

# SINTESIS DAN INTEGRASI PROSES KIMIA



# Design

2

1. **Conceptual design:** develop a preliminary flowsheet using approximate methods.
2. **Preliminary design:** use rigorous simulators to evaluate steady-state and *dynamic* performance of proposed flowsheet.
3. **Detailed design:** specify type of trays, no. of sieve tray holes, piping, pumps etc.

# Process Design

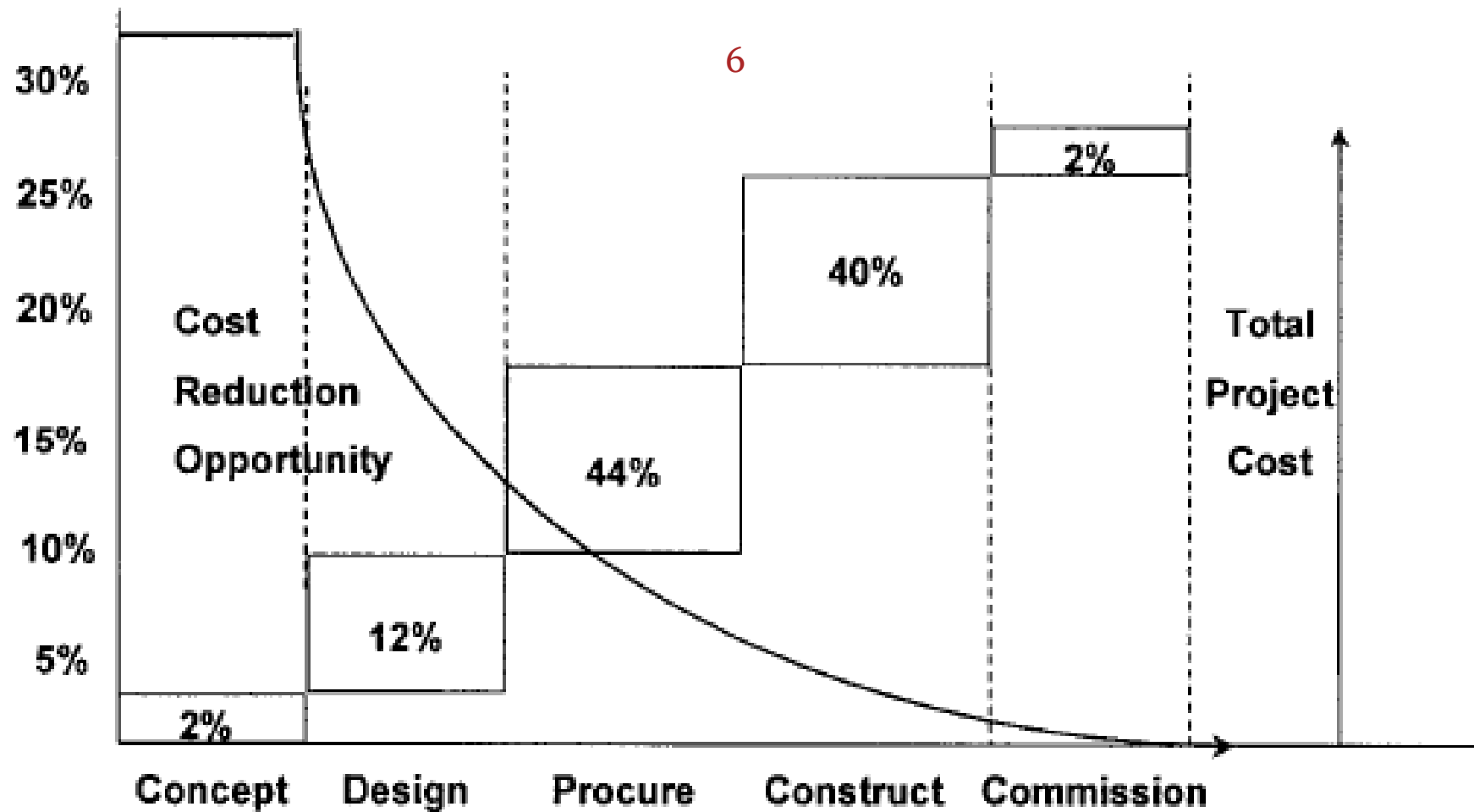
3

- Definisi berikut menurut Douglas (1988) yang menyoroti bahwa merancang proses merupakan suatu kegiatan kreatif:

*Merancang Proses adalah aktivitas kreatif dimana kita menghasilkan ide-ide dan kemudian menerjemahkannya mereka ke dalam peralatan dan proses untuk memproduksi bahan-bahan baru atau untuk secara signifikan meningkatkan nilai bahan yang ada.*

- Perancangan konseptual menunjukkan bagian dari proyek perancangan yang berhubungan dengan pendefinisian elemen dasar suatu proses: flowsheet, neraca massa dan energi, spesifikasi dan peralatan kinerja, konsumsi utilitas, keamanan dan isu-isu lingkungan, serta efisiensi ekonomi.
- Oleh karena itu, dalam perancangan konseptual penekanannya adalah pada perilaku proses sebagai sebuah sistem, bukan pada ukuran dari item peralatan.

- ❑ Penting untuk dicatat bahwa perancangan konseptual bertanggung jawab untuk sebagian besar dari biaya investasi dalam sebuah pabrik, bahkan jika fraksi dalam biaya proyek sangat terbatas.
- ❑ Sebuah keputusan yang salah di tingkat konseptual akan menyebarkan seluruh mata rantai dari perancangan detail dan pengadaan peralatan. Bahkan jauh lebih tinggi biaya yang diperlukan kemudian dalam operasi untuk memperbaiki kesalahpahaman dalam desain dasar.



Insentif ekonomi dalam suatu proyek

# Sintesis dan Analisis

7

- Metodologi terdiri dari kombinasi langkah analisis dan sintesis. Dalam hal ini konteks, yang kita maksud dengan kegiatan *analisis* ditujukan untuk **pengetahuan elemen sistem**, seperti menyelidiki sifat fisik komponen dan campuran, karakteristik kinerja reaktor dan unit operasi, atau evaluasi profitabilitas. *Sintesis* berkaitan dengan kegiatan yang bertujuan untuk menentukan **arsitektur sistem**, seperti pemilihan komponen yang sesuai, organisasinya dalam kerangka struktur serta kajian hubungan dan interaksinya.

# Synthesis versus Analysis

8

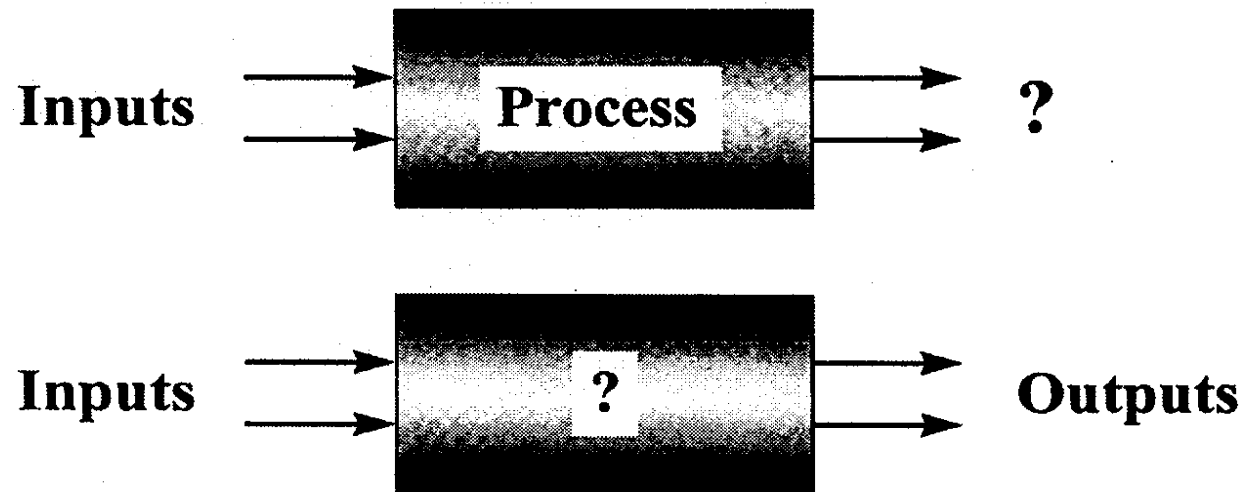


Figure 2: Synthesis vs. Analysis



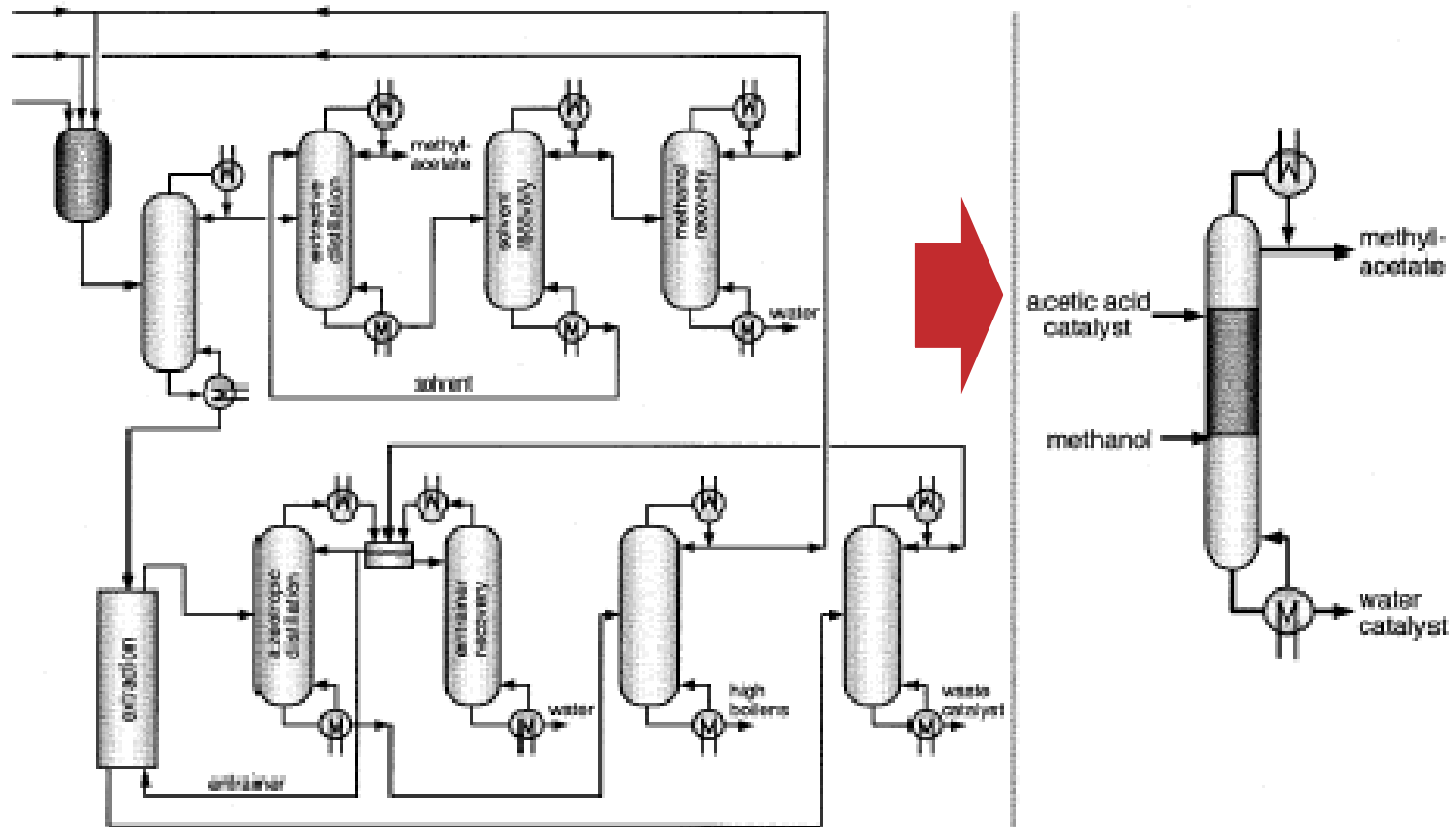
- Sebuah masalah perancangan selalu *underdefined*, baik oleh kurangnya data, atau tidak cukup waktu dan sumber daya. Selain itu, masalah desain selalu terbuka (*open ended*). Tidak pernah ada solusi tunggal. Solusinya tergantung pada keputusan perancangan seorang perancang yang harus mengambil berbagai tahap pengembangan proyek untuk memenuhi teknis atau kendala ekonomis, atau hanya untuk menghindari masalah lisensi.

# Intensifikasi Proses

10

- *Generasi alternatif* sistematis adalah fitur yang paling penting dari perancangan konseptual modern. Solusi terbaik adalah diidentifikasi sebagai salah satu yang optimal dalam konteks kendala dengan menggunakan evaluasi yang konsisten dan peringkat alternatif. Tren perancangan proses saat ini adalah pada *intensifikasi proses*. Intensifikasi proses menunjukkan perkembangan teknik dan peralatan baru yang dapat mencapai perbaikan yang signifikan dalam produktivitas, serta dalam efisiensi energi dan ramah lingkungan proses.

Production of methyl acetate at Eastman Kodak: without / with reactive distillation



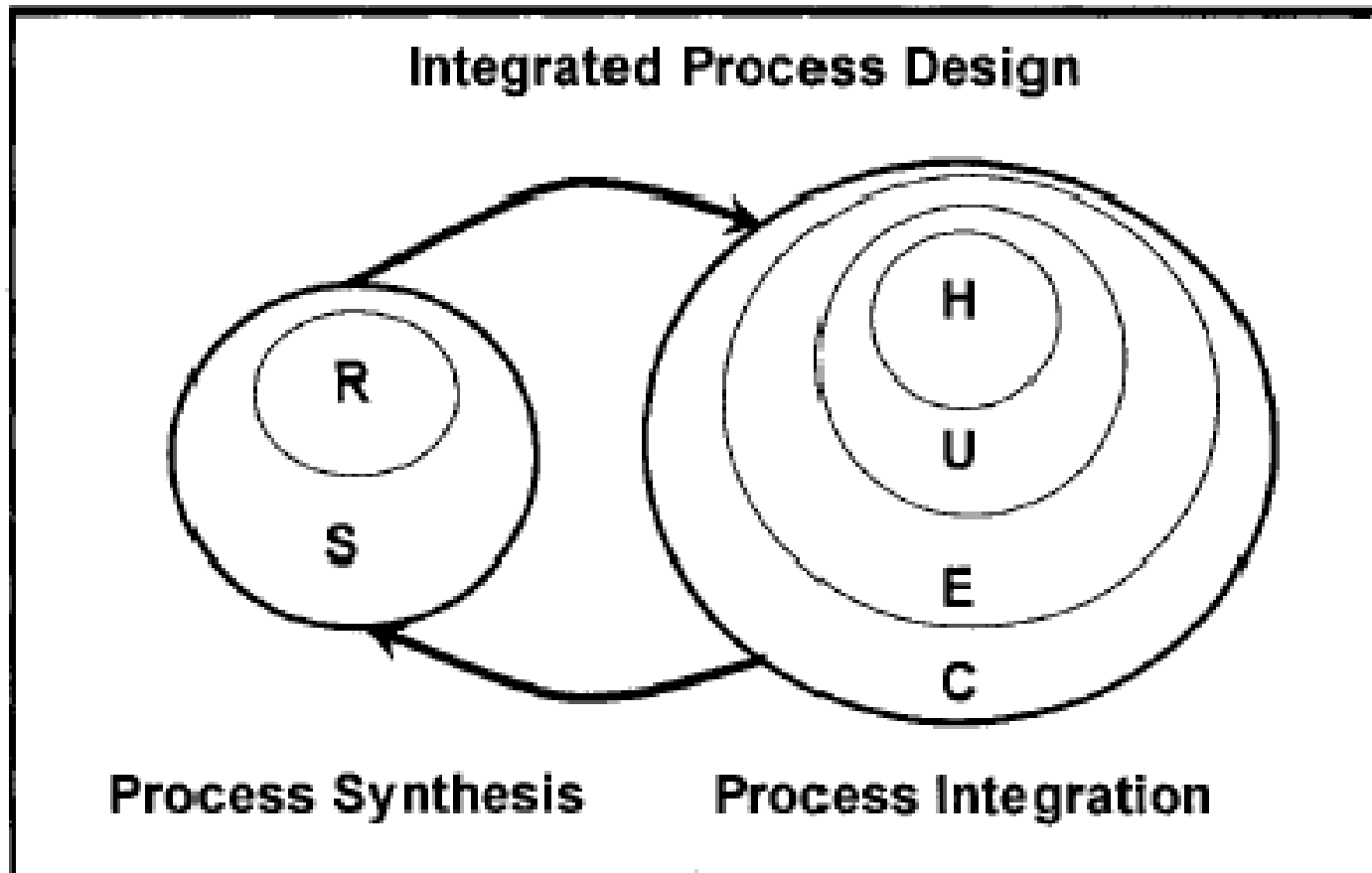
- Pengembangan di bidang ini dapat diklasifikasikan dalam dua wilayah (Stankiewicz dan Moulijn, 2000):
  - 1) Proses-mengintensifkan peralatan, seperti reaktor novel, pencampuran intensif dan peralatan transfer panas dan transfer massa;
  - 2) Proses mengintensifkan metode, seperti integrasi reaksi dan tahap-tahap pemisahan dalam reaktor multifungsi (contoh: distilasi reaktif, reaktor membran, fuel cell), pemisahan hibrid (contoh distilasi membran), sumber energi alternatif, dan mode operasi baru (misalnya operasi periodik).

- Pertama, intensifikasi proses yang mengarah pada penurunan yang signifikan dalam ukuran peralatan dan biaya. Manfaat lain adalah pengurangan keselamatan dan risiko ekologi karena persediaan yang lebih kecil, khususnya penting dalam kasus bahan berbahaya. Pabrik yang mobile bisa membawa pembuatan bahan kimia berbahaya lebih dekat ke pengguna-akhir, menghilangkan penyimpanan dan transportasi yang mahal. Intensifikasi proses juga diperlukan untuk mengembangkan peralatan untuk teknologi yang sedang berkembang, khususnya dalam rekayasa biokimia.

# Integrasi Proses

14

- Integrasi proses (PI) muncul pada dekade 1980-1990 sebagai disiplin baru dalam teknik kimia dengan penekanan pada efisiensi penggunaan energi. PI mengungkapkan bahwa penghematan energi yang signifikan dapat dicapai dengan menganalisis masalah hanya dalam konteks dari keseluruhan proses (sistem), dan tidak dari sudut pandang unit yang berdiri sendiri.



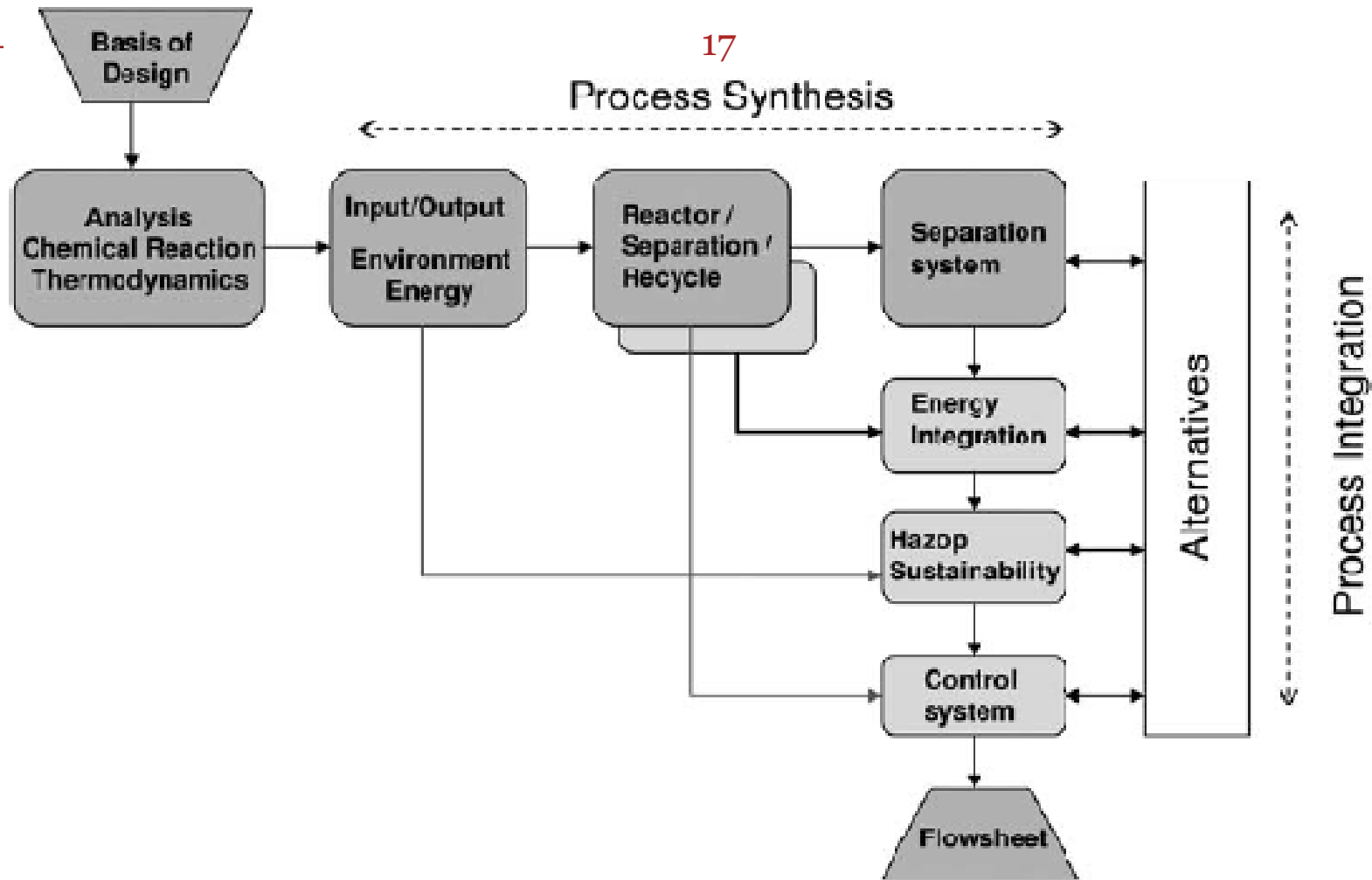
Pendekatan perancangan proses terintegrasi

# Pendekatan Hirarkis

16

- **0 .Basis Perancangan (masukan informasi)**
- **1. Analisis reaksi kimia dan termodinamika**
- **2. Analisis struktur input/output**
- **3. Struktur recycle pabrik**
- **4. Sistem pemisahan pabrik**
- **5. Integrasi Energi**
- **6. Alternatif desain**
- **7. HAZOP analisis**
- **8. Sistem pengendalian proses**





Pendekatan hirarkis perancangan konseptual

## Level 0: Basis Perancangan.

18

Langkah ini terdiri dari pengumpulan teknologi yang mendasar dan data ekonomi yang diperlukan untuk melakukan perancangan konseptual, termasuk kesehatan, keselamatan dan risiko lingkungan.

# Level 1: Reaksi Kimia dan Termodinamika.

19

- Tingkat ini berkaitan dengan analisis pengetahuan dasar yang dibutuhkan untuk melakukan proses desain konseptual. Penjelasan rinci tentang reaksi kimia sangat penting untuk merancang reaktor kimia, serta untuk menangani keamanan dan isu-isu lingkungan. Di sini, batasan yang ditatur oleh kesetimbangan kimia atau kinetika kimia diidentifikasi. Perilaku nonideal campuran utama dianalisis dalam pandangan pemisahan, yaitu dengan distilasi.

## Level 2: Input/output Analysis

20

- Tahap ini menetapkan kerangka neraca massa keseluruhan yang dipisahkan oleh bahan baku pada input, dan produk, produk samping dan limbah pada output. Keputusan perancangan utama berkaitan kinerja sistem reaksi. Atas dasar ini, kelayakan awal dievaluasi dengan suatu ukuran potensial ekonomi atau dengan ukuran lain untuk nilai tambah. Analisis ini harus mencakup biaya yang dikeluarkan dalam penanganan masalah lingkungan. Jika reaksi sangat endoterm, perkiraan biaya energi berdasarkan proses yang ada dapat dimasukkan untuk analisis lebih realistis. Perhatikan bahwa potensi ekonomi pada tingkat I/O harus cukup tinggi untuk menerima pengurangan lebih lanjut saat biaya operasional dan modal diperhitungkan.

## Level 3: Reaktor/Pemisahan/Recycle.

21

- Tingkat ini berkaitan dengan pendefinisian elemen utama arsitektur proses, yaitu reaktor kimia yang berinteraksi dengan pemisahan melalui daur ulang. Penekanan ditempatkan pada perancangan reaktor pada daur ulang berdasarkan basis kinetik. Reaksi sekunder dan pembentukan pengotor dipertimbangkan, setidaknya secara kuantitatif. Desain ini dilakukan tidak hanya sekitar satu titik operasi yang dianggap optimal, tapi dalam suatu "operasi jendela" yang didefinisikan oleh fleksibilitas laju produksi dan variabilitas bahan baku.

## (lanjutan)

22

- Fitur lainnya adalah analisis awal tentang integrasi panas reaktor kimia, sebelum menerapkan analisis pinch-pinch point untuk keseluruhan flowsheet. Reaksi yang sangat eksotermis merupakan bagian utama yang berkenaan dengan (1) stabilitas sistem reaksi kimia yang dihadapkan pada umpan balik dari bahan-bahan dan energi, dan (2) penggunaan energi yang optimum untuk menutupi kebutuhan sendiri dan mengekspor surplus tersebut. Pada sisi lain, reaksi endotermis dibatasi oleh ketersediaan utilitas, serta dengan perangkat mahal untuk menghasilkan panas dan listrik.

## (lanjutan)

23

- Jika Level 3 diselesaikan dengan baik, pengembangan flowsheet harus mengikuti trek hampir berurutan terdiri dari sintesis subsistem dan memecahkan masalah integrasi lokal. Secara khusus, penghematan energi dapat membawa beberapa modifikasi mengenai sistem pemisahan, tapi tanpa mempengaruhi baik desain reaktor kimia atau struktur daur ulang. Jadi, level reaktor/pemisah/aurulang muncul sebagai bagian paling penting dalam hierarki perancangan konseptual.

## Level 4: Sistem Pemisahan.

24

- Setelah memecahkan split terlebih dulu, masalah sintesis dibagi menjadi submasalah untuk menangani fluida homogen, yang pada gilirannya menghasilkan subsistem pemisahan untuk gas, cairan dan padatan. Tujuannya adalah menemukan urutan pemisahan optimum untuk setiap subsistem. Pendekatan ini terdiri dari mengidentifikasi tugas pemisahan dengan cara pemilih logis, yang memiliki efek pengurangan signifikan dalam mencari ruang. Peringkat teknik pemisahan ini didasarkan pada indentifikasi dari properti karakteristik antara komponen campuran. Penyusunan urutan pemisahan bergantung pada sebagian besar heuristik, meskipun mungkin termasuk metode optimasi.



## (lanjutan)

25

- Pada akhir level 4, hasilnya adalah flowsheet proses yang mendekati optimum bersama dengan neraca massa yang konsisten. Tingkat berikutnya akan memiliki sebagai tujuan solusi dari masalah yang berhubungan dengan penggunaan optimal dari sumber daya energik dan bahan utilitas, serta dengan minimisasi limbah dan proses plantwide kontrol.

# Level 5: Integrasi Energi

26

- Tingkat ini melibatkan berbagai kegiatan perancangan yang berkaitan dengan meminimalkan energi dan utilitas material. Ini bisa diklasifikasikan sebagai berikut:
- 5a. Analisis Pinch point untuk panas yang optimal dan konsumsi daya.
- 5b. Perancangan pemisahan energi yang terintegrasi.
- 5c. Perancangan sistem pendingin (refrigerasi).
- 5d. Minimisasi Air: merancang sistem yang efisien untuk daur ulang air.
- 5e. Minimisasi Pelarut: merancang sistem yang efisien untuk daur ulang pelarut.
- 5f. Integrasi tempat untuk energetik dan material.

# Level 6: HAZOP dan Lingkungan

27

- Karena faktor yang menyebabkan bahaya dan masalah lingkungan ditangani pada tahap awal, pada tahap ini seharusnya hanya menerapkan evaluasi kuantitatif terhadap efek dengan konsekuensi yang terbatas pada perancangan konseptual

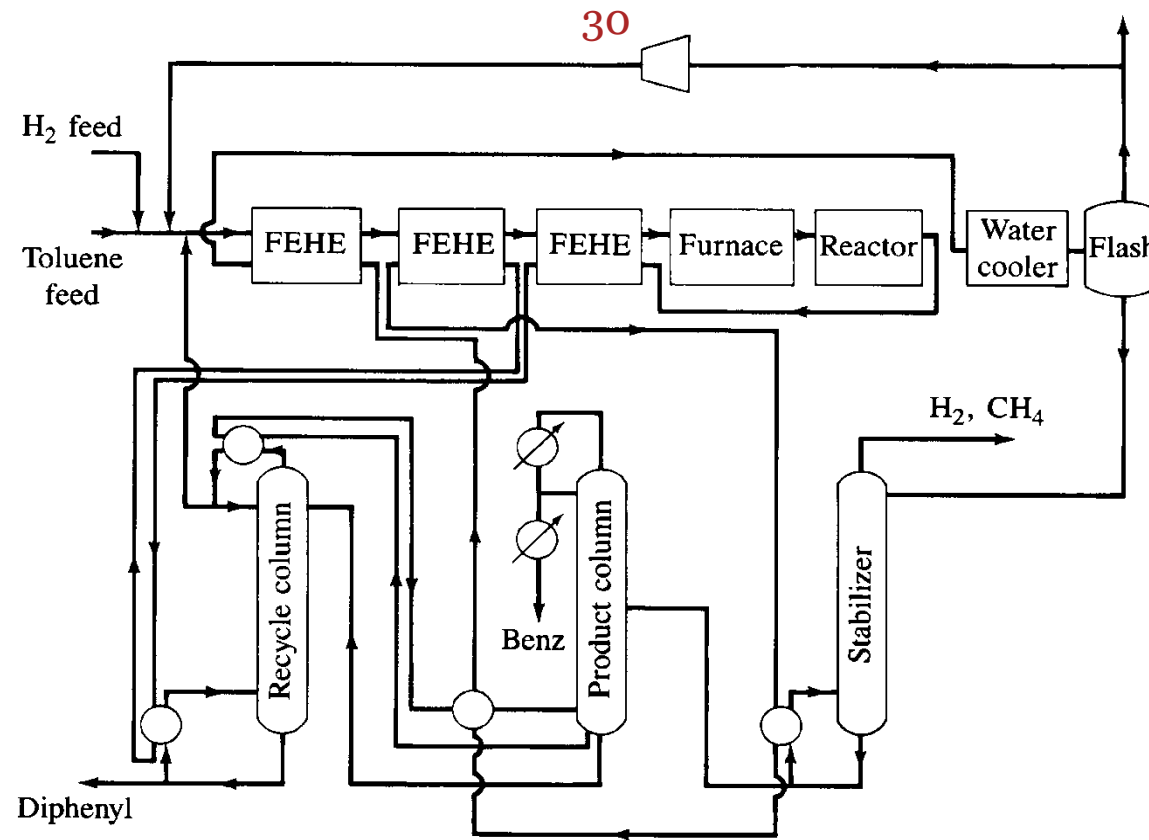
# Level 7: Sistem Pengendalian (*control*) Proses

28

- Isu-isu penting proses dinamis dan pengendalian, yaitu kebijakan umpan segar dan stabilitas operasi pada sistem reaksi/pemisahan/daur ulang, diselesaikan di Level 3. Sehingga, pelaksanaan sistem pengendalian proses dapat direalisasikan tanpa mempengaruhi struktur flowsheet dasar, tetapi dengan mempertimbangkan prinsip-prinsip pengendalian proses yang mendasar. Bagian selanjutnya akan menjelaskan secara lebih rinci isi dari level yang berbeda.

- Metodologi di atas berlaku untuk semua jenis industri proses kimia. Hasil yang terbaik akan diperoleh ketika pengguna berjalan melalui semua langkah-langkah, menghindari godaan reproduksi flowsheets ada. Pendekatan ini berharga tidak hanya untuk proses baru, tetapi juga untuk perbaikan proses yang sudah ada (revamping dan retrofitting), di mana dimulai dari "awal" adalah cara terbaik untuk merangsang ide inovatif.

## Flowsheet



Alternative 6

**FIGURE 8.10-7**  
Energy integration alternative 6. [From D. L. Terrill and J. M. Douglas, *I&EC Research*, **26**: 685 (1987), with permission of the American Chemical Society.]

# PFD

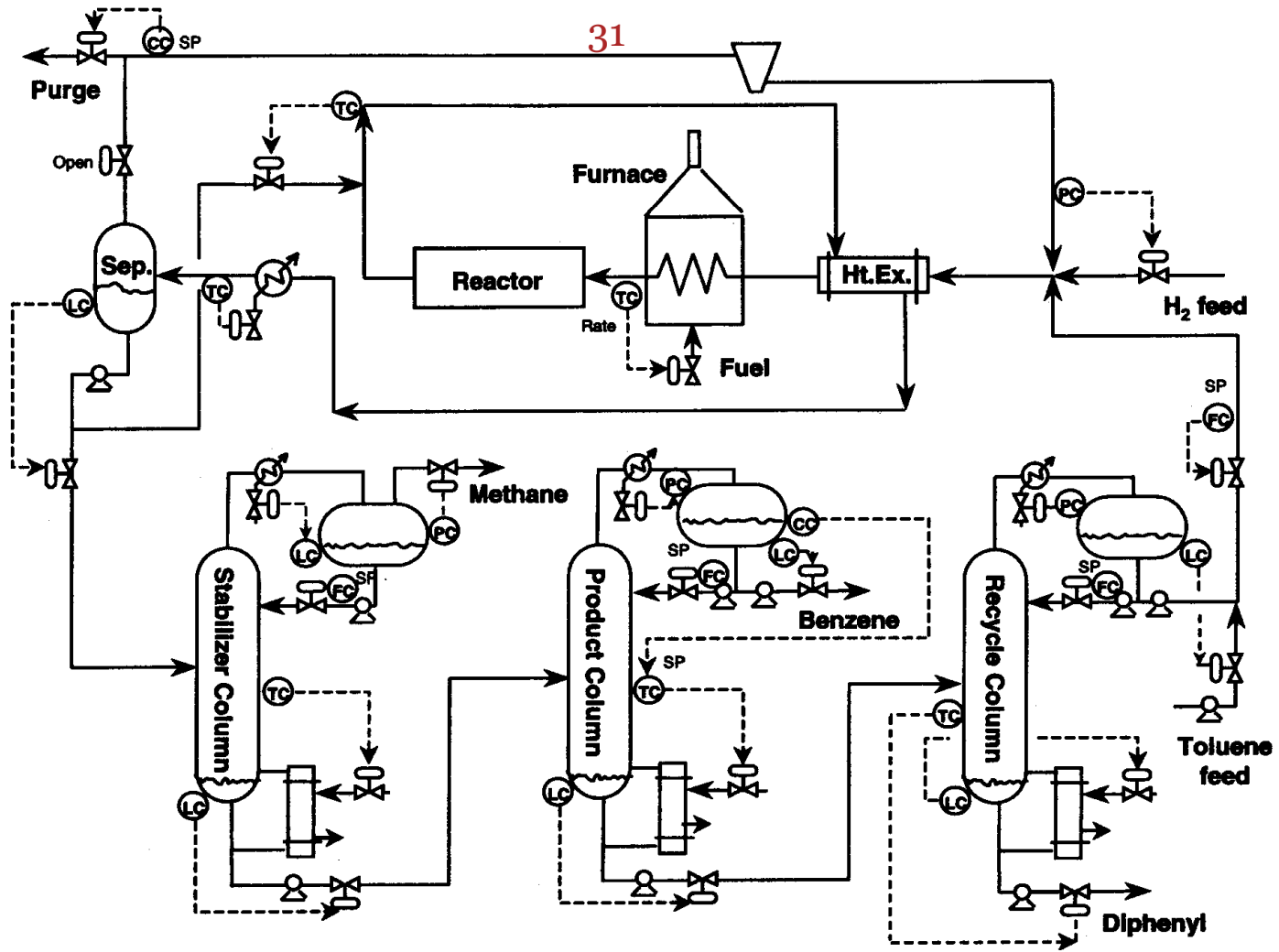


Figure 10.2 HDA process control strategy.

## PFD- heat integration

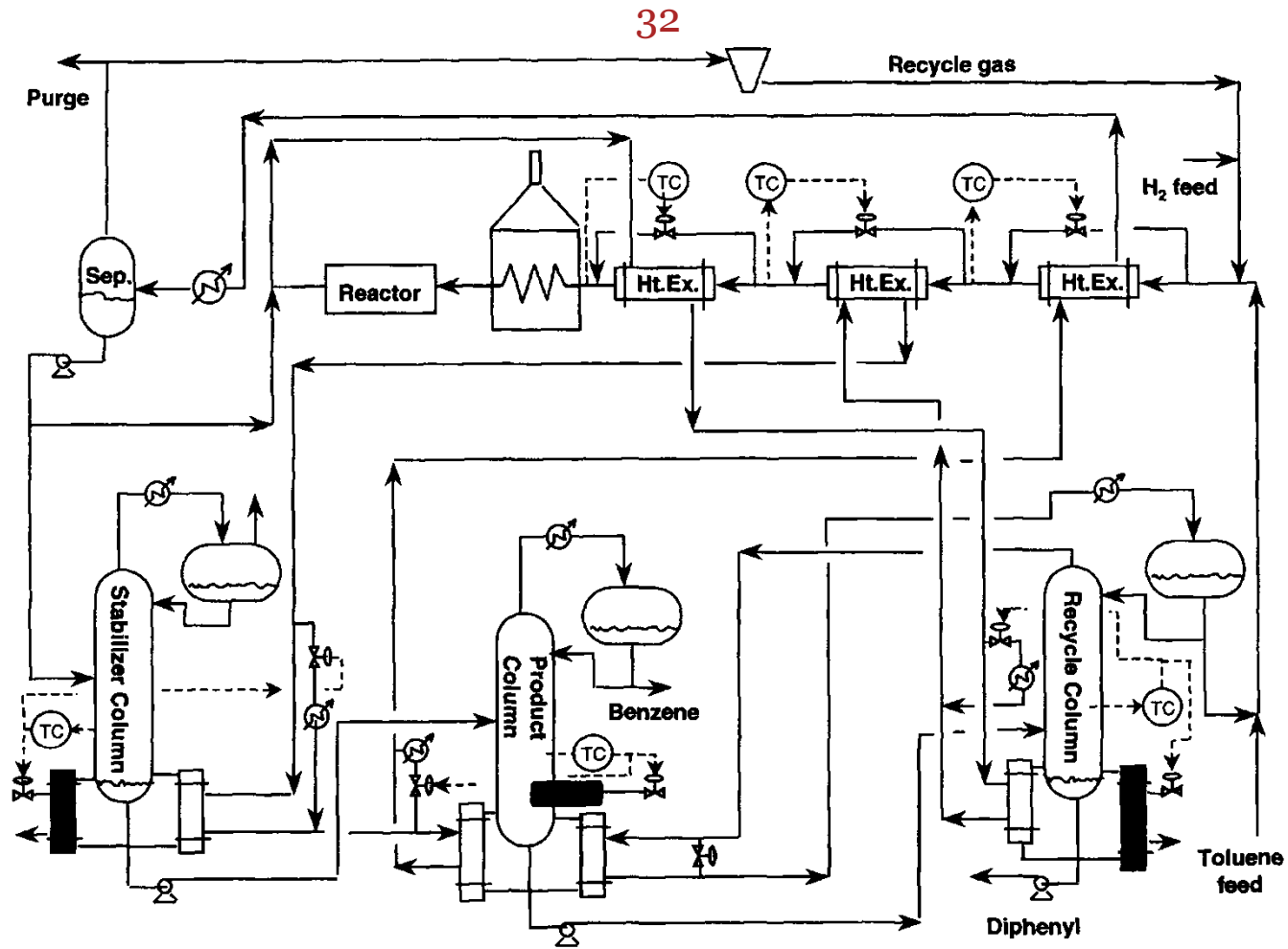


Figure 5.18 HDA process Alternative 6 with complete heat management control system using auxiliary coolers and reboilers.