 99, 100  
Metode *sistemik* 104, 105  
Metodologi 111, 112  
Model 114, 115, 116  
Modul 96  
Mutu 14, 17, 20, 72  
Mutu produk 108  
Mutu produk kerja 20

## **N**

Nodal 94, 96  
Nonlinear 123, 124, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 169, 171, 172, 173  
Nonpemerintah 25  
Nonstruktur 28, 29, 74

## **O**

Operasi 29, 32, 33, 34, 35, 37, 44, 45, 46, 47,  
Optimasi  
Organisasi 6, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 21, 25, 28, 29, 44, 47, 50, 95, 104, 107

## **P**

Parameter 112, 127, 130, 145, 146, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Pembangunan 1, 2, 3, 4, 15, 16, 17, 20, 23, 24, 25, 30, 33, 35, 73, 76, 81  
Pembangunan bidang kerja 1, 3, 5, 17, 20  
Pembangunan nasional 1, 3, 4, 20, 81  
Pembangunan nasional berkelanjutan 3, 4, 81  
Pembangunan sektor 1  
Pemrograman dinamik 4, 121, 123  
Pemrograman linear 4, 121, 123  
Pengembangan JIS 3, 32, 33, 100  
Penghubung 43, 94, 96  
Pengkajian 39, 40, 43, 44, 62, 70, 101, 102, 104  
Pengkajian JIS 106  
Pengkajian sistem 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 117, 118, 124  
Pengkajian ulang 64  
Penyelesaian layak awal 146, 148, 150  
Penyelesaian layak optimal 146, 148, 149, 150, 151, 160  
Perawatan 4, 9, 15, 16, 21, 23, 33, 34, 35, 37, 44, 45, 46, 47, 52, 58, 64, 65, 66, 67, 68, 75, 76, 78  
Perawatan berkala 67, 71, 78, 79

Perawatan khusus 65, 66, 79  
Perawatan rutin 66, 67, 71, 78  
Perawatan total infrastruktur sistem 4, 68, 69  
Peristiwa 6, 14, 38  
Pihak berkepentingan 9,  
Polinomial 164, 165, 167  
Prasarana 9, 13, 14, 15, 16, 20, 29, 31, 52, 61, 89, 90  
Prasarana fisik 24, 29, 30, 38, 39, 43, 108, 147, 148  
Produk 2, 3, 5, 9, 12, 14, 16, 20, 24, 32, 33, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 52, 65, 66, 67, 72, 73, 74, 75, 78, 79, 102, 107, 108  
Produk optimal 70  
Produk sistem 13, 14, 16, 20, 24, 34, 45, 47, 52, 72, 73, 74, 107, 130  
Produksi optimal sistem 70  
Proses 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,  
Proses pendukung 40  
Proses utama 40, 42  
Prototipe 113, 114, 115, 116, 117, 121, 124, 162  
Ptis 4, 68, 69, 71, 76, 98

## **Q**

*Quasi-natural* 6  
Questioner 112

## **R**

Rasio konstanta 132, 133  
Rasio variabel 132, 133, 140  
Rencana O & P 70, 71, 74, 76

## **S**

Sarana 9, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 24, 29, 31, 38, 39, 44, 46, 47, 49, 50, 52, 61, 98, 108, 124, 147, 148, 157  
Sarana fisik 15, 16, 24, 29, 30, 31, 39, 39  
Satuan 8, 9  
Secara alami 6, 25, 27, 31, 37, 38, 39, 46, 47, 49, 53, 54, 59, 63, 99, 161,  
Sektor 1, 3, 5, 17, 18, 19, 20, 24, 42, 43, 99  
Semi alam 6, 7, 28, 37, 38, 45, 47, 49, 51, 53, 54, 97, 99, 100, 161  
Semi alam 6, 7, 28, 37, 38, 45, 47, 49, 53, 54, 97, 99, 100, 161  
Simpleks 4, 121, 123, 145  
Simulasi model 115, 116, 117, 121, 124, 127, 162  
Simulasi prototipe 114, 115, 117  
Sinergi kinerja 64  
Sistem 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30, 31,

- 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39,  
40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47,  
48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55,  
56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63,  
64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71,  
72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79,  
80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88,  
89, 91, 92, 93, 95, 97, 99, 100,  
101, 102, 103, 104, 105, 106,  
107, 108, 109, 110, 111, 114,  
115, 117, 118, 119, 121, 123,  
124, 125, 126, 127, 128, 129,  
120, 131, 132, 133, 135, 136,  
137, 138, 139, 140, 144, 145,  
146, 147, 148, 150, 151, 152,  
155, 157, 160, 161, 162, 163,  
164, 165, 169, 171, 172, 173,  
177, 181
- Sistem alam 7, 12, 13, 28, 44, 45,  
49, 51, 55, 61, 62, 83, 97, 99,  
100, 101, 103, 120, 163
- Sistem otomatis 59
- Sistem bersamaan 58
- Sistem berurutan 57
- Sistem besar 56
- Sistem buatan 9, 28, 45, 49, 50,  
51, 53, 65
- sistem dependen* 61
- Sistem *deterministic* 54
- Sistem digital 5, 7
- Sistem dinamik 57
- Sistem independen* 60
- Sistem interdependen* 61
- Sistem interindependen* 61
- Sistem internasional 59
- Sistem kecil 55
- Sistem kompleks 56
- Sistem Kotak Hitam 39, 62, 155
- Sistem linear 57
- Sistem lokal 60
- Sistem manual 58
- Sistem manual/nonteknis 58
- Sistem mekanis/teknis 58
- Sistem mini 55
- Sistem multidependen* 61
- Sistem multiindependen* 61
- Sistem nasional 59
- Sistem nonlinear 57
- Sistem regional 60
- Sistem sangat besar 56
- Sistem satuan 8
- Sistem sedang 55
- Sistem sederhana 56
- Sistem semi alam 53, 54
- Sistem semi otomatis 59
- Sistem semi mekanis/semi  
teknis 58
- Sistem simultan 58
- Sistem statis 56
- Sistem Stokastik 54
- Sistem umum 17, 24, 48, 52
- Sistem universal 59
- Solusi ganda 140, 141, 144
- Stabil 25, 26, 56
- Strategi 17, 48, 70, 107, 108,  
109, 115, 118

Struktur 25, 26, 27, 28, 29, 30,  
31, 93, 94, 95, 102, 103, 104,  
109, 149,  
Subkolektor 18, 19, 43  
Subproses 40, 42  
Subsistem 12, 17, 18, 19, 32, 35,  
37, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 62,  
63, 64, 68, 70, 71, 72, 85, 87,  
88, 91, 105, 119, 127, 132, 139,  
151, 172  
Sumberdaya 3, 5, 12, 13, 15, 34,  
44, 46, 47, 49, 50, 52, 58, 65,  
70, 75, 98, 107, 108, 118, 157  
Suprasarana 9, 13, 14, 15, 16  
Susunan 25, 26, 27, 94, 96, 111,  
112,

## **T**

Tatanan 5, 6, 33, 40  
Teoritis 100, 114, 121  
Terapan 4, 27,  
Terprogram 2, 3, 28  
Tinjauan teori 110, 111

## **U**

Unit 3, 9, 15, 135, 178, 180  
Unit dan penyebutan 100,

*Universe* 7

## **V**

Variabel masukan 128  
Variabel *slack* 145, 146, 149  
Variabilitas 3

## **W**

Wadah 21  
Wahana 20, 21

## **Z**

Zat 25, 38, 55  
Zone 20, 31, 60, 85, 86, 88, 91,  
92, 94, 130, 131, 133, 136, 138,  
141

# Glosarium

**Dampak** yang dapat bersifat positif atau negatif baik di dalam maupun di luar sistem.

**Infrastruktur dependen** merupakan suatu infrastruktur yang dibuat/dibangun dan dioperasikan bergantung pada infrastruktur atau komponen infrastruktur lain.

**Infrastruktur independen** merupakan suatu infrastruktur yang dibuat/dibangun dan dioperasikan tanpa bergantung pada infrastruktur atau komponen infrastruktur lain.

**Infrastruktur** merupakan seluruh fasilitas fisik pendukung kelancaran struktur.

**Infrastruktur sistem (IS)** merupakan infrastruktur yang dibangun pada suatu sistem.

**Jaringan infrastruktur sistem (JIS)** merupakan rangkaian 2 atau lebih infrastruktur yang difungsikan secara sinergi.

**JIS khusus** merupakan JIS yang dibangun untuk keperluan masyarakat khusus.

**JIS kombinasi terstruktur dan tidak terstruktur** dengan bentuk jaringan terbuka.

**JIS terbuka** merupakan JIS yang memiliki bagian ujung tidak berhubungan langsung dengan bagian pangkal dari jaringan.

**JIS terstruktur** merupakan JIS dengan susunan berurutan sesuai dengan hirarki tertentu dengan bentuk jaringan terbuka.

**JIS tertutup** atau *loop* merupakan JIS yang memiliki ujung dan pangkal pada posisi sama, dapat pada posisi nodal sama atau pun penghubung sama.

**JIS tidak terstruktur** merupakan JIS tanpa hirarki urutan susunan dengan jaringan tertutup.

**JIS umum** merupakan JIS yang dibangun untuk keperluan masyarakat umum.



**JIS yang dikelola oleh swasta** merupakan JIS yang dikelola oleh swasta baik perorangan atau kelompok masyarakat, maupun badan usaha atau badan hukum yang diberi wewenang oleh pemerintah.

**JIS yang dikelola pemerintah** merupakan JIS yang dikelola oleh pemerintah.

**Kapasitas produksi sistem** adalah jumlah produk maksimal suatu sistem dalam satu siklus kerja sistem.

**Kebijakan** pada sistem merupakan keputusan organisasi yang diberlakukan oleh pembuat komitmen/ kebijakan pada sistem atau pun subsistem di dalamnya.

**Kinerja maksimum sistem** atau **potensi sistem** merupakan prestasi maksimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem.

**Kinerja minimal sistem** merupakan prestasi minimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem dalam mengubah masukan menjadi keluaran.

**Kinerja optimal sistem** merupakan prestasi maksimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem dalam menghasilkan keuntungan maksimal dalam kondisi masukan sumberdaya dan sarana minimal.

**Kinerja umum sistem** atau **unjuk kerja umum sistem** merupakan prestasi rata-rata proses dalam sistem.

**Komponen kuartier JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi setelah komponen tersier JIS.

**Komponen pelengkap JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki pengaruh tidak besar terhadap JIS sehingga komponen tersebut banyak difungsikan untuk meningkatkan efisiensi JIS.

**Komponen pendukung JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki pengaruh besar terhadap JIS sehingga JIS tidak dapat berfungsi dengan efektif dan efisien tanpa kelengkapan komponen tersebut.

**Komponen primer JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi/letak/kedudukan langsung berhubungan dengan atau setelah konstruksi/bangunan utama.

**Komponen sekunder JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi setelah komponen primer JIS.

**Komponen tersier JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki posisi setelah komponen sekunder JIS.

**Komponen utama JIS** merupakan komponen JIS yang memiliki pengaruh sangat besar terhadap JIS sehingga JIS hanya dapat berfungsi dengan kelengkapan komponen tersebut.

**Kualitas standar produk sistem** merupakan suatu ukuran kualitas minimum untuk produk suatu sistem sesuai dengan ketentuan dan peraturan yang berlaku.

**Metode basis struktur** adalah suatu cara penyelesaian permasalahan pada sistem dan JIS dengan meninjau struktur pada proses-proses dalam sistem.

**Metode ilmiah** merupakan cara mendapatkan kebenaran berdasarkan pada bukti fisik atau data.

**Metode simulasi** adalah suatu serial pengujian secara simultan memakai prototipe, model, atau kombinasi model dan prototipe.

**Metode sistemik** (systemic thinking) merupakan suatu metode untuk menyelesaikan permasalahan dengan memandang permasalahan sebagaimana suatu sistem.

**Modul** dalam JIS merupakan susunan nodal dan penghubung sehingga membentuk suatu pola JIS tertentu yang relatif sederhana, berfungsi mewakili suatu IS atau JIS dan saling terhubung antara satu dengan lainnya.

**Nodal** adalah simbol berupa titik yang berukuran relatif besar sehingga mudah dilihat tanpa alat bantu, berfungsi sebagai suatu obyek dalam jaringan.

**Optimasi sistem dan JIS** adalah kegiatan pengkajian secara lebih mendalam terhadap permasalahan pada sistem dan/atau JIS

dengan tujuan utama untuk menghasilkan kualitas kinerja optimal sistem dan/atau JIS.

**Organisasi** merupakan susunan dan hubungan antar persona yang bertindak selaku subyek dalam sistem.

**Penghubung** adalah simbol berupa garis dengan atau tanpa tanda anak panah.

**Penyusutan komponen infrastruktur sistem** merupakan berkurangnya kualitas komponen infrastruktur sistem sejalan dengan waktu operasi komponen infrastruktur sistem yang berpotensi menurunkan unjuk kerja sistem.

**Perawatan Total Infrastruktur Sistem (PTIS)** merupakan suatu metode penilaian (assessment) kinerja sistem beserta komponen-komponen infrastruktur sistem maupun subsistem di dalamnya.

**Pihak berkepentingan** pada sistem dapat merupakan perorangan atau badan usaha atau pun badan hukum yang memiliki minat, kepentingan, potensi, dan kekuasaan baik di dalam maupun luar organisasi.

**Potensi sistem** atau **kinerja maksimum sistem** merupakan prestasi maksimal proses atau rangkaian proses dalam suatu sistem.

**Prasarana** merupakan fasilitas fisik pada sistem yang berfungsi sebagai pendukung/penunjang agar sistem dapat berkerja/beroperasi untuk pencapaian tujuan yang telah direncanakan.

**Produk** merupakan keluaran sistem yang diharapkan dengan jumlah dan mutu sesuai dengan ketentuan/ spesifikasi teknis yang direncanakan.

**Produksi optimal sistem** adalah jumlah produk optimal suatu sistem dalam satu siklus kerja sistem

**Proses** merupakan fenomena perubahan masukan menjadi keluaran.

**Proses utama** merupakan proses paling menentukan untuk berlangsungnya seluruh proses pada sistem.

**Sarana fisik minimal** merupakan sarana fisik yang mutlak diperlukan bersama prasarana fisik untuk mendukung struktur dapat berlangsung.

**Sarana** merupakan peralatan baik fisik maupun nonfisik untuk pencapaian tujuan sistem yang telah direncanakan.

**Sistem alam** adalah sistem dengan komponen-komponen sistem bersifat alami.

**Sistem otomatis** merupakan sistem dengan peran manusia tidak mutlak diperlukan dalam proses kerja sistem.

**Sistem berurutan** merupakan sistem dengan beberapa proses yang berlangsung secara berurutan satu demi satu, dan proses tersebut harus dilaksanakan sesuai dengan urutan.

**Sistem besar** merupakan sistem dengan ukuran besar dengan biaya infrastruktur sistem tergolong mahal.

**Sistem buatan** adalah sistem dengan komponen-komponen sistem bersifat buatan.

**Sistem dependen** merupakan suatu sistem yang memiliki sifat bergantung/ dependen pada sistem lainnya.

**Sistem deterministic** merupakan kelas sistem yang bersifat tidak probabilistik.

**Sistem dinamik** merupakan sistem dengan bentuk atau posisi sebagian dari komponen sistem dapat berubah posisi secara periodik (siklik) ketika sistem dioperasikan.

**Sistem independen** merupakan suatu sistem yang memiliki sifat tidak tergantung/ independen terhadap sistem lainnya.

**Sistem interdependen** merupakan suatu sistem dependen yang saling berhubungan dengan suatu sistem dependen lainnya dengan interaksi saling bergantung antara satu dengan lainnya.

**Sistem interindependen** merupakan suatu sistem independen yang saling berhubungan secara tidak saling bergantung dengan satu sistem independen lainnya.

**Sistem internasional** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup wilayah antar 2 atau lebih negara atau wilayah global.

**Sistem kecil** merupakan sistem dengan ukuran kecil dengan biaya infrastruktur sistem relatif kecil.

**Sistem kompleks** adalah sistem untuk penerapan teknologi menengah atau teknologi tinggi dengan satu atau banyak proses yang tergolong tidak sederhana sehingga proses dalam sistem tergolong rumit.

**Sistem Kotak Hitam** merupakan sistem paling sederhana, di mana pada sistem hanya terdapat satu proses dengan masukan dan keluaran dapat bervariasi.

**Sistem linear** merupakan sistem dengan proses maupun hubungan antara keluaran sistem sebanding (berbanding lurus atau kelipatan) terhadap masukan sistem.

**Sistem lokal** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup hanya pada suatu zone dalam wilayah desa, yang tentu saja berada dalam wilayah kelurahan, kecamatan, atau kabupaten.

**Sistem manual** merupakan sistem dengan proses kerja sistem dilangsungkan dengan sumberdaya manusia, hewan, atau tumbuhan.

**Sistem manual/nonteknis** merupakan sistem yang tidak menggunakan dukungan mesin atau benda buatan manusia dalam keberlangsungan proses sistem.

**Sistem manual/nonteknis** merupakan sistem yang tidak menggunakan dukungan mesin atau benda buatan manusia dalam keberlangsungan proses sistem.

**Sistem mekanis/teknis** merupakan sistem yang seluruh proses di dalamnya dilakukan menggunakan mesin atau benda buatan manusia.

**Sistem mekanis/teknis** merupakan sistem yang seluruh proses di dalamnya dilakukan menggunakan mesin atau benda buatan manusia.

**Sistem** merupakan: 1) suatu rangkaian fenomena/peristiwa/kejadian/proses tertentu yang dialami oleh suatu rangkaian materi tertentu guna mendapatkan hasil/ keluaran tertentu dari berbagai masukan yang juga tertentu. 2) metode /cara/aturan untuk melakukan suatu proses secara efektif dan efisien guna menghasilkan keluaran tertentu dengan masukan yang juga tertentu.

**Sistem mini** merupakan sistem dengan ukuran mini dengan biaya infrastruktur sistem umumnya sangat kecil.

**Sistem multidependen** merupakan suatu sistem dependen yang saling berhubungan dengan 2 atau lebih sistem dependen lainnya dengan interaksi saling bergantung antara satu dengan lainnya.

**Sistem multiindependen** merupakan suatu sistem independen yang saling berhubungan secara tidak saling bergantung dengan 2 atau lebih sistem independen lainnya.

**Sistem nonlinear** merupakan sistem dengan proses atau hubungan antara keluaran sistem tidak sebanding terhadap masukan sistem.

**Sistem regional** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem mencakup zone dalam wilayah antar 2 atau beberapa distrik dalam wilayah suatu negara.

**Sistem sangat besar** merupakan sistem dengan ukuran amat besar dengan biaya infrastruktur sistem tergolong sangat mahal.

**Sistem sedang** merupakan sistem dengan ukuran sedang dengan biaya infrastruktur sistem relatif mahal.

**Sistem sederhana** adalah sistem untuk penerapan teknologi sederhana dengan proses yang tergolong sederhana atau sedikit jumlahnya, sehingga tidak tergolong proses rumit.

**Sistem semi alam** adalah sistem dengan komponen-komponen sistem bersifat gabungan antara bersifat alami dan buatan.

**Sistem semi otomatis** merupakan sistem dengan peran manusia masih diperlukan dalam proses kerja sistem sementara proses kerja sistem berjalan otomatis.

**Sistem semi mekanis/semi teknis** merupakan sistem yang tidak seluruh proses di dalamnya dilangsungkan memakai dukungan mesin atau benda buatan manusia.

**Sistem simultan** merupakan sistem dengan beberapa proses yang berlangsung secara acak tanpa urutan tertentu.

**Sistem statis** merupakan sistem dengan bentuk atau posisi komponen sistem bersifat tetap ketika sistem bersangkutan bekerja/ dioperasikan.

**Sistem *stochastic*** merupakan kelas sistem yang bersifat probabilistik.

**Sistem universal** merupakan sistem dengan lingkup operasi sistem dalam wilayah antar planet, tatasurya, atau galaxy.

**Struktur** merupakan susunan sesuatu saat berlangsung.

**Subproses** merupakan proses selain proses utama dalam sistem.

**Subsistem** merupakan suatu subproses dengan tatanan baru sebagaimana tatanan suatu sistem yang lebih sederhana.

**Sumberdaya** merupakan tenaga, material, biaya, dan waktu yang berfungsi sebagai penggerak sistem dalam mencapai tujuan-tujuan yang direncanakan.

**Suprasarana** merupakan kondisi lingkungan di dalam dan luar sistem baik fisik maupun nonfisik yang berfungsi sebagai pendukung sistem dalam beroperasi untuk pencapaian tujuan yang telah direncanakan.

**Unjuk kerja umum sistem** atau **kinerja umum sistem** merupakan prestasi rata-rata proses dalam sistem.