BAB 1 PENGANTAR DESAIN REKAYASA

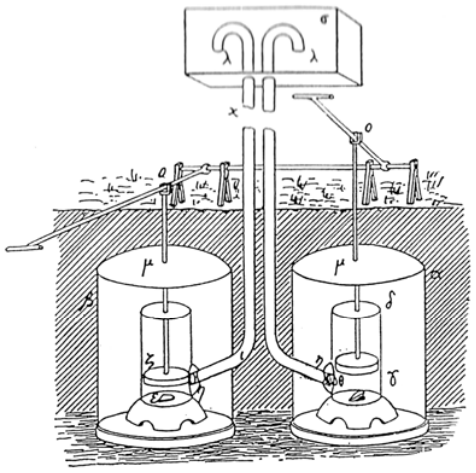
Di dalam Bab Pengantar ini akan didefinisikan proses desain rekayasa yang nantinya akan dibahas secara mendetail. Perspektif sejarah akan diambil untuk menjelaskan kebutuhan akan adanya suatu proses formal dan kompleksitas permasalahan rekayasa saat ini akan dijabarkan. Definisi akan diberikan baik untuk desain rekayasa *(engineering design)* maupun tugas-tugas insinyur desain *(design engineer)*. Desain didefinisikan sebagai teknologi, bukan sains, dan model-model yang dapat diterima dari proses ini akan disajikan. Akhirnya, akan diilustrasikan tingkat komunikasi yang diperlukan untuk keberhasilan desain rekayasa.

1.1 Perspektif Sejarah

Studi sejarah seringkali sangat membantu untuk menjelaskan dan dua tujuan utamanya adalah sebagai berikut. Kesalahan-kesalahan yang pernah dibuat oleh generasi-generasi sebelumnya sebaiknya tidak diulangi. Di samping itu, sangat banyak pengetahuan yang telah berhasil dikumpulkan selama lebih dari berabad-abad lamanya dapat dimanfaatkan untuk keperluan hari ini. Ada pelajaran penting bagi para perancang rekayasa di sini, karena kebanyakan dari produk-produk tidak sepenuhnya merupakan hasil penemuan-penemuan baru, tetapi hanyalah aplikasi-aplikasi dan kombinasi-kombinasi baru dari teknologi yang sudah ada. Studi sejarah ilmu pengetahuan dan teknologi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan pemahaman kita tentang dunia rekayasa modern saat ini dan membantu kita untuk menghindari godaan yang amat nyata untuk '**menemukan kembali roda**' *(re-inventing wheel).*

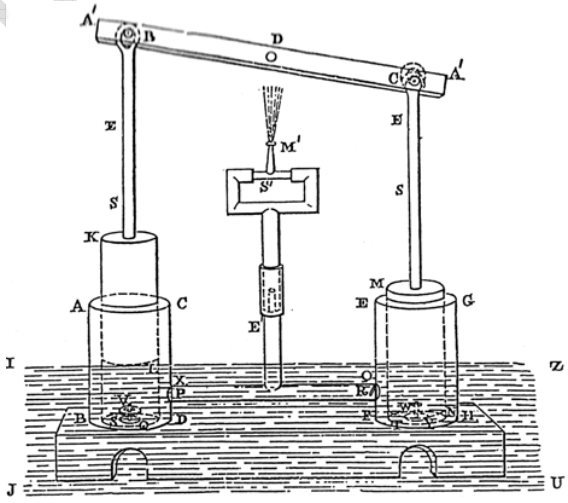
Sangat mengejutkan bagaimana studi sejarah jauh di masa lalu berguna untuk dipelajari. Sebagai contoh, perhatikan penemuan pompa gaya *(force pump)*, yang deskripsi terakhirnya diberikan oleh Philo dari Byzantium dalam Abad ke-Dua sebelum Masehi. Gambar 1-1 adalah suatu reproduksi dari gambar Philo. Ada sedikit penyempurnaan atau pertimbangan estetis, tetapi seluruh prinsip-prinsip pokoknya telah disajikan, dan desain, tak disangka-sangka, menjadi kompleks. Aliran-aliran air ke kondisi vakum sebagian yang dihasilkan oleh gerakan naik piston dan pada gerakan ke bawah, dengan katup-katup pada arah kebalikannya, air akan dipaksa naik melalui pipa menuju tangki. Ketika suatu penemuan seperti pompa gaya pertama kali muncul, produk ini dianggap sebagai sebuah produk **dinamik**. Ini berarti bahwa secara konseptual produk ini adalah kemajuan atau perubahan langkah penting dari apa yang telah dikembangkan sebelumnya. Di samping itu, di dalam suatu produk dinamik tetap ada ruang bagi pengembangan produk yang signifikan, suatu hal yang tidak mungkin terjadi pada produk-produk **statik**.

Control Copy



Gambar 1-1 Pompa Gaya Philo (Philo's Force Pump)

Seperti halnya pada penemuan-penemuan penting lainnya, pompa gaya telah disempurnakan dan selanjutnya muncul dalam bentuk seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1-2, yaitu pompa gaya Hero dari Abad Pertama setelah Masehi. Pada tahap pengembangan ini, secara konseptual pompa akan dianggap sebagai statik karena desain terakhir mengikuti desain sebelumnya. Penyempurnaan-penyempurnaan penting yang dilakukan meliputi penggantian dua pipa untuk mengirim air ke tangki menjadi satu batang tunggal yang bergerak dan bertumpu di tengah, serta penambahan sebuah mulut pipa atau nosel *(nozzle).* Mulut pipa tersebut secara khusus diperkenalkan untuk aplikasi pemadam kebakaran, walaupun baru berabad-abad kemudian pompa ditempelkan pada suatu rangka untuk dapat bergerak ke tempat kebakaran. Jadi, pompa gaya, yang secara konseptual bersifat statik, kembali dianggap menjadi dinamis ketika ide-ide tentang mobilitas pompa gaya pertama kali diajukan, beberapa ratus tahun setelah desain mula-mula.



Gambar 1-2 Pompa Gaya Hero dengan Mulut Pipa yang Dapat Diatur

Controlled Copy

Untuk mencegah kesan yang salah dari contoh ini, penting untuk disadari bahwa tidak setiap pekerjaan desain bersifat inovatif dan bahwa banyak pengembangan-pengembangan produk bersifat bertahap. Pada kenyataannya, sebagian besar dari kehidupan seorang insinyur desain dihabiskan untuk melakukan perbaikan minor terhadap produk-produk yang telah ada.

Di masa lalu, pekerja tangan yang ahli, seperti Hero dan Philo, membayangkan ide-ide hampir secara lengkap di kepalanya dan biasanya bekerja di dalam isolasi sebelum mengkomunikasikan konsep akhir kepada orang lain. Pemikiran-pemikiran dewasa ini, seperti halnya di kemudian hari, dapat bersifat verbal, tetapi lebih sering tidak berbentuk visual dan tiga dimensi, khususnya untuk para insinyur. Tidak seperti Hero dan Philo, insinyur desain modern harus dapat mengekspresikan pemikiran-pemikirannya dengan jelas dan tetap mengkomunikasikannya, melalui keseluruhan proses desain dan pengembangan, baik di dalam maupun di luar tim desain. **Komunikasi** ini, tidak dapat dipungkiri lagi, melibatkan banyak **pembuatan sketsa**, dan oleh karena itu, bagi seorang perancang, keterampilan di bidang ini adalah esensial. Untuk itu, mahasiswa teknik perlu mengembangkan keterampilan membuat sketsa dengan cepat dalam tiga dimensi melalui latihan-latihan.

Tingkat pengetahuan ilmiah dan teknis yang dimiliki oleh Hero dan Philo pada saat itu adalah terbatas jika dibandingkan dengan pemahaman kita hari ini. Bagaimanapun, dari kedua gambar yang menunjukkan pompa gaya dapat dilihat bahwa mereka harus memiliki pengetahuan yang mendalam tentang **material**, **ilmu-ilmu rekayasa**, dan **proses-proses manufaktur** yang ada pada saat itu. Para pekerja tangan yang ahli ini tidak secara terbuka menggunakan proses desain rekayasa yang formal. Akan tetapi, dengan kemajuan-kemajuan penting yang dicapai di dalam teknologi material dan manufaktur, peningkatan pengetahuan di dalam ilmu-ilmu rekayasa, perhatian yang lebih besar terhadap aspek lingkungan, kompetisi yang semakin meningkat, penekanan yang lebih besar terhadap efisiensi energi, semakin meningkatnya kecanggihan produk-produk yang diperlukan hari ini, suatu proses desain rekayasa yang formal telah menjadi semakin esensial. Di samping itu, mereka harus pula memiliki sedikitnya apresiasi terhadap pembatas-pembatas ekonomi karena dengan menggunakan ember orang mungkin dapat melakukan pekerjaan yang sama dengan pompa gaya untuk investasi yang jauh lebih rendah!

Perlu dikatakan pula sejauh ini, bahwa hal ini akan muncul sebagai suatu hal yang cukup mengejutkan bagi para insinyur desain muda, ketika mereka menyadari bahwa hanya sebagian kecil saja keputusan dibuat oleh seorang insinyur desain berdasarkan pengetahuan ilmu-ilmu rekayasa yang lengkap. Pengetahuan yang digunakan oleh seorang insinyur desain sangat luas dan bervariasi. Memang benar bahwa sebagian diturunkan dari ilmu pengetahuan, tetapi sebagian besar lainnya diperoleh dari hasil pengujian dan evaluasi, serta pengamatan-pengamatan material dan sistem.

Pada jaman Hero dan Philo, usaha-usaha di bidang rekayasa yang berdampak penting pada kehidupan manusia relatif tidak sering terjadi dan oleh karenanya dianggap istimewa. Di samping itu, para praktisi umumnya juga mengingatnya.

Control Doc Copy

Hal ini bukanlah hal yang kerap terjadi hari ini, walaupun para insinyur memiliki pengaruh yang tidak proporsional terhadap dunia di mana kita berada. Kurang dari 1% populasi adalah insinyur dan secara kasat mata, semua yang terlihat di sekitar kita adalah buah tangan manusia *(man-made)* dan telah didesain untuk menjadi seperti itu.

1.2 Definisi Desain Rekayasa

Di dalam studi ilmu pengetahuan, kita berusaha mengembangkan teori-teori yang dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena alam. Teori ilmiah terdiri atas suatu pernyataan atau kumpulan pernyataan yang mendefinisikan suatu sistem yang ideal atau bersifat teoritis. Prinsip-prinsip ilmiah ini juga berlaku pada ilmu-ilmu rekayasa *(engineering sciences)*. Subyek-subyek dari ilmu rekayasa seperti thermodinamika, mekanika, dan ilmu bahan, biasanya berdasarkan pada prinsip-prinsip ilmiah, seperti Hukum Thermodinamika I dan II, Hukum-hukum Newton, serta Teori Atom dan Molekul.

Desain rekayasa agak berbeda dengan ilmu pengetahuan, karena teori dan hipotesis tidak dapat dikembangkan atau diuji melalui percobaan laboratorium. Desain rekayasa mencakup berbagai pokok persoalan yang jauh lebih luas, meliputi pembahasan tentang manusia dan organisasi. Oleh karena itu, desain rekayasa harus dianggap sebagai **teknologi**. Ini pun masih bersifat parsial karena tidak ada jawaban tunggal yang mutlak untuk setiap masalah yang mencakup baik pembuatan keputusan maupun kompromi, karena hampir semua parameter desain bersifat kontradiktif.

Setelah memahami bahwa desain rekayasa adalah teknologi, selanjutnya kita perlu membuat suatu definisi. Banyak definisi telah dibuat, terutama dalam rangka mencari suatu definisi yang lugas dan singkat, tetapi dapat mencakup semua aspek penting. Desain sering didefinisikan di dalam kamus sebagai *"to fashion after a plan"*, yang hanya sedikit menjelaskan bagaimana 'cara kerja' dari apa yang kita sebut sebagai desain. Definisi berikut ini adalah definisi gabungan, baik untuk proses maupun pelaku desain, yang diambil dari *UK based IED (Interdisciplinary Engineering Design)* dan *Engineering Design Lecture Organization, SEED Ltd. (Sharing Experience in Design)*.

"Engineering design is the total activity necessary to establish and define solutions to problem not solved before, or new solution to problems which have previously been solved in a different way. The engineering designer uses intellectual ability to apply scientific knowledge and ensures the product satisfies an agreed market need and product design specification whilst permitting manufacture by the optimum method. The design activity is not complete until the resulting product is in use providing an acceptable level of performance and with clearly identified methods of disposal"

(Desain rekayasa adalah aktivitas total yang diperlukan untuk mengadakan dan mendefinisikan solusi-solusi untuk masalah yang belum dipecahkan sebelumnya, atau solusi baru untuk masalah-masalah yang telah dipecahkan sebelumnya dengan suatu cara yang berbeda. Perancang rekayasa menggunakan kemampuan intelektual untuk mengaplikasikan pengetahuan

Controlled Copy

ilmiah dan memastikan bahwa produk memenuhi kebutuhan pasar yang telah disepakati dan spesifikasi desain produk serta memungkinkan proses manufaktur dengan metode yang optimum. Aktivitas desain tidak lengkap hingga produk yang dihasilkan dalam penggunaannya memberikan suatu tingkat unjuk kerja yang dapat diterima serta dengan metode pembuangan yang diidentifikasi secara jelas)

Untuk meningkatkan pemahaman tentang desain, kita perlu memperluas definisi ini, serta mengidentifikasi dan menggarisbawahi **karakteristik utama dari desain rekayasa**, yaitu:

- Lintas Disiplin *(Trans-Diciplinary)*
- Sangat Kompleks *(Highly Complex)*
- Iteratif *(Iterative)*

Saat ini, kebanyakan dari desain rekayasa merupakan hasil karya dari suatu **tim lintas disiplin** di mana perbedaan antara disiplin-disiplin yang bersifat tradisional, seperti mesin, kelistrikan, elektronika, sipil, dan bahkan kimia menjadi kabur. Bidang-bidang spesialisasi yang relatif baru, seperti teknik kendali (*control engineering)* dan teknik perangkat lunak (*software engineering)* perlu kita tambahkan ke dalam daftar.

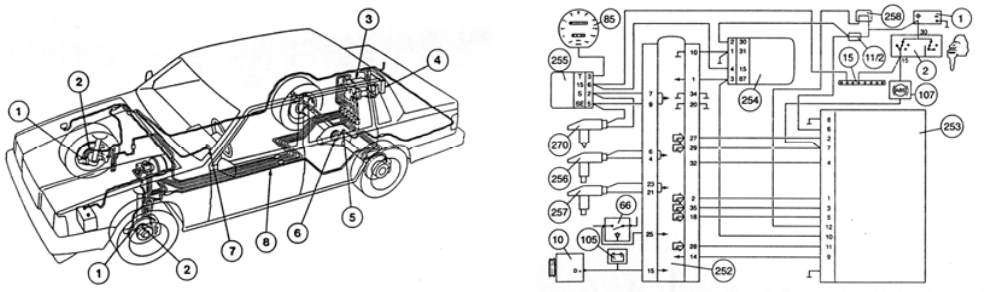
Perhatikan misalnya kendaraan bermotor, yang beberapa waktu lalu merupakan bagian utama dari pekerjaan para insinyur mesin (*mechanical engineers)*. Sistem manajemen mesin yang kompleks, *Anti-lock Braking System*, *Active Suspension System*, *Four-Wheel Steering*, *Air Bags*, *Automatic Seat Belts Tensioning* hanyalah sebagian contoh dari beberapa perkembangan baru. Sistem tersebut sangat kompleks dan untuk dapat menghasilkan desain yang optimum diperlukan masukan dari banyak insinyur. **Pemilihan teknologi untuk tiap-tiap bagian desain yang benar-benar integral telah menjadi penentu utama keberhasilan suatu produk**. Hanya insinyur dengan wawasan yang luas tentang potensi teknologi-teknologi yang dapat digunakan dan pokok-pokok persoalan terkait yang dapat membuat keputusan optimal.

Sebagai ilustrasi, kita dapat memperhatikan *Anti-lock Braking System (ABS)*. Mungkin karena desain mobil tradisional adalah bagian dari pekerjaan insinyur mesin, *ABS* pertama yang diperkenalkan adalah murni bersifat mekanis. Walaupun unjuk kerja dari unit-unit mesin telah dianggap cukup pada tahap-tahap awal, unjuk kerja mereka telah mulai digantikan oleh sistem terintegrasi yang meliputi perangkat lunak, teknologi-teknologi mekanik dan elektronik. Sistem mekanis murni tidak dapat mengimbangi tingkat unjuk kerja yang dapat dicapai oleh desain terintegrasi.

Sistem *ABS*, seperti terlihat dari namanya, meningkatkan unjuk kerja pengereman dengan mencegah terkuncinya roda. Sistem *ABS* modern dapat dilihat di dalam Gambar 1-3, di mana (a) adalah susunan umum, dan (b) adalah diagram rangkaian elektronik-nya. Di dalam deskripsi lengkap dari sistem, suatu diagram rangkaian hidraulik juga akan diperlukan bersama-sama dengan detail-detail komponen. Sistem tertentu membiarkan pengereman terjadi tanpa mengganggu pengendalian arah serta, mengurangi jarak

Control Copy

pengereman secara berarti. Hal ini dapat dicapai dengan mengindera laju dari masing-masing roda bersamaan dengan percepatan roda, membandingkannya dengan laju ke depan dan menyesuaikan tekanan pengeremannya.



Gambar 1-3 Susunan Umum (a) dan Diagram Rangkaian Elektronik (b) dari sistem ABS Volvo

Kompleksitas dari sistem yang lengkap diperlihatkan di dalam Gambar 1-3 (a) dan (b) yang dibuat untuk mengilustrasikan kebutuhan akan tim desain lintas disiplin. Komponen utama dari susunan umum adalah:

1. *Front wheel sensor*
2. *Front pulse wheel*
3. *Hydraulic modulator*
4. *Control unit*
5. *Rear wheel sensor*
6. *Rear pulse wheel*
7. *Indicator lamp*
8. *Brake tubes*

Sensor-sensor induksi digunakan untuk memberi sinyal informasi laju roda pada unit pengendali (komputer). Sinyal-sinyal diterima oleh unit pengendali sebagai tegangan sinusoidal dan dikonversikan menjadi sinyal-sinyal dijital untuk pemrosesan di dalam rangkaian-rangkaian lojik. Komponen-komponen utama dalam susunan kelistrikan adalah:

(1) Battery

(2) Ignition switch

(10) Alternator

(11/2) Fuse

(15) Distribution Coil

(66) Brake switch

(85) Speedometer

(105) Charging lamp

(107) Indicator lamp

Controlled Copy

(252) Control unit

(253) Hydraulic modification

(254) Surge protection unit

(255) Speedometer converter unit

(256) Sensor – left front

(257) Sensor – right front

(258) ABS Fuse box

(270) Sensor – rear wheels

Tidak mungkin untuk memberikan gambaran yang lengkap dan detail dari sistem *ABS* di dalam buku ini, selain memang tidak diperlukan. Akan tetapi, penting untuk dicatat bahwa desain seperti ini akan segera digantikan. Informasi detail yang disajikan berkaitan dengan *ABS* direproduksi atas izin dari Volvo Car Corporation, yang desain-desainnya telah menjadi semakin canggih. Sebagai contoh, saat buku ini ditulis telah tersedia tipe S80 dengan sistem rangka aktif *DSTC (Dynamic Stability and Traction Control)*. Sistem ini menggunakan sejumlah sensor, meliputi sensor sudut penyimpangan untuk membandingkan cara mobil dikemudikan dengan bagaimana perilaku seharusnya.

Tujuan penggunaan *ABS* sebagai contoh di sini adalah semata-mata untuk memperkuat definisi yang telah disebutkan tentang desain rekayasa dan untuk mengilustrasikan kompleksitas dari antar muka manusia *(human interface)* yang ditemukan di dalam sistem desain modern. Bersamaan dengan definisi tentang proses desain, perlu kita bahas pula **deskripsi pekerjaan** *(job description)* dari seorang insinyur desain. Walaupun detailnya dapat bervariasi, secara umum, insinyur desain harus dapat berhubungan dengan:

- Produksi dari solusi-solusi desain praktis, dimulai dari definisi terbatas tentang persyaratan-persyaratan desain yang telah mengakomodasi banyak faktor.
- Produksi dari skema-skema desain, analisis gambar-gambar manufaktur serta dokumentasi terkait di dalam batas waktu yang telah ditentukan.
- Pemeriksaan persyaratan desain dari suatu komponen, sistem, perakitan, atau instalasi dalam konsultasi dengan departemen lain.
- Produksi dari desain yang akan mempengaruhi biaya dan mutu fungsional serta meningkatkan keuntungan dan reputasi perusahaan terhadap pelanggan.
- Pembuatan studi kelayakan untuk proyek masa depan.
- Negosiasi-negosiasi dengan *vendor* dalam hal pembelian komponen dan peralatan, serta dengan sub kontraktor atau perusahaan pendamping.
- Pemeriksaan pekerjaan pihak lain.

Dari tanggung tanggung jawab di atas, dapat diturunkan **karakteristik personal**, yang harus dimiliki oleh seorang insinyur desain, yaitu:

Controlled Copy

- Kemampuan untuk mengidentifikasi masalah.
- Kemampuan untuk menyederhanakan masalah.
- Keahlian kreatif.
- Pengetahun teknis.
- Kesadaran terhadap suatu keadaan yang sangat mendesak *(sense of urgency)*.
- Keahlian analitis.
- Kemampuan untuk mengemukakan pendapat/memberikan pertimbangan secara cermat *(sound judgment)*.
- Kemampuan untuk mengambil keputusan *(decisiveness)*.
- Keterbukaan pikiran.
- Kemampuan berkomunikasi.
- Keterampilan bernegosiasi.
- Keterampilan menyelia *(supervisory skills)*.

Kemampuan dan keahlian ini sebenarnya telah ada pada setiap orang, baik dalam jumlah sedikit maupun banyak. Kemampuan dan keahlian ini dapat dikembangkan oleh seorang perancang rekayasa dalam jangka waktu tertentu, terutama dengan latihan dan pengalaman.

1.3 Proses Desain Rekayasa

Biaya dari suatu produk, khususnya di dalam pasar internasional, hanyalah salah satu faktor penentu kesuksesan. Kehandalan (*reliability),* kesesuaian dengan tujuan *(fitness for purposes),* pengiriman *(delivery),* kemudahan pemeliharaan *(ease of maintenance)* dan banyak faktor lainnya, memiliki pengaruh yang cukup signifikan dan kebanyakan dari faktor-faktor ini ditentukan oleh desain. Desain yang baik, oleh karena itu sangat penting, baik untuk pasar domestik maupun ekspor, dan hanya dapat dijamin dengan ketaatan pada proses desain formal.

Bentuk paling sederhana dari proses desain rekayasa adalah proses pemecahan masalah secara umum *(general problem solving process)*, yang dapat diterapkan pada setiap jenis masalah, tidak hanya pada desain rekayasa.

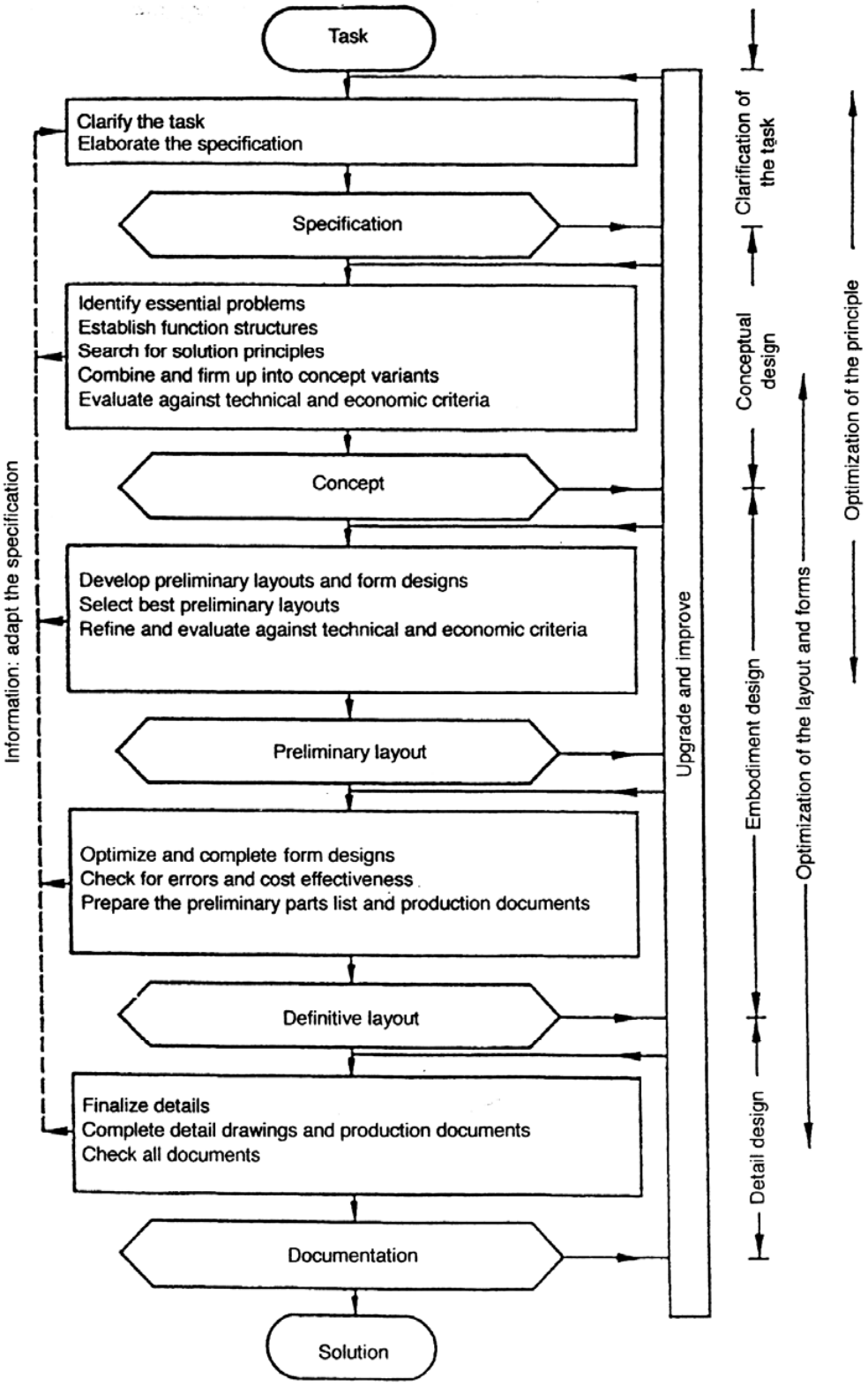
Perlu diingat bahwa proses desain, seperti diuraikan di sini, tidak akan menghasilkan solusi-solusi desain. Rekomendasi untuk mengadopsi suatu proses desain bertujuan untuk membantu para perancang *(designers)*, dengan cara **menyediakan** suatu **kerangka kerja** dan **metodologi**. Tanpa adanya suatu proses, dikhawatirkan akan terjadi keadaan di mana seorang insinyur muda yang langsung dihadapkan pada masalah desain dan kertas kosong, tidak tahu dari mana dan bagaimana harus memulainya. Ketaatan terhadap proses, yang akan dijelaskan kemudian, juga akan **membebaskan fikiran** (yang dapat menjadi sangat rumit selama berada dalam suatu proyek), sehingga dapat dihasilkan solusi yang lebih bersifat inventif dan masuk akal.

Controlled Copy

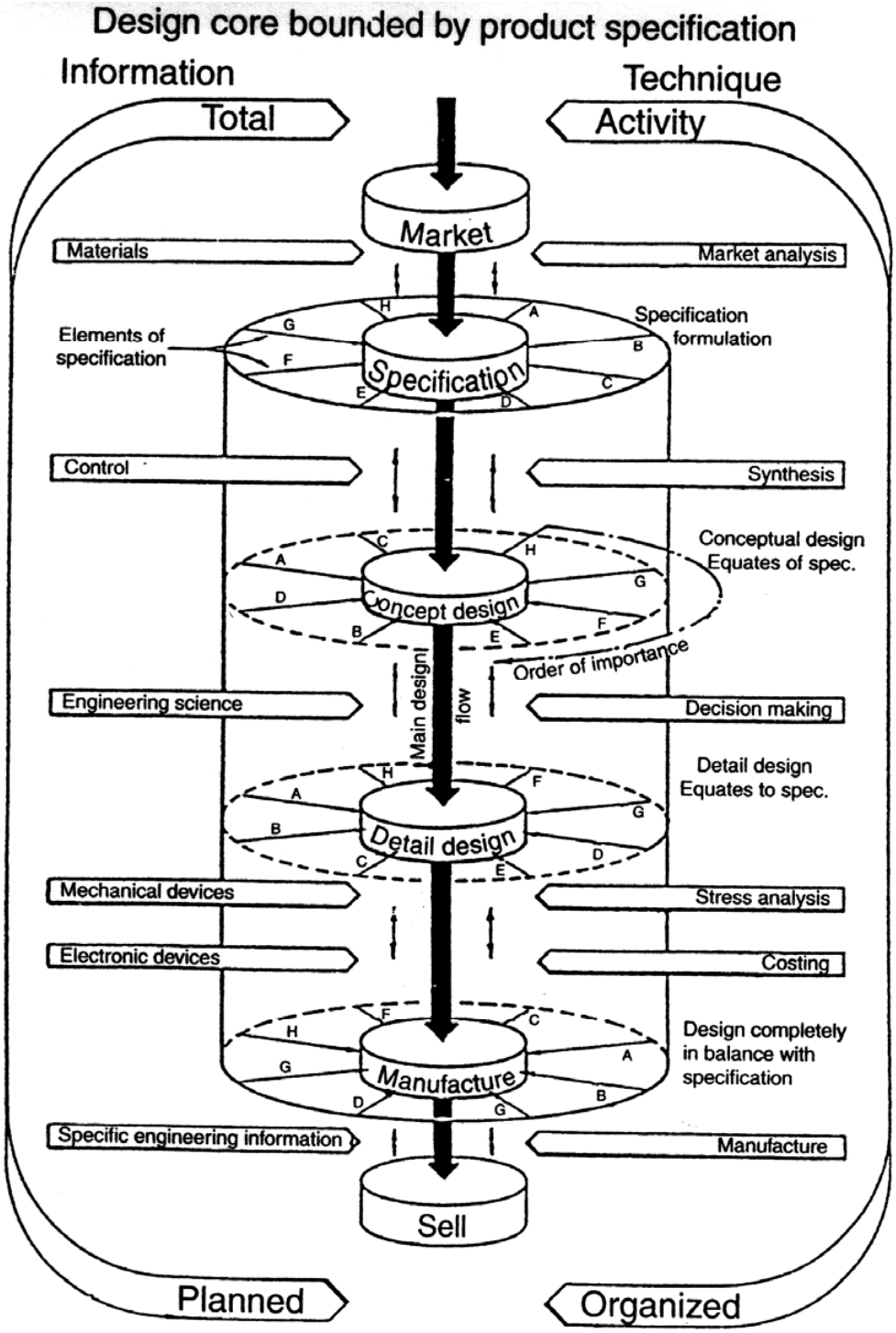
Dengan pendekatan sistematik, dimungkinkan pula adanya suatu **catatan yang jelas dan logis di dalam pengembangan desain**. Hal ini akan berguna jika produk tersebut akan dikembangkan atau didesain ulang. Di samping itu, kecenderungan yang terjadi di bidang hukum, baik dalam konteks perusahaan atau individu, seringkali menuntut perancang untuk dapat **membuktikan bahwa cara-cara terbaik telah digunakan**. Hal ini paling baik dapat dilakukan dengan mengacu pada dokumen-dukumen pendukung yang komprehensif, seperti catatan-catatan dari keputusan-keputusan yang telah dibuat serta alasan-alasan mengapa keputusan-keputusan itu yang dipilih.

Jika kita telah sepakat bahwa **diperlukan suatu pendekatan sistematik di dalam proses desain**, pertanyaan lainnya adalah, bagaimana dan dalam urutan seperti apa kita harus memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya? Ada beberapa sistem yang pada dasarnya adalah sama, walaupun detailnya dapat bervariasi. Gambar 1-4 menggambarkan proses desain yang diajukan oleh Pahl and Beitz dan Gambar 1-5 adalah proses desain yang direkomendasikan oleh *SEED*. Dari kedua gambar tersebut dapat diketahui dan digarisbawahi beberapa persamaan dasar, yaitu: **mengidentifikasi masalah**, **membuat solusi-solusi potensial**, **memilih satu solusi**, **menyempurnakan dan menganalisis konsep yang dipilih**, **membuat detail desain**, **menghasilkan diskripsi produk yang akan dapat dimanufaktur**. Jelaslah bahwa untuk membuat kedua model tersebut menjadi semakin lengkap, keduanya harus mencakup penggunaan dan daur ulang atau pembuangan.

Controlled Copy



Gambar 1-4 Model Pahl dan Beitz dari Proses Desain



Gambar 1-5 Model Pugh dari Proses Desain

Model Pugh (SEED Model) adalah model yang akan diikuti oleh buku ini. Seperti diindikasikan dengan garis balik, desain adalah **proses iteratif** yang mencakup penelurusan balik dan aktivitas paralel. Hal ini adalah normal. Prinsip iterasi adalah prinsip fundamental dalam proses desain. Mendesain sesuatu yang baru adalah seperti melakukan suatu penjelajahan untuk menemukan sesuatu *(a voyage of discovery)*. Dengan berjalannya proses desain, semakin banyak informasi yang ditemukan, dan semakin banyak pula ilmu pengetahuan yang diperoleh. Jika perancang tidak mengiterasi informasi baru, pengembangan konsep baru tidak akan berjalan. **Pendekatan sistematik bukanlah sejumlah instruksi yang harus diikuti secara membabi buta**. Tidak pernah ada satu pun solusi yang bersifat unik.

Perlu dicatat bahwa proses desain rekayasa tidak perlu harus berupa suatu proses yang berurutan, atau suatu proses yang dapat dibagi-bagi secara tegas menjadi beberapa aktivitas yang masing-masing harus diselesaikan sebelum beralih ke aktivitas lainnya. Itu sebabnya mengapa putaran umpan balik *(feedback loop)*, harus selalu dimasukkan ke dalam diagram proses desain.

Selain itu, insinyur desain sangat jarang merasa puas dengan solusi yang diperoleh. Hal ini dapat disebabkan karena waktu. Jika perusahaan bermaksud memaksimalkan keuntungannya dari tenaga kerja tim desain, maka kemungkinan waktu paling singkatlah yang diambil untuk melepas suatu produk. Maka tidak dapat dipungkiri bahwa bahwa dengan pengamatan kedua *(second look)*, produk tersebut dapat ditingkatkan. Kekurangsempurnaan ini dapat menyebabkan ketidakpuasan, dan harus diterima sebagai konsekuensi dari pekerjaan insinyur desain.

Langkah pertama yang paling penting dalam proses desain seperti tertera pada Gambar 1-5 adalah formulasi dari **Spesifikasi Desain Produk** atau *Product Design Specification (PDS)*. Hal terutama sangat penting karena perdagangan internasional menjadi lebih mudah dan daya saing menjadi semakin sulit untuk dicapai. Perusahaan harus memakai pendekatan logis dan komprehensif dalam desain jika ingin memperoleh keuntungan dari tenaga kerja. Oleh karena itu, suatu definisi masalah yang menyeluruh, yang dapat digunakan untuk meng-audit dan memandu proses desain selanjutnya, sangatlah esensial.

Proses desain selalu sama, tidak tergantung pada ukuran dan kompleksitas masalah. Namun, hampir selalu ada komplikasi yang tak terduga sehingga diperlukan suatu pendekatan manajemen desain yang fleksibel.

1.4 Contoh Umum

Sebagai ilustrasi dari permasalahan proses desain yang telah disederhanakan, kita dapat melihat masalah pembangunan perluasan gedung pengadilan. Secara singkat disebutkan bahwa seluruh pekerjaan pembangunan harus dilaksanakan dengan kondisi di mana para hakim masih tetap bekerja secara penuh. Selain itu, proteksi terhadap ledakan bom harus pula disediakan karena aktivitas teroris nasional. Persyaratannya adalah:

Controlled Copy

- Ruang hakim yang baru.
- Perkantoran, pertokoan, dan fasilitas untuk petugas protokoler dan panitera.
- Ruangan untuk alat pemanas yang baru.

1.4.1 Spesifikasi

Untuk mengembangkan spesifikasi permasalahan yang lengkap dan detail, banyak investigasi awal yang perlu dilakukan. Gambar dari bangunan yang ada dapat diperoleh, tetapi seperti biasanya, tidak ada perhitungan kekuatan orisinil yang tersedia dan kedalaman dari pilar pondasinya pun tidak diketahui. Survei lapangan telah dilakukan dan hasil investigasi geoteknik menunjukkan bahwa tanahnya kurang baik hingga ke kedalaman 21 m. Sampel yang dikeluarkan dari lubang-lubang bor diuji di laboratorium untuk mengetahui kandungan air, komposisi kimia, dan ukuran partikel.

1.4.2 Pembuatan Konsep

Setelah menentukan spesifikasi, meliputi *British Standard* untuk pondasi (BS 8004), penggunaan beton untuk struktur (BS 8110) dan catatan-catatan mengenai desain tahan ledakan, langkah berikutnya adalah memikirkan konsep-konsep alternatif. Setelah melakukan curah pendapat *(brainstorming)* awal dan mempertimbangan banyak konsep, hanya tiga konsep yang layak untuk dipertimbangkan lebih lanjut, yaitu:

1. Membangun lantai tambahan.
2. Mengisi dan memperluas lantai dasar.
3. Membangun gedung tambahan dua lantai yang dihubungkan dengan koridor.

1.4.3 Pemilihan Konsep

Konsep 1 ditolak karena dari hasil investigasi diketahui bahwa pilar-pilar yang ada telah menerima beban penuh dan penguatan struktur tidak ekonomis dari segi biaya. Konsep 3 ditolak karena tidak mungkin dapat dilakukan tanpa menghalangi cahaya untuk dapat masuk ke jendela-jendela yang ada. Konsep 2 dipilih karena menawarkan solusi optimum jika dibandingkan dengan spesifikasi, termasuk persyaratan dari pemakai.

1.4.4 Detail Desain

Setelah membuat keputusan menyeluruh, diperlukan investigasi lanjutan, dengan melibatkan lebih banyak ilmu teknik dan pengetahuan bahan. Keputusan-keputusan seperti, apakah akan menggunakan tiang pancang pukul atau tiang pancang bor, serta apakah akan menggunakan balok plat atau plat, harus dibuat. Di atas lantai dasar, stabilitas bangunan, kapasitas pembebanan vertikal, geser, dan tekuk perlu dihitung pula.

Controlled Copy

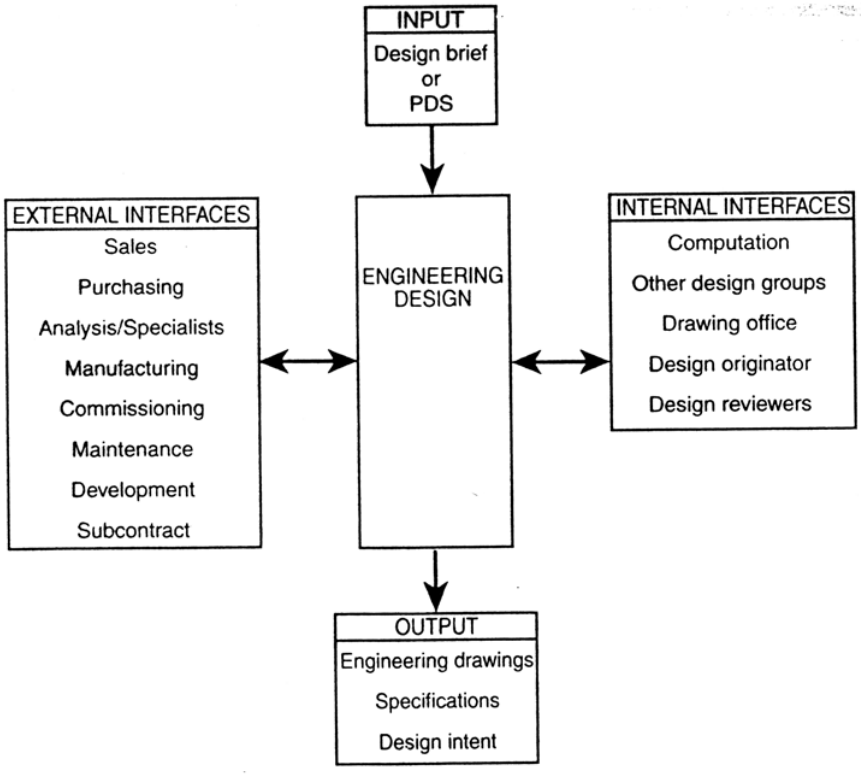
1.4.5 Manufaktur

Setelah tahapan detail desain selesai dilaksanakan, fase konstruksi dapat dimulai. Fase ini dapat dianggap sebagai proses manufaktur *prototype* sebelum produksi massal produk.

Proyek di atas sangat kompleks, dan diselesaikan sedikit lebih lama dari waktu yang direncanakan dalam anggaran pemakai. Banyak proyek teknik yang tidak berjalan semulus ini, yang pada kebanyakan kasus terjadi karena tidak adanya kesatuan pendekatan iteratif langkah demi langkah yang dilakukan. Pada kasus ini, proses desain diikuti dengan kaku. Garis-garis komunikasi efektif, adalah semacam instrumen keberhasilan proyek ini, di mana keahlian teknik digunakan.

1.5 Daerah-daerah Antar Muka Desain Rekayasa

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, keterampilan berkomunikasi yang baik harus dimiliki oleh seorang insinyur desain. Hal ini dapat diperkuat dengan mempelajari Gambar 1-6 yang memberikan indikasi garis-garis komunikasi yang paling sering dilakukan, baik di dalam departemen desain sendiri maupun di luar. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, proses desain dimulai dengan penjelasan singkat tentang desain atau PDS. Hal inilah yang kemudian menjadi pemicu utama yang menyebabkan departemen desain mulai bekerja.



Gambar 1-6 Daerah-daerah Antar Muka Desain Rekayasa dalam Lingkup Perusahaan

Secara umum, komunikasi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu: komunikasi internal dan komunikasi eksternal. Komunikasi internal untuk departemen desain dapat meliputi penentuan parameter masukan untuk perhitungan, diskusi, dan transfer informasi dengan kelompok desain lain yang relevan, memberikan informasi kepada biro gambar *(drawing office)* berupa gambar skema dan spesifikasi material, memperoleh persetujuan proposal dari penggagas, dan menjawab pertanyaan pengkaji ulang *(reviewer)* pada pertemuan audit desain.

Komunikasi eksternal baik dengan departemen lain atau ke luar perusahaan, lebih mudah untuk didefinisikan daripada komunikasi internal, dan mungkin juga lebih penting. Yang ditunjukkan pada Gambar 1-6 adalah garis-garis komunikasi utama di samping banyak garis-garis lain yang mungkin ada.

Secara detail, jenis-jenis komunikasi dengan departemen lain dan pihak luar adalah sebagai berikut:

1.5.1 Penjualan *(Sales)*

Ada komunikasi dua arah yang terus menerus antara departemen desain dan departemen penjualan. Departemen penjualan menyediakan persyaratan pemakai dan departemen desain menyediakan deskripsi teknis, data-data unjuk kerja dan prediksi-prediksi.

1.5.2 Pembelian *(Purchasing)*

Biasanya komunikasi bersifat satu arah, di mana departemen desain menyuplai informasi teknis yang penting sehingga departemen pembelian/pengadaan dapat menyediakan komponen-komponennya.

1.5.3 Analis dan Spesialis *(Analyst/Specialist)*

Di dalam perusahaan terdapat banyak spesialis yang sering dimintai pendapatnya oleh tim desain. Konsultasi yang dilakukan dapat meliputi standar, material, analisis tegangan dan masih banyak lagi.

1.5.4 Manufaktur *(Manufacturing)*

Walaupun Gambar 1-4 dan Gambar 1-5 mengiindikasikannya sebagai proses komunikasi satu arah, di mana departemen desain menyediakan gambar kerja kepada departemen manufaktur, banyak garis-garis penghubung lain yang ada. Pada seluruh pertemuan kaji ulang desain, sedikitnya satu perwakilan dari departemen manufaktur hadir untuk memastikan bahwa metode manufaktur yang ditentukan oleh tim desain telah optimum. Hal ini merupakan bagian dari apa yang disebut sebagai rekayasa simultan *(concurrent engineering)*, yang akan memperpendek waktu dari konsep awal ke produksi pertama untuk penjualan. Selain itu, departemen manufaktur juga memberikan umpan balik pada desain dan meminta desain untuk melakukan perubahan untuk kemudahan proses manufaktur.

Controlled Copy

1.5.5 Penerimaan dan Pemeliharan *(Commissioning and Maintenance)*

Hal ini umumnya merupakan proses satu arah, di mana umpan balik informasi akan diberikan pada departemen desain jika ada masalah.

1.5.6 Pengembangan *(Development)*

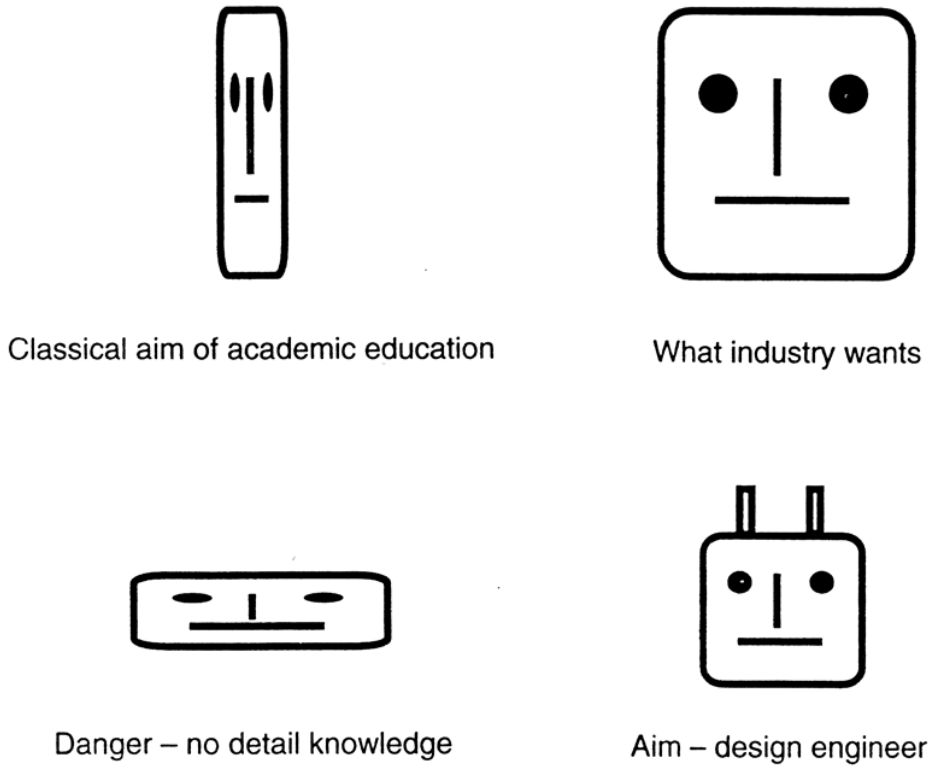
Dalam perusahaan yang lebih kecil, fungsi desain dan pengembangan berada di bawah satu departemen. Hal ini menunjukkan hubungan yang sangat dekat antara kedua departemen tersebut. Di departemen pengembangan, pengujian dilakukan pada aspek-aspek tertentu dari konsep desain, yang umumnya dilakukan dengan memanufaktur desain dan melakukan uji unjuk kerja yang dipercepat dengan menggunakan simulasi. Hasil dari pengujian-pengujian ini merupakan umpan balik bagi tim desain.

1.5.7 Sub-kontrak *(Subcontract)*

Hanya sedikit perusahaan yang memiliki fasilitas manufaktur untuk semua yang dijual. Selain itu, biasanya lebih murah (terutama karena skala ekonomis) untuk membeli komponen-komponen. Penting bagi tim desain, dalam kaitannya dengan departemen pembelian, untuk berkomunikasi dengan para sub-kontraktor potensial dan menggunakan keahlian mereka.

Seperti telah didiskusikan sebelumnya, insinyur desain tidak hanya perlu berkomunikasi dengan orang berbeda di departemen berbeda, tetapi juga perlu memiliki keterampilan lintas disiplin yang mencakup banyak bidang rekayasa. Namun, **pengetahuan yang diperlukan tidak dapat dicapai dengan cara klasik**. Seperti diilustrasikan dalam Gambar 1-7 industri memerlukan insinyur yang memiliki pengetahuan yang luas dan lengkap dalam berbagai disiplin. Sebaliknya, cara-cara tradisional dalam pendidikan tinggi cenderung menghasilkan orang yang serba tahu untuk lingkup subyek yang amat sempit. Di samping itu, sangat berbahaya jika insinyur desain tidak mengembangkan pengetahuan secara detail hingga level tertentu untuk melengkapi wawasan yang luas. Oleh karena itu, seperti disajikan pada Gambar 1-7, insinyur desain digambarkan sebagai orang yang memiliki pengetahuan luas yang dilengkapi dengan 'telinga' untuk memperoleh pengetahuan yang lebih detail.

Controlled Copy



Gambar 1-7 Profil Lulusan

Controlled

PRINSIP-PRINSIP

Di keseluruhan buku prinsip desain rekayasa, prinsip-prinsip desain yang telah diidentifikasi disajikan pada bagian akhir dari tiap-tiap bab.

Prinsip-prinsip Pendahuluan

Iterasi *(Iteration)*

Kemajuan menuju solusi harus melibatkan seluruh tahap-tahap yang diidentifikasikan secara berurutan, tetapi banyak menelusur balik *(backtracking)* adalah esensial.

Kompromi *(Compromise)*

Solusi sempurna atau tunggal jarang muncul dan solusi terbaik yang dapat dicapai adalah solusi optimum. Solusi ini adalah desain yang memberikan kepuasan terbaik pada pemakai.

Kompleksitas *(Complexity)*

Rekayasa adalah teknologi, bukan sains, jadi bersama-sama dengan ilmu pengetahuan rekayasa yang digunakan, pentingnya komunikasi, kerjasama tim, manajemen proyek, dan ergonomi tidak dapat dipandang sebelah mata.

Tanggung Jawab *(Responsibility)*

Ada potensi kegagalan yang dapat muncul karena pengabaian *(negligence)* atau perhatian berlebih *(oversight)*, dan tanggung jawab tertinggi untuk 'produk-produk' yang aman dan benar berada pada pundak perancang rekayasa profesional.

Simplifikasi *(Simplification)*

Secara umum, solusi terbaik adalah yang paling sederhana dan seluruh insinyur profesional berusaha mencari solusi-solusi yang elegan dan sederhana.

Sebagai bahan renungan akhir, perhatikanlah proses desain alternatif yang disarankan oleh Dr Glockenspiel secara bercanda walaupun agak sinis:

1. Eforia *(Euphoria)*
2. Mandek *(Disenhantment)*
3. Cari Kambing Hitam *(Search for the guilty)*
4. Menghukum yang Tak Bersalah *(Punishment of the innocent)*
5. Memberi Penghargaan yang Tidak Terlibat *(Distinction of the uninvolved)*

Controlled Copy