

3_Buku_Integrasi_proses_dan_e fisiensi_energi.pdf

by Erna Yuliwati

Submission date: 14-Jun-2023 01:53PM (UTC+0700)

Submission ID: 2115786291

File name: 3_Buku_Integrasi_proses_dan_efisiensi_energi.pdf (4.19M)

Word count: 19940

Character count: 129727

INTEGRASI PROSES DAN EFISIENSI ENERGI

Dian Kharismadewi

Erna Yuliwati

penerbit

RAFAHpress
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI RADEN FATMA PALEMBANG

**Dilarang memperbanyak, mencetak, menerbitkan
sebagian maupun seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit**

**Ketentuan Pidana
Kutipan Pasal 72 Undang-undang Republik Indonesia
Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta**

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan 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. 5.000.000,00 (lima juta 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)

INTEGRASI PROSES DAN EFISIENSI ENERGI

Penulis : Dian Kharismadewi
Erna Yuliwati
Layout : Tri Septiana Kebela
Desain Cover : Ismoko

Diterbitkan Oleh:
Rafah Press bekerja sama dengan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada
Masyarakat UIN RF Palembang
Anggota IKAPI

Dicetak oleh:
CV. Amanah
Jl. Mayor Mahidin No. 142
Telp/Fax : 366 625
Palembang – Indonesia 30126
E-mail : noerfikri@gmail.com

Cetakan I: Desember 2019

Hak Cipta dilindungi undang-undang pada penulis
All right reserved

ISBN :

RINGKASAN

Merancang sebuah proses merupakan kegiatan kreatif, hal ini didefinisikan oleh Douglas (1988), dimana merancang proses adalah aktivitas kreatif yang menghasilkan ide-ide dan kemudian menerjemahkannya ke dalam peralatan. Proses untuk memproduksi bahan-bahan baru atau untuk secara signifikan meningkatkan nilai bahan yang ada. Perancangan konseptual menunjukkan bagian dari proyek perancangan sebuah proses kimia yang berhubungan dengan pendefinisian elemen dasar suatu proses: flowsheet, neraca massa dan energi, spesifikasi dan peralatan kinerja, konsumsi utilitas, keamanan dan isu-isu kinerja, konsumsi utilitas, keamanan dan isu-isu lingkungan, serta efisiensi ekonomi. Oleh karena itu, dalam perancangan konsep penekanannya adalah pada perilaku proses sebagai sebuah sistem, bukan pada ukuran dari unit peralatan. Sebuah keputusan terhadap proses yang diintegrasikan akan menyebarkan seluruh mata rantai dari perancangan detil dan pengadaan peralatan. Bahkan jauh lebih tinggi biaya yang diperlukan kemudian dalam operasi untuk memperbaiki kesalahpahaman dalam desain dasar. 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 integrasi proses. Integrasi proses menunjukkan perkembangan teknik dan peralatan baru yang merupakan hasil integrasi, yang dapat mencapai perbaikan yang signifikan dalam produktivitas, serta dalam efisiensi energi dan ramah lingkungan proses. Pengembangan di bidang ini dapat diklasifikasikan dalam dua wilayah (Stankiewicz dan

Moulijn, 2000): (1) Proses-mengintensifkan peralatan, seperti reaktor, 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). Integrasi proses akan mengarah pada penurunan yang signifikan dalam ukuran peralatan dan biaya. Pabrik yang mobile

bisa membawa pembuatan bahan kimia berbahaya lebih dekat ke pengguna-akhir, menghilangkan penyimpanan dan transportasi yang mahal. Selanjutnya integrasi proses juga sebagai disiplin baru dalam teknik kimia dengan penekanan pada efisiensi penggunaan energi, yang mengungkapkan bahwa penghematan energi yang signifikan dapat dicapai dengan energi yang signifikan dapat dicapai dengan menganalisis masalah hanya dalam konteks dari keseluruhan proses (sistem), dan tidak dari sudut pandang unit yang berdiri sendiri.

KATA SAMBUTAN

Alhamdulillahirobbil alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayahnya sehingga kita mendapatkan kesehatan, kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan tugas dan aktifitas kita masing-masing. Shalawat dan Salam pad a junjungan kita Nabi Muhammad SAW, atas berkah dan kasih sayangnya yang selalu menyertai kita, menjaga dan membimbing kita.

Universitas Muhammadiyah Palembang telah memiliki Program Studi Teknik Kimia Program Magister sejak 1 tahun lalu , tepatnya mulai memiliki mahasiswa angkatan pertama pada Bulan April 2017. Hingga saat ini peminatan masyarakat terhadap program studi ini cukup tinggi dan juga kebutuhan industri terhadap sarjana strata 2 pada bidangnya masing-masing mendapatkan porsi yang cukup tinggi. Dorongan pihak pimpinan untuk tersedianya Magister Teknik Kimia merupakan tantangan khusus untuk Program Studi ini sehingga dirasakan sangat perlu untuk membimbing mahasiswa dengan lebih terarah lagi.

Salah satu kompetensi utama mahasiswa adalah mengaplikasikan hasil penelitian baik sendiri maupun sebagai bahan rujukan sehingga mahasiswa dapat trampil mencari, mengolah dan menemukan proses kimia yang dapat diintegrasikan untuk mencapai efisiensi operasional. Salah satu matakuliah yang mempelajari sistem ini adalah Interaksi proses dan efisiensi energi, dimana salah satu tujuan utama nya adalah mendefinisikan sistem yang digunakan dan mendeskripsikan aliran proses energinya sehingga dapat ditentukan sistem integrasinya. Matakuliah ini berbobot 3 SKS dengan logika sistem model sederhana dan termodinamika sebagai dasar pemikirannya.

Buku ajar ini merupakan gagasan yang sangat baik dan patut dihargai karena dapat memudahkan proses belajar mengajar bagi mahasiswa. Dengan demikian buku ajar ini dapat dijadikan sebagai salah satu referensi utama bagi mahasiswa yang mengambil mata kuliah Integrasi Proses dan Efisiensi Energi.

Akhir kata, saya sangat berbangga dengan adanya buku ajar ini dan saya sangat mendukung gagasan baik ini. In syaa Allah dengan

adanya buku ajar ini, mahasiswa dapat lebih mudah memahami materinya dan semoga akan muncul buku ajar lainnya yang dapat dibuat oleh dosen pengampu mata kuliah yang ada di Program Studi Teknik Kimia Program Magister Universitas Muhammadiyah Palembang.

Akhir kata, saya sangat berbangga dengan adanya buku ajar ini dan saya sangat mendukung gagasan baik ini. In syaa Allah dengan adanya buku ajar ini, mahasiswa dapat lebih mudah memahami materinya dan semoga akan muncul buku ajar lainnya yang dapat dibuat oleh dosen pengampu mata kuliah di Universitas Muhammadiyah Palembang.

Palembang, 26 Juli 2018

Ketua Program Studi Teknik Kimia
Program Magister UMP

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir Elfidiah, M.T.
NIDN 02027077004

Dr. Ir Kiagus Ahmad Roni, M.T.
NIDN 0202066401

PRAKATA

Alhamdulillahirobbil alamin, segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayahnya sehingga kita mendapatkan kesehatan, kelancaran dan kemudahan dalam menyelesaikan tugas dan aktifitas kita masing-masing. Shalawat dan Salam pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, atas berkah dan kasih sayangNya yang selalu menyertai kita, menjaga dan membimbing kita. Berkah dan hidayahNya jualah yang telah dilimpahkan kepada kami atas gagasan penulisan buku ajar ini. Penulisan buku ajar ini bertujuan melengkapi bahan referensi mahasiswa untuk mengikuti mata kuliah Integrasi Proses dan Efisiensi Energi di Program Studi Teknik Kimia Program Magister Universitas Muhammadiyah Palembang.

Penuh harapan kepada mahasiswa dan pembacanya agar dapat lebih memahami pengetahuan dan ketrampilan dalam penyelesaian matakuliah dan tugas akhirnya. Ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dan terutama kepada Rektor dan Direktur Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Palembang yang telah membantu mendanai penulisan buku ajar ini melalui kegiatan penulisan buku ajar yang dikoordinir oleh LPPM UM Palembang. Terimakasih juga kami sampaikan kepada Ketua Program Studi Teknik Kimia Program Magister, Dekan Fakultas Teknik UM Palembang dan seluruh teman-teman dosen yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, atas terwujudnya proposal penulisan buku ajar ini.

Penulis menyadari bahwa buku ajar ini masih banyak kekurangan, untuk itu saran bapak dan ibu sangat penulis harapkan. Semoga buku ajar ini dapat bermanfaat untuk kita semua.

Palembang, 26 Juli 2018

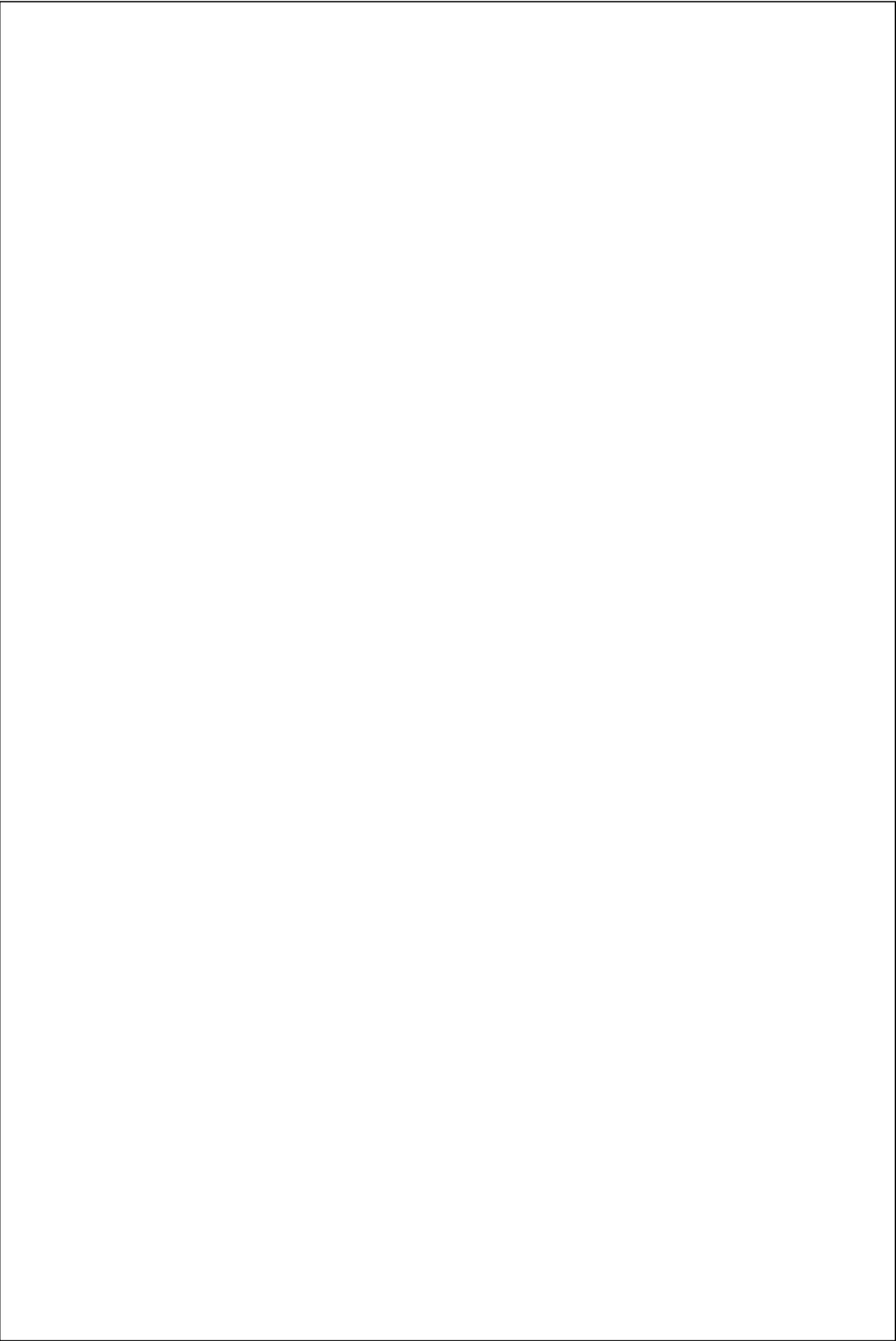
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN	i
RINGKASAN	iii
KATA SAMBUTAN	v
PRAKATA	vii
DAFTAR ISI	ix
BAB 1. DESAIN PROSES KIMIA	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Desain Proses	4
1.3. Pemilihan Teknologi	7
1.4. Perencaanaan Proses	8
1.5. Analisis Bagan-bagan Proses	8
BAB 2. KONSEP TEKNOLOGI PINCH	17
2.1. Definisi Teknologi Pinch	17
2.2. Konsep Dasar Analisa Pinch	20
2.2.1. Konsep Dasar Pertukaran Panas	21
2.2.2. Diagram Temperatur-Entalpi	23
2.2.3. Kuva Komposit	26
2.2.4. Kurva Grand Komposit	29
2.3. Area Aplikasi Teknologi Pinch	30
2.4. Rangkuman	31
2.5. Soal	31
BAB 3. EKSTRAKSI DATA	33
3.1. Ekstraksi Data	33
3.1.1. Keseimbangan Panas dan Massa	34

3.1.2. Ekstraksi Data Aliran	35
3.1.3. Menghitungkan Beban Panas dan Kapasitas Panas	36
3.1.4. Memilih Aliran	36
3.1.5. Percampuran	37
3.2. Target Energi	39
3.3. Prosedur Pertargetan (Studi Kasus)	40
3.4. Rangkuman	44
3.5. Soal.....	45
BAB 4. JARINGAN PENUKAR PANAS	47
4.1. Alat Penukar Panas	47
4.2. Pemecahan Aliran dan Pencocokan Siklik	48
4.2.1. Pemecahan Aliran	48
4.2.2. Pencocokan Siklik	51
4.3. Rangkuman	51
4.4. Soal	53
BAB 5. INTEGRASI PANAS	55
5.1. Integrasi Panas Pada Reaktor	55
5.1.1. Penempatan Reaktor yang Tepat	60
5.2. Integrasi Panas Pada Kolom Destilasi	62
5.2.1. Penempatan Kolom Destilasi yang Tepat	63
BAB 6.SISTEM PENGUAPAN DAN TEKNIK KOGENERASI	67
6.1. Sistem Penguapan	67
6.1.1. Pengertian Penguapan	67
6.1.2. Tujuan Evaporasi	68
6.1.3. Prinsip Kerja Alat Penguapan (Evaporator)	68

6.1.4. Penguapan Evaporator	69
6.1.5. Tipe Evaporator Berdasarkan Cara Pemanasan .	70
6.1.6. Faktor-faktor yang mempengaruhi Evaporasi	71
6.2. Kogenerasi (<i>Cogeneration</i>)	72
BAB 7. <i>CLEAN PROCESS TECHNOLOGY</i>	95
BAB 8. STRATEGI DESAIN PROSES KIMIA DAN INTEGRASINYA	99
8.1. Strategi Proses	99



BAB 1

DESAIN PROSES KIMIA

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi merupakan suatu kebutuhan yang sangat strategis di era globalisasi sekarang ini. Menurut Jaques Ellul (1967:25) “Teknologi sebagai keseluruhan metode yang secara rasional mengarah dan memiliki ciri efisiensi dalam setiap bidang kegiatan manusia”. Gary J. Anglin (1991:7) mendefinisikan “Teknologi sebagai penerapan ilmu-ilmu perilaku dan alam serta pengetahuan lain secara bersistem dan menyistem, untuk memecahkan masalah”. Perkembangan sebuah teknologi informasi sangat membantu mempermudah pekerjaan manusia dalam segala bidang, termasuk dalam bidang industri. Dengan menggunakan teknologi informasi sebuah industri dapat berjalan tanpa banyak menggunakan tenaga manusia. Hal ini dapat meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja yang dapat membahayakan hidup manusia. Teknologi informasi dapat menggantikan fungsi manusia dalam merawat dan menjalankan pabrik secara optimum. Dengan demikian faktor human error yang menjadi ancaman, yang menyebabkan pabrik tidak berjalan semestinya, dapat diminimalisir.

Teknologi adalah suatu rancangan (desain) untuk alat bantu tindakan yang mengurangi ketidakpastian dalam hubungan sebab akibat dalam mencapai suatu hasil yang diinginkan. Suatu teknologi biasanya mempunyai dua aspek yaitu aspek hardware (terdiri dari material atau objek fisik) dan aspek software (Roger,1983:12).

Pemanfaatan teknologi dalam membantu mempermudah

pekerjaan manusia sudah menjadi kebutuhan, termasuk untuk meminimalisir faktor human error. Dengan memanfaatkan komputer sebagai alat hitung, suatu pemodelan matematis yang dapat terkonversi menjadi aplikasi model sehingga akan mempermudah penyelesaian perhitungan matematis.

Pemodelan matematis merupakan metode yang ampuh untuk memecahkan berbagai macam masalah yang muncul dalam optimasi teknik kimia khususnya yang berkaitan dengan perhitungan matematis. Masalah seperti merancang pabrik atau alat, menentukan jumlah unit untuk suatu proses tertentu, menetapkan jumlah bahan baku untuk proses produksi, menentukan perencanaan produksi atau target produksi dan peneracaan adalah beberapa masalah yang dapat diselesaikan melalui pemodelan matematika. Dengan kata lain, model matematis digunakan untuk membuat hipotesa dari suatu hal. Mulai dari perencanaan, desain, proses, hingga operasional (Corsano, *et al.*, 2009 : 2). Pemodelan matematis dapat dikonversi menjadi sebuah aplikasi komputer guna mempermudah proses perhitungan matematis. Aplikasi model merupakan bentuk model matematis yang sudah terkonversi dalam suatu aplikasi komputer sehingga dapat digunakan dengan mudah oleh orang awam sekalipun. Aplikasi model berfungsi sebagai alat hitung dari suatu permasalahan matematis. Dengan menggunakan aplikasi model, permasalahan matematis dapat diselesaikan dengan sangat cepat dan akurat. Aplikasi model digunakan oleh seluruh industri termasuk industri kimia yang membutuhkan kecepatan dan akurasi. Selain digunakan dalam industri, aplikasi model juga dapat digunakan sebagai bahan studi suatu proses kimia maupun perancangan pabrik. Karena aplikasi

model memiliki kemampuan simulasi yang dapat memunculkan hasil prediksi dari suatu permasalahan matematis, percobaan, maupun proses, sangat berguna dalam pelaksanaan yang sesungguhnya.

Simulasi proses digunakan untuk menentukan kelayakan peralatan di sebuah pabrik kimia, jumlah energi yang dibutuhkan, peneracaan, hasil produksi, dan besarnya aliran limbah. Simulasi digunakan bila suatu pemodelan matematis dianggap terlalu rumit dan membutuhkan banyak waktu dalam proses penyelesaiannya (Finlayson, 2006 : 90). Simulasi proses dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi komputer. Aplikasi komputer dapat dibuat dengan berbagai macam bahasa pemrograman seperti PHP, Visual Basic, Delphi, C++ dan Java.

Java merupakan bahasa pemrograman berbasis *open source* dan web yang sangat populer. Java merupakan turunan bahasa pemrograman C dan C++ yang menawarkan pengembangan perangkat lunak komputer berbasis grafik dengan cepat. Para pengguna dapat membangun aplikasi dengan menggunakan komponen-komponen yang disediakan oleh *Java Developer kit*. Java merupakan bahasa pemrograman yang sederhana, berorientasi objek, mudah dimengerti, kuat, terinterpretasi, terurut, dan dinamis sehingga Java banyak digunakan oleh pengguna komputer. Selain itu Java merupakan bahasa pemrograman yang netral terhadap arsitektur sistem sehingga bisa dijalankan di berbagai sistem operasi (Rushendra, 2008). Oleh sebab itu penulis berpendapat bahwa Java cocok dalam pembuatan aplikasi dari model matematis yang digunakan dalam penyelesaian matematis yang ada pada sistem ekstraksi DEA unit purifikasi kilang *polypropylene* di PT. Pertamina (PERSERO) RU III Plaju-Sei

Gerong. Sistem ekstraksi DEA merupakan suatu bagian dari unit purifikasi dari kilang *polypropylene* di PT. Pertamina (Persero) RU III. Sistem ekstraksi DEA berfungsi menghilangkan kadar *carbonyl sulfide* (COS) dan *hydrogen sulfide* (H₂S) dalam bahan baku *polypropylene*. COS diturunkan kandungannya hingga menjadi 5 ppm maksimum, sedangkan H₂S diturunkan kandungannya dari 6000 menjadi 10 ppm dengan menggunakan larutan diethanol amine (DEA) pada konsentrasi 20 % wt (Wahyuddin, 2010 :22).

Selama ini segala permasalahan matematis di kilang *polypropylene* khususnya untuk pengenceran DEA, make-up DEA dan perpindahan massanya diselesaikan kurang efisien karena pada penyelesaiannya memakan waktu yang tidak sedikit serta ada kemungkinan terjadi kesalahan dalam penyelesaian matematis tersebut. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan proses penyerapan impurities pada sistem ekstraksi DEA yang dapat mempengaruhi kualitas produk itu sendiri. Oleh sebab itu penulis tertarik melakukan penelitian dan membuat hasil laporan penelitian dengan judul “Aplikasi Model dan Simulasi Sistem Ekstraksi DEA Unit Purifikasi Kilang Polypropylene PT. Pertamina (Persero) RU III Plaju- Sei Gerong Menggunakan *Java*”

¹ 1.2 Desain Proses

Desain ialah langkah pertama dalam suatu fase pengembangan bagi setiap produk atau sistem yang direkayasa. Desain juga didefinisikan sebagai proses aplikasi berbagai teknik dan prinsip bagi tujuan pendefinisian suatu perangkat, suatu proses atau sistem dalam detail yang memadai untuk memungkinkan realisasi (TAY59). Desain

Proses ialah suatu kegiatan dengan melibatkan tenaga manusia, bahan serta peralatan untuk menghasilkan produk yang berguna baik barang atau jasa. Proses produksi pada hakekatnya merupakan proses perubahan (transformasi) dari bahan/komponen (input) menjadi produk yang lain yang mempunyai nilai. Proses produksi saat ini berkembang pesat karena kemajuan teknologi dan didorong oleh usaha untuk meningkatkan kualitas produktivitas dan fleksibilitas produk. Proses produksi dapat dibedakan baik atas dasar karakteristik aliran prosesnya maupun tipe pesanan langganan. Dapat diklasifikasikan ke dalam 5 kategori:

1. Aliran Garis (Line Flow Process)

Yaitu penyusunan stasiun kerja berdasarkan urutan operasi pembuatan produk menurut langkah – langkah standar dalam proses produksi. Pola Aliran Garis tidak begitu fleksibel dalam memenuhi perubahan desain dan volume produk. Tapi persediaan diminimalkan, skeduling tidak ada masalah dan pengendalian kualitas mudah karena hanya mengikuti arus produk. Pola aliran garis merupakan suatu proses dari bahan mentah sampai menjadi produk akhir dan urutan operasi – operasi yang digunakan untuk menghasilkan produk atau jasa selalu tetap.

Line Flow Process dapat dibagi menjadi 2 tipe yaitu:

- a. Produksi Massa (Mass Production)
- b. Produksi Terus – menerus (continuous Production)

2. Aliran Intermittent (Job Shop atau Jumbled Flow Process)

Yaitu produk dibuat menurut aliran terputus – putus atau tidak kontinu. Peralatan dan tenaga kerja dikelompokkan dalam pusat kerja menurut jenis pekerjaan. Operasinya sangat fleksibel terhadap

perubahan dalam perubahan volume atau produk, karena operasi – operasinya menggunakan peralatan serba – guna dan tenaga kerja berketrampilan tinggi. Namun fleksibilitas ini sering menimbulkan masalah dalam pengendalian persediaan, penjadwalan dan pengendalian kualitas. Disamping itu juga tidak efisien.

3. Proyek (Project).

Yaitu tidak ada aliran produk tapi setiap proyek mempunyai urutan tertentu dalam proses operasinya. Biasanya material, peralatan & tenaga kerja dibawa ke lokasi proyek. Serta memiliki kegiatan awal & akhir dengan batas waktu penyelesaian. Bentuk ini tidak cocok untuk proses manufacturing karena proyek hanya dikerjakan sekali saja. Bentuk operasi – operasi proyek digunakan bila ada kebutuhan akan kreativitas dan kekhususan dalam pembuatan suatu produk.

4. Sistem Manufaktur Fleksibel (Flexible Manufacturing System)

Yaitu merupakan automated cell untuk menghasilkan sekelompok komponen, dimana semua komponen butuh proses manufacturing serupa tapi urutan dari operasi tidak selalu sama. Dan sistem ini membutuhkan investasi awal yang besar. Serta bertujuan untuk memberi respon secara tepat terhadap keinginan pelanggan terutama terkait dengan perubahan dalam desain, jumlah & pelayanan produk.

5. Sistem Manufaktur Tangkas (Agile Manufacture System)

Yaitu suatu sistem yang mengkombinasikan visi kompetitif dengan kreatifitas dan aplikasi teknologi. Dimana ada 4 dimensi antara lain:

1. Memperkaya nilai kepada pelanggan
2. Bekerjasama dalam meningkatkan daya saing perusahaan

3. Mengoperasikan perubahan dan ketidakpastian
4. Menelaah pengaruh dari informasi.

Seluruh kombinasi proses dapat dijumpai baik baik dalam perusahaan manufaktur ataupun jasa. Klasifikasi proses dapat digunakan untuk beberapa tujuan yaitu:

1. Untuk mengkategorikan berbagai tipe masalah keputusan berbeda yang dihadapi dalam operasi – operasi
2. Untuk seleksi proses.

1.3 Pemilihan Teknologi

Teknologi menjadi salah satu faktor dominan dalam bisnis dan dalam kehidupan kita. Kemajuan teknologi mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap manajemen operasi. Ada 2 definisi umum mengenai teknologi.

1. Teknologi merupakan aplikasi ilmu pengetahuan untuk memecahkan masalah - masalah manusia (**arti luas**).
2. Teknologi merupakan sekumpulan proses, peralatan, metode, prosedur dan perkakas yang digunakan untuk memproduksi barang dan jasa. Lebih mengandung arti teknologi proses dan bukan teknologi produk. (**arti sempit**).

Keputusan – keputusan seleksi proses dan pemilihan teknologi berhubungan sangat erat dan saling berkaitan. Seperti penetapan proses aliran garis dalam seleksi proses akan mempengaruhi pemilihan macam mesin dan peralatan yang akan digunakan. Tetapi salah satu keputusan tidak selalu harus mendahului keputusan yang

lain karena, dalam praktek kedua keputusan tersebut sering digunakan secara bersamaan.

Pemilihan teknologi mempunyai dampak terhadap semua bagian operasi, terutama dalam desain pekerjaan. Selain itu juga mempengaruhi seluruh aspek – aspek operasi lainnya, termasuk produktivitas dan kualitas produk. Dan juga pemilihan teknologi mempengaruhi strategi perusahaan serta bagian operasi dan bisnis. Teknologi bukan merupakan suatu kegiatan tunggal tetapi lebih sebagai suatu proses yang diorganisasikan dengan baik yang mencakup peninjauan teknologi secara terus menerus serta implementasi teknologi terpilih.

1.4 Perencanaan Proses

Perencanaan proses berkenaan dengan perancangan dan implementasi sistem kerja yang akan mempengaruhi produk yang diinginkan dalam kuantitas yang diperlukan. Kegiatan – kegiatan dalam perencanaan proses ini mengenai tipe aliran proses dan desain pusat – pusat kerja. Keputusan – keputusan yang diambil dalam perencanaan proses akan mempengaruhi keputusan – keputusan dalam bagian – bagian operasi lain, seperti scheduling produksi, tingkat persediaan, desain pekerjaan, dan metode – metode pengawasan kualitas yang digunakan.

1.5 Analisis Bagan-bagan Proses

Bagan – bagan proses digunakan untuk menggambarkan dan memperbaiki proses transformasi dalam sistem – sistem produktif.

Dalam peningkatan efektifitas atau efisiensi proses – proses produksi, beberapa atau seluruh elemen proses berikut mungkin perlu diubah:

- Bahan mentah
- Desain produk
- Desain pekerjaan
- Tahap – tahap pemrosesan yang digunakan
- Sistem pengawasan manajemen
- Peralatan atau perkakas

Oleh karena itu, analisis proses dapat mempunyai pengaruh yang luas pada semua bagian operasi. ² Perencanaan proses memerlukan pemahaman operasi – operasi sebagai suatu sistem produktif. Dengan pendekatan sistem, langkah – langkah yang perlu diambil dalam perencanaan proses ialah sebagai berikut:

1. Menentukan tujuan – tujuan perencanaan, yaitu untuk meningkatkan efisiensi, efektifitas, kapasitas, atau semangat kerja karyawan.
2. Memilih proses (atau sistem) produktif yang relevan, yaitu operasi keseluruhan atau beberapa bagian operasi.
3. Menggambarkan proses transformasi yang ada sekarang dengan bantuan bagan – bagan proses dan pengukuran efisiensi.
4. Mengembangkan desain proses yang diperbaiki melalui perbaikan aliran – aliran proses dan/atau masukan – masukan yang digunakan. Biasanya proses yang telah direvisi juga digambarkan dengan bagan – bagan proses.
5. Mendapatkan persetujuan manajemen untuk desain proses yang telah direvisi.

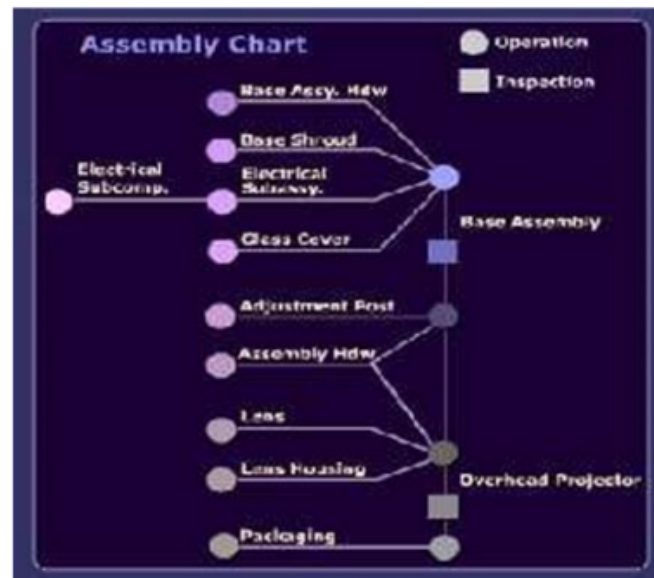
6. Mengimplementasikan disain proses baru.

Langkah – langkah di atas adalah untuk proses yang sudah ada. Bila yang direncanakan proses baru, langkah 3 & 4 digabungkan untuk menggambarkan proses yang diinginkan.

Pada umumnya perencanaan dan pengelolaan berbagai proses transformasi dilakukan dengan alat bantu yang berupa bagan – bagan. Bagan aliran proses ialah peralatan pokok perbaikan aliran bahan – bahan. Dimana setelah penyusunan bagan proses, manager mungkin dapat mengkombinasikan operasi – operasi tertentu, menghilangkan atau menyederhanakan operasi – operasi yang lain untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan. Bagan – bagan yang digunakan dalam perencanaan dan pengelolaan proses diantaranya ialah sebagai berikut:

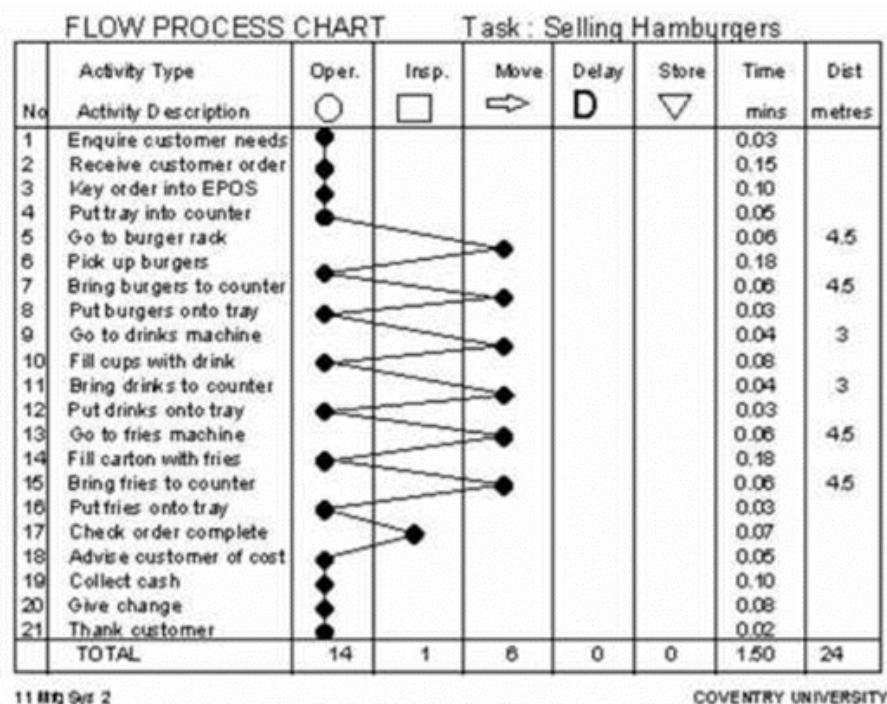
1. Bagan-bagan perakitan (assembly charts).

Bagan ini menunjukkan kebutuhan-kebutuhan bahan dan urutan perakitan komponen-komponen yang merupakan suatu perakitan mekanikal. Dimana bagan ini biasanya untuk membantu menggambarkan aliran bahan dan hubungan masing-masing komponen.



2. Bagan-bagan aliran proses (flow-process charts)

Bagan ini merinci proses ke dalam unsur – unsur dan simbol – simbol. Dengan simbol – simbol tersebut disusun bagan yang mencakup spesifikasi bagian – bagian proses, waktu atau jarak yang harus ditempuh karyawan, serta spesifikasi kegiatan – kegiatan penundaan dan penyimpanan. Jadi, bagan aliran proses memberikan petunjuk – petunjuk yang lengkap tentang tata cara pelaksanaan suatu proses. Bagan aliran proses dalam penyusunan dan penganalisaannya perlu mempertimbangkan berbagai tipe pertanyaan yaitu: apa, siapa, di mana, kapan, dan bagaimana.



3. Bagan proses operasi-operasi (Routing Sheet)

Atau sering disebut Routing Sheet, bagan ini mirip operational process charts bagan perakitan, dengan perbedaan bahwa bagan proses operasi mencakup spesifikasi – spesifikasi untuk bagian dan waktu pengoperasian dan pemeriksaan. Routing Sheet lebih terperinci daripada bagan perakitan karena menunjukkan operasi – operasi dan routing yang diperlukan untuk suatu bagian proses individual. Routing sheet memberikan petunjuk yang lebih lengkap tentang cara untuk memproduksi suatu barang. Atau dengan kata lain Routing Sheet menetapkan secara tepat cara memproduksi suatu barang/produk dengan mengidentifikasi peralatan dan teknologi yang digunakan, operasi dan langkah proses yang harus diikuti, serta estimasi waktu penyiapan dan beroperasinya mesin serta biaya dan utilitas yang dibutuhkan.

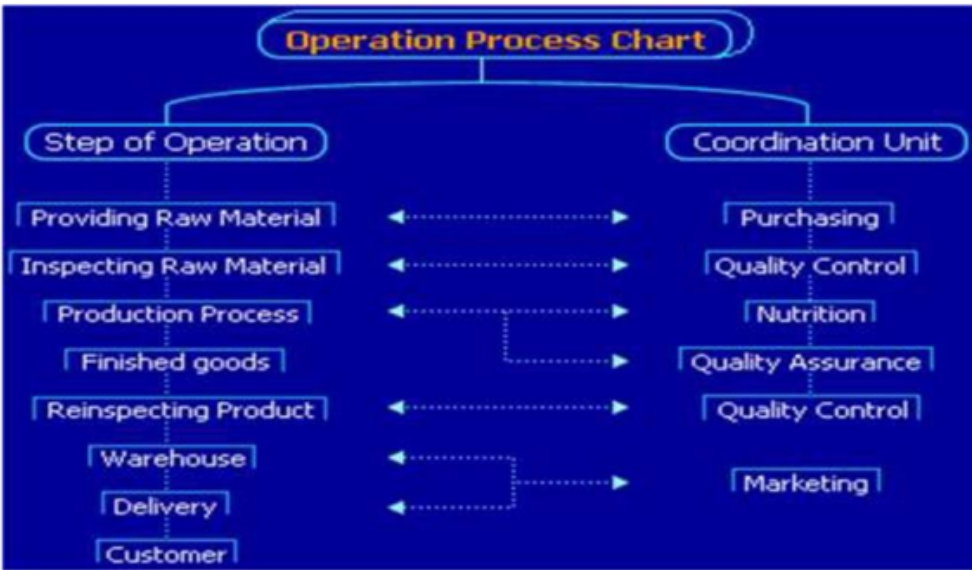
HEADQUARTERS, MARINE FORCES PACIFIC
ROUTING SHEET

[illegible]

4. Bagan Operasi (Operation Charts)

Bagan ini menunjukkan spesifikasi bagian – bagian pengoperasian dan pemeriksaan secara lebih terperinci. Diamana setiap bagan operasi menunjukkan gerakan – gerakan tangan seorang karyawan secara terperinci. Sebaiknya penyusunan bagan operasi sebaiknya dilakukan dengan berpedoman pada prinsip – prinsip ekonimi gerakan. Dimana prinsip ini ada 3 aspek yaitu:

- penggunaan anggota badan,
- pengaturan tempat kerja, dan
- perancangan peralatan & perkakas. Yang dapat menyederhanakan banyak pekerjaan.



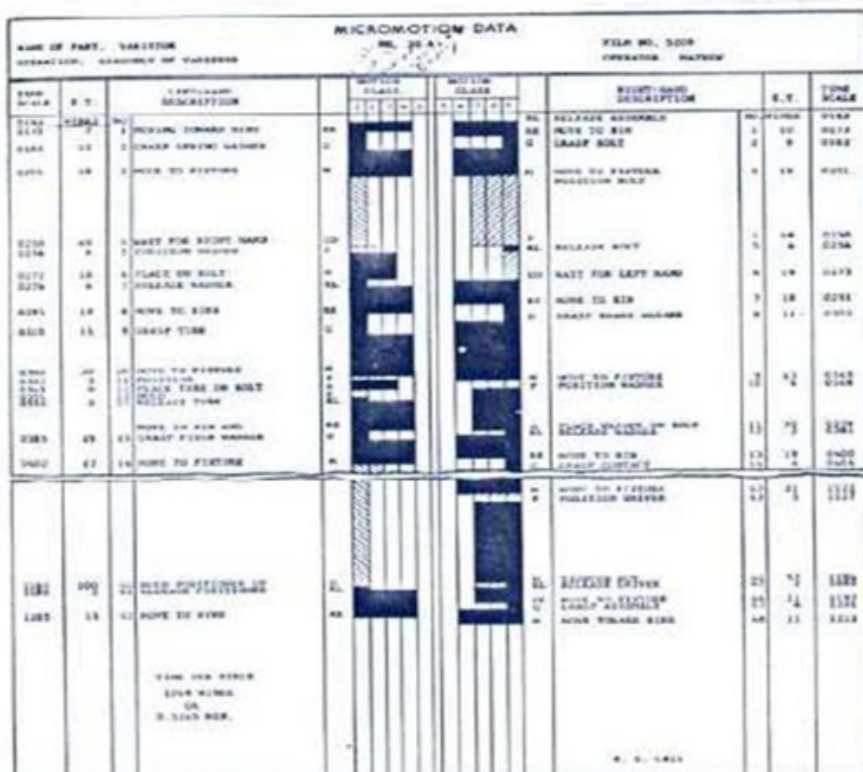
5. Bagan Manusia-Mesin (Man-machine Chart atau Activity Chart)

Bagan ini menunjukkan hubungan antara operator dan mesin. Yaitu menunjukkan apa yang dikerjakan mesin dan apa yang dikerjakan karyawan pada setiap periode waktu. Dari bagan ini kita dapat menentukan waktu istirahat operator dan mesin serta mengidentifikasi elemen – elemen setiap kegiatan karyawan dan mesin secara simultan. Selain itu juga berguna untuk membantu penentuan penggunaan dua sumber daya penting perusahaan yang terbaik.

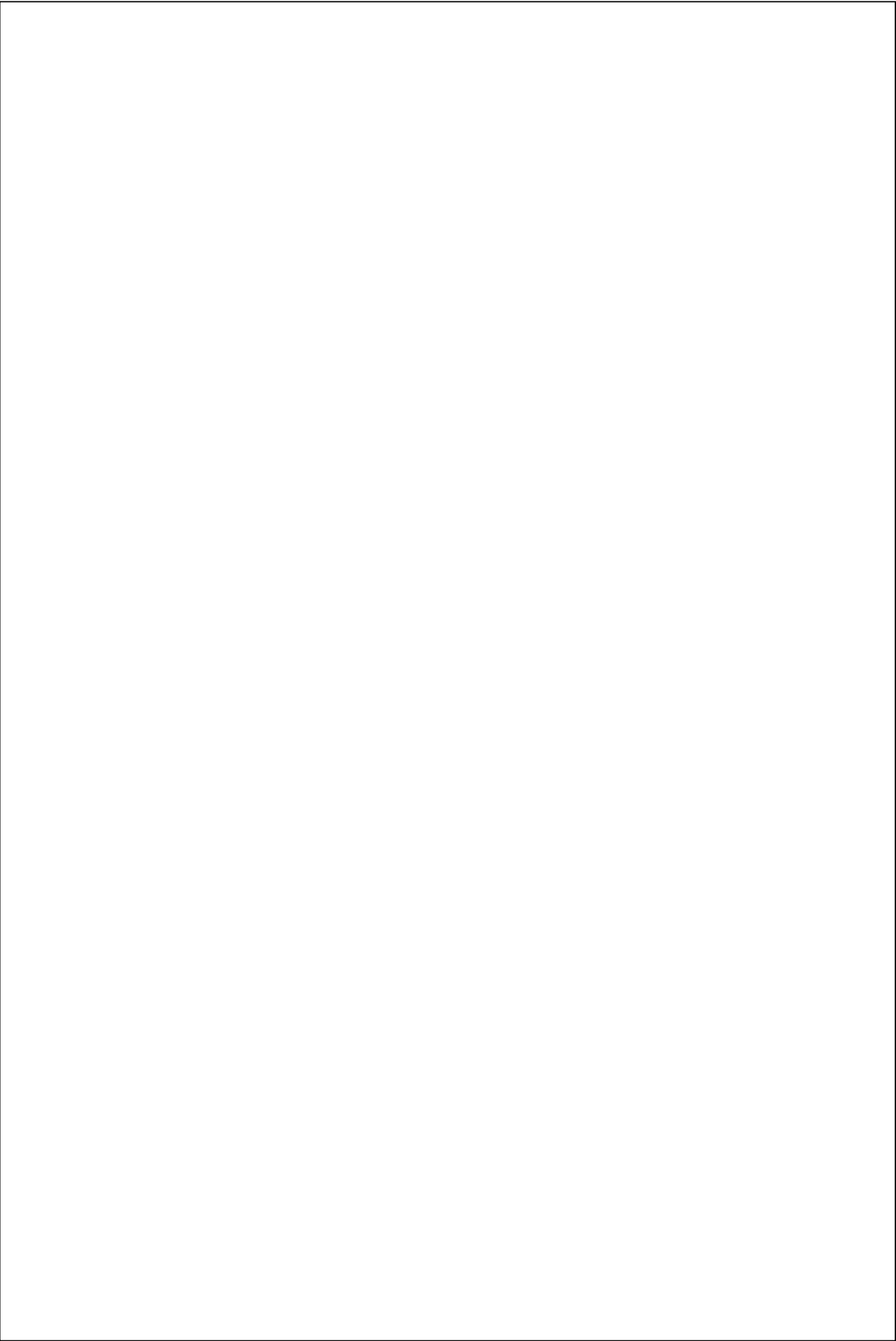
Project Activity Chart				
Main Objectives	Sub Objectives	Staff	Criteria for Success	Timeline
Task 1: Needs Assessment				
	1.1 Via Literature	All	6-8 page report on national needs	1/2 - 1/15
	1.2 Via Interviews	KJ, KS	20 teachers interviewed	1/10 - 1/20
	1.3 Via Survey Forms	SA, PM	200 forms sent & results analyzed	1/10 - 2/15
Task 2: Design Inservice				
	2.1 Develop Lessons	All	5 2-hour lessons developed	1/15 - 3/15
	2.2 Look for Materials	KJ, SA, PM	Bibliography completed	1/15 - 3/15
	2.3 Prepare Handouts	All	Handouts completed for 5 lessons	1/30 - 3/15
Task 3: Recruit Participants				
		All	40 teachers recruited	2/15 - 3-30
Task 4: Do The Inservice				
	4.1 Presentations	KJ, KS	5 weekly 2-hour sessions done	4/15 - 5-13
	4.2 Formative Evaluation		Data gathered in each session	4/15 - 5/13
Task 5: Complete the Project				
	5.1 Summative Evaluation	All	Data gathered & analyzed	5/13 - 8-13
	5.2 Dissemination	All	2 papers at AERA	7/15 - 12/15
	5.3 Final Report	KJ, KS	Report sent to granting agency	6/13 - 9/15
Identification of Staff				
		SA = Susan Adams		
		KJ = Dr. Kenneth Jones	PM = Paul Max	
		KS = Dr. Karen Smith	All = All four staff	

Bagan ini mirip dengan bagan operasi. Dimana menunjukkan gerakan – gerakan tangan kiri dan kanan, tetap mencakup waktu setiap gerakan. Dengan tehnik analisis waktu untuk setiap gerakan , yang biasanya ditentukan melalui perhitungan suatu kerangka gerakan kerja, kita dapat mengkombinasikan, menghilangkan atau mengubah gerakan – gerakan dasar untuk mengembangkan metoda yang lebih baik

SIMO (SIMULTANEOUS) MOTION CHART



Time short assembly of variable resistor



BAB 2

KONSEP TEKNOLOGI PINCH

2.1 Definisi Teknologi Pinch

Pada saat harga minyak bumi terus meningkat, konservasi energi tetap menjadi perhatian utama bagi banyak proses industri. Tantangan yang dihadapi oleh process engineer adalah mencari jawaban atas pertanyaan-pertanyaan yang berhubungan dengan aliran proses energi. Beberapa pertanyaan yang seringkali ditanyakan seperti:

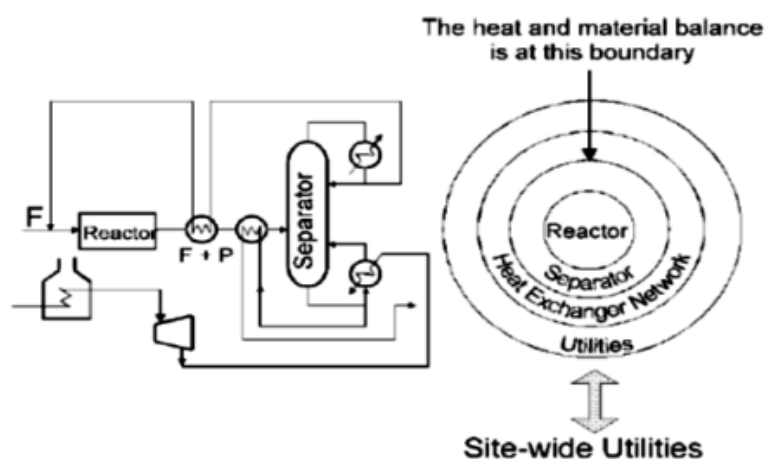
- Apakah proses yang telah ada sudah se-efisien yang seharusnya?
- Bagaimana suatu proyek baru dievaluasi sesuai dengan kebutuhan energinya?
- Perubahan apa yang dapat dibuat untuk meningkatkan efisiensi energi tanpa menimbulkan biaya apapun?
- Investasi seperti apa yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi energi?
- Utilitas apa yang paling cocok untuk digabungkan dalam suatu proses?
- Bagaimana meletakkan efisiensi energi dan target lainnya seperti penurunan emisi, peningkatan kapasitas pabrik, peningkatan kualitas produk, dan lainnya, menjadi satu rencana strategis yang koheren untuk keseluruhan pabrik?

Semua pertanyaan diatas dapat dijawab melalui pemahaman akan Pinch Technology.

Istilah ‘Pinch Technology’ diperkenalkan oleh Linnhoff dan Vredeveld untuk mempresentasikan serangkaian metode baru yang sistematis dalam penghematan energi pada suatu proses berdasarkan

prinsip Termodinamika (Hukum Termodinamika I dan II), yang menjamin tingkat energi minimum dalam desain jaringan pertukaran panas. Hukum Termodinamika I menyediakan persamaan energi untuk menghitung perubahan entalpi (ΔH) pada aliran yang melintasi alat penukar panas. Hukum Termodinamika II menentukan arah dari aliran panas, dimana energi panas hanya boleh mengalir dalam satu arah dari panas ke dingin, sehingga mencegah terjadinya ‘temperature crossovers’ pada aliran panas dan dingin yang melalui unit penukar panas.

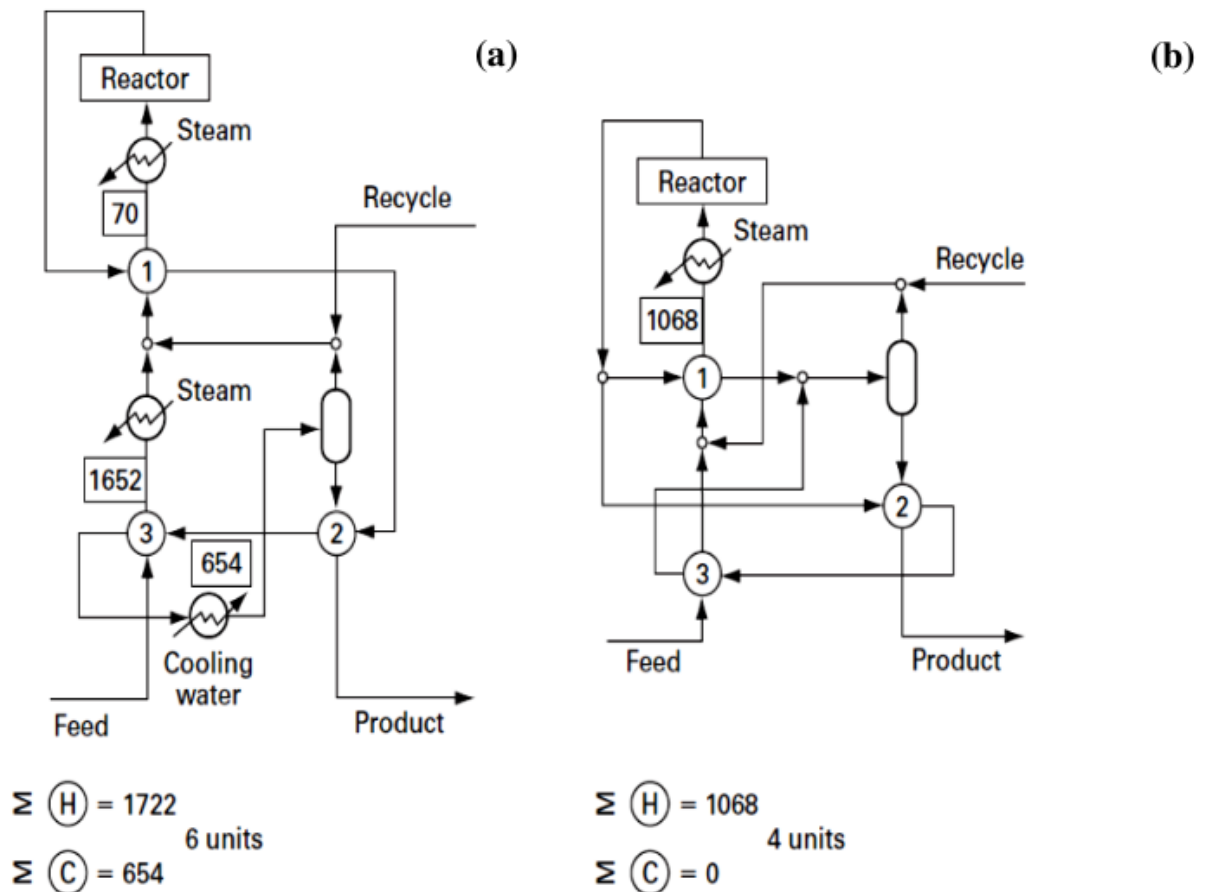
Gambar 2.1 mengilustrasikan peran Pinch Technology dalam desain proses keseluruhan. Hirarki desain proses dapat digambarkan melalui diagram irisan bawang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Desain proses dimulai dengan reactor (pada bagian inti). Saat konsentrasi dan laju aliran masuk, keluar dan siklus diketahui, maka separator (pada lapisan kedua) dapat dirancang. Setelah keseimbangan dasar panas dan material dimasukkan, maka selanjutnya jaringan pertukaran panas dapat didesain (lapisan ketiga). Kemudian sisa dari kebutuhan pemanasan dan pendinginan akan ditangani oleh sistem utilitas (lapisan keempat). Proses sistem utilitas dapat merupakan bagian dari sistem utilitas terpusat yang luas (site-wide utilities).



Gambar 2.1. Diagram irisan bawang hirarki desain proses

Sedangkan istilah “Pinch Analysis” mempresentasikan aplikasi alat dan algoritma dari Pinch Technology yang digunakan untuk mempelajari proses-proses industri. Pinch analysis dimulai dengan analisa kesetimbangan panas dan material untuk suatu proses, dengan konsep pertamanya adalah menentukan target energi. Dengan menggunakan pinch technology, maka merupakan hal yang mungkin untuk mengidentifikasi perubahan yang sesuai pada kondisi proses utama yang mungkin untuk dilakukan penghematan energi (pada bagian lapisan pertama dan kedua diagram irisan bawang). Setelah kesetimbangan panas dan material terbentuk, target untuk penghematan energi dapat di set sesuai dengan desain dari jaringan pertukaran panas. Metode desain pinch yang akan memastikan bahwa target ini akan tercapai selama desain jaringan.

Gambar 2.2 menunjukkan flowsheet yang menggambarkan desain tradisional untuk suatu proses kimia. Pada gambar (a) dibutuhkan enam unit alat pemindah panas (seperti pemanas, pendingin dan penukar panas) dengan besaran energi yang dibutuhkan sebesar 1.722 kW untuk proses pemanasan dan 654 kW untuk proses pendinginan. Pada gambar (b) ditunjukkan desain alternatif yang dikenalkan oleh Linnhoff (1979) dengan menggunakan teknik pinch analysis. Flowsheet alternatif ini hanya menggunakan 4 unit alat pemindah panas dan beban pemanas utilitas turun sekitar 40% dimana proses pendinginan tidak lagi diperlukan. Desain ini aman dan bisa beroperasi seperti pada desain tradisionalnya, sehingga cukup sederhana.



Gambar 2.2 Flowsheet dari suatu proses kimia, (a) desain tradisional dan (b) desain dengan teknik pinch analysis

2.2 Konsep Dasar Analisa Pinch

Kebanyakan proses industri menyertakan perpindahan panas dari satu aliran proses ke aliran proses lainnya (interchanging) atau dari aliran utilitas ke aliran proses, sehingga target dari desain proses industri adalah untuk meminimalisasi kebutuhan energi utilitas dan memaksimalkan pemanfaatan kembali panas dari proses ke proses. Untuk memenuhi tujuan dari memaksimumkan energi yang dapat dimanfaatkan kembali atau meminimumkan kebutuhan energi, maka dibutuhkan jaringan pertukaran panas (HEN-Heat Exchanger Network).

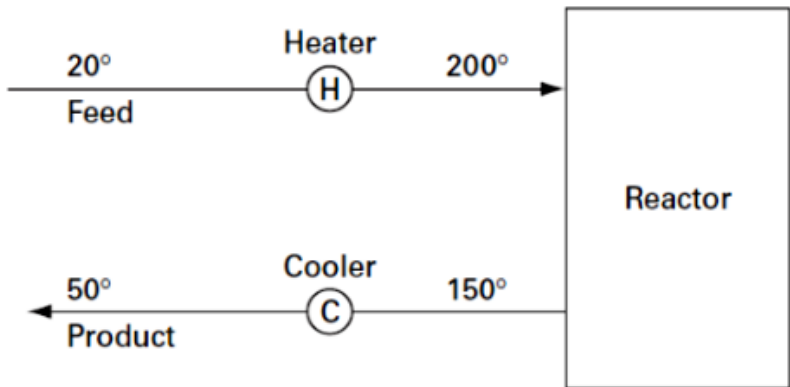
2.2.1 Konsep dasar pertukaran panas

Setiap yang mengalir yang membutuhkan proses pemanasan atau pendinginan, tanpa disertai adanya perubahan komposisi, maka didefinisikan sebagai **aliran (stream)**. Aliran masuk ke suatu sistem, yang dimulai dari temperatur rendah dan perlu untuk dinaikkan temperaturnya atau dipanaskan maka disebut sebagai **aliran dingin (cold stream)**. Sebaliknya, aliran produk yang keluar dari suatu sistem dengan temperatur tinggi dan memerlukan proses pendinginan, maka disebut sebagai **aliran panas (hot stream)**. Sedangkan, proses reaksi bukanlah merupakan aliran, karena menyangkut perubahan komposisi secara kimia, dan arus make-up juga bukan disebut sebagai aliran karena tidak dipanaskan ataupun didinginkan.

Suatu reaktor yang digambarkan secara sederhana pada gambar 2.3, mensuplai cairan masuk ke reaktor dari temperatur 20°C ke 200°C , sehingga ditempatkan alat pemanas pada aliran dingin tersebut. Disisi lain aliran panas keluar reaktor dari temperatur 150°C akan didinginkan melalui alat pendingin ke temperatur 50°C . Pada sistem ini juga terdapat arus make-up yang tidak dipanaskan menuju ke reaktor. Data dari aliran reaktor ini ditunjukkan pada table 2.1. Dari data table ditunjukkan bahwa diperlukan tambahan energi sebesar 180 kW untuk proses pemanasan uap dan 180 kW untuk proses pendinginan.

Untuk melakukan penghematan energi, dapat dilakukan pemanfaatan kembali panas dari aliran panas dan menggunakannya untuk memanaskan aliran dingin melalui alat penukar panas, sehingga diperlukan sedikit uap untuk pemanasan dan air untuk pendinginan. Sistem pemanfaatan ini ditunjukkan pada gambar 2.4. Idealnya

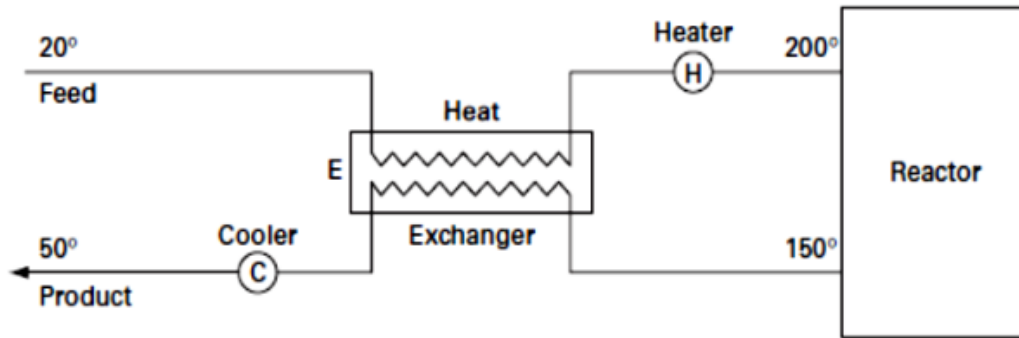
diinginkan untuk dapat memanfaatkan kembali keseluruhan energi 180 kW dari aliran panas untuk memanaskan aliran dingin. Akan tetapi, hal ini tidak mungkin terjadi karena keterbatasan temperatur. Sesuai dengan aturan Hukum Termodinamika II, tidak dapat menggunakan aliran panas 150°C untuk memanaskan aliran dingin hingga ke temperatur 200°C. Sehingga munculah pertanyaan, “seberapa besar energi yang bisa dimanfaatkan? Dan seberapa besar alat penukar panas yang digunakan? Dan berapa temperatur yang bisa dinaikkan?”.



Gambar 2.3 Flowsheet aliran reaktor sederhana

Tabel 2.1 Data aliran keluar masuk reaktor

	Mass flowrate W (kg/s)	Specific heat capacity C _p (kJ/kgK)	Heat capacity flowrate CP (kW/K)	Initial (supply) temperature T _S (°C)	Final (target) temperature T _T (°C)	Heat load H (kW)
Cold stream	0.25	4	1.0	20	200	−180
Hot stream	0.4	4.5	1.8	150	50	+180



Gambar 2.4 Flowsheet aliran reaktor menggunakan alat penukar panas

2.2.2 Diagram Temperatur-Entalpi

Diagram temperatur-entalpi diilustrasikan oleh gambar 2.5. Kandungan panas H dari aliran (kW) disebut sebagai entalpi (penggunaan istilah yang berbeda pada Termodinamika, entalpi kJ/kg). Aliran panas diferensial dQ bila ditambahkan pada aliran proses akan meningkatkan entalpi-(H)nya oleh $CPdT$, dimana:

$$CP = \text{laju aliran kapasitas panas (kW/K)} = \text{aliran massa } W \text{ (kg/s)} \\ \times \text{panas spesifik } C_p \text{ (kJ/kgK)}$$

$$dT = \text{perubahan temperatur diferensial}$$

dengan mengasumsi CP adalah konstan, untuk aliran yang membutuhkan pemanasan (aliran dingin) dari temperatur suplai (T_s) ke temperatur target (T_T), total panas yang ditambahkan akan setara dengan perubahan entalpi aliran.

$$Q = \int_{T_s}^{T_T} CPdT = CP(T_T - T_s) = \Delta H$$

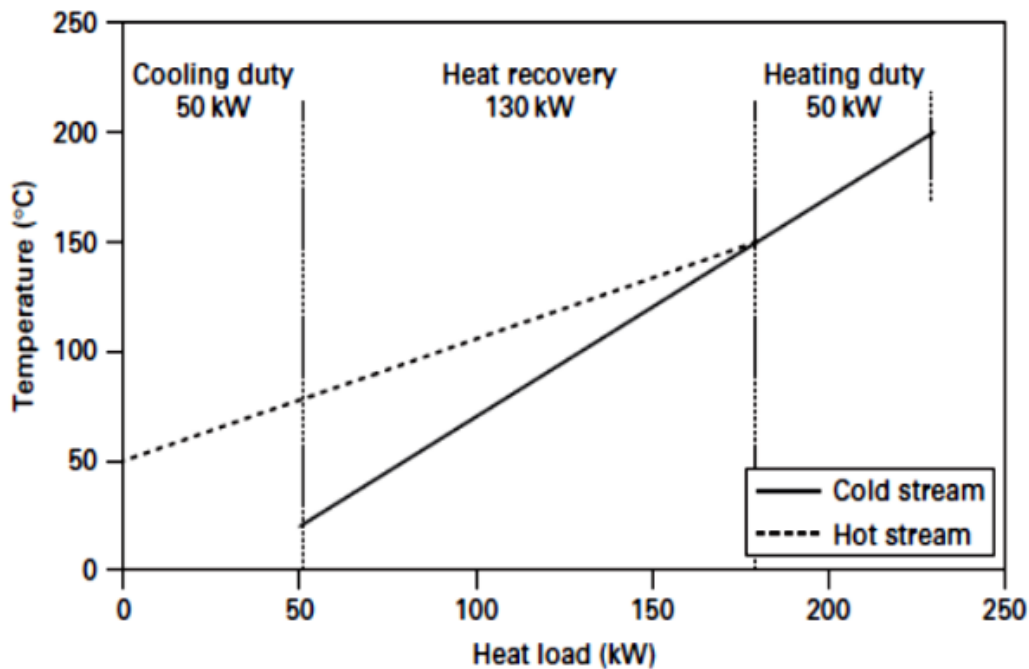
(2.1)

dimana slope yang mewakili aliran tersebut adalah

$$\frac{dT}{dQ} = \frac{1}{CP}$$

(2.2)

Diagram T/H dapat digunakan untuk menggambarkan pertukaran panas.



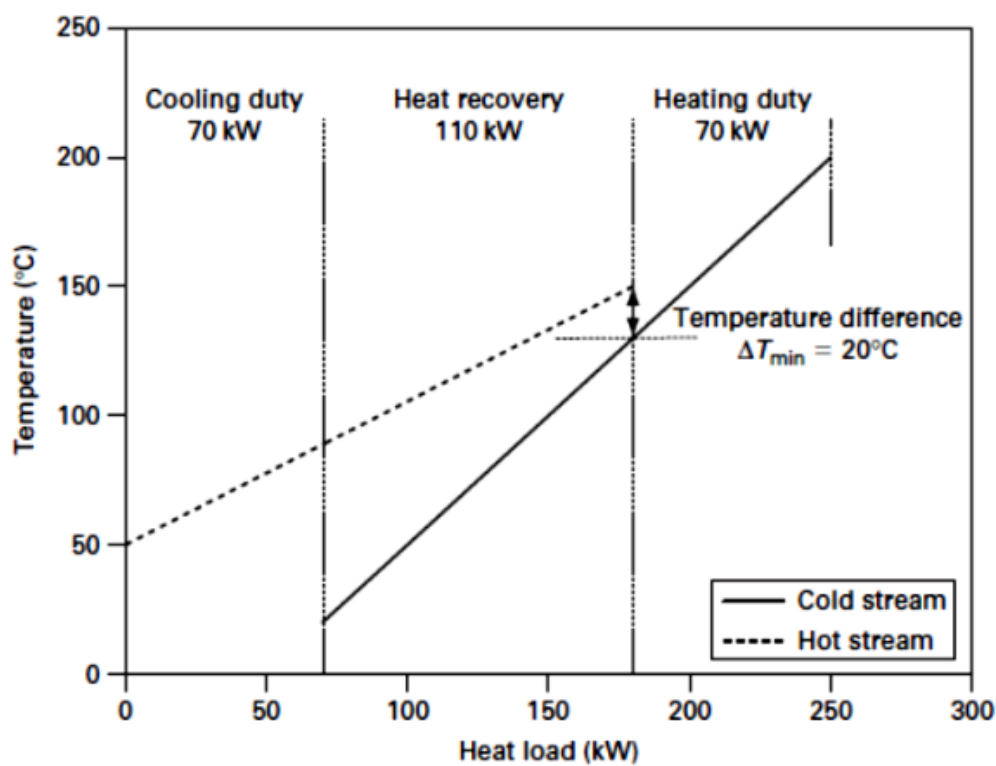
Gambar 2.5 Aliran yang diplot ke diagram temperatur/entalpi (T/H)

dengan $\Delta T_{\min} = 0$

Pada gambar 2.5, untuk pertukaran panas yang mungkin terjadi, setiap titik pada aliran panas harus lebih tinggi dari aliran dingin, sehingga dapat diplotkan diatas garis aliran dingin. Dengan selisih temperatur aliran temu adalah nol, maka hanya 130 kW energi yang dapat dimanfaatkan kembali, dimana 50 kW energi yang dibutuhkan oleh aliran dingin harus didapatkan dari proses pemanasan uap air, dan 50

kW energi yang tersedia pada aliran panas harus dibuang ke fasilitas air pendingin. Secara teknis, situasi proses ini tidaklah praktis untuk digunakan karena akan membutuhkan fasilitas alat penukar panas yang sangat besar.

Untuk membuat proses pemanfaatan kembali panas dapat dilakukan secara teknis, maka diagram temperatur/entalpi harus digeser sehingga memiliki selisih temperatur $\Delta T_{\min}$ yang positif dan terbatas (misalnya 20°C), seperti ditunjukkan pada gambar 2.6.



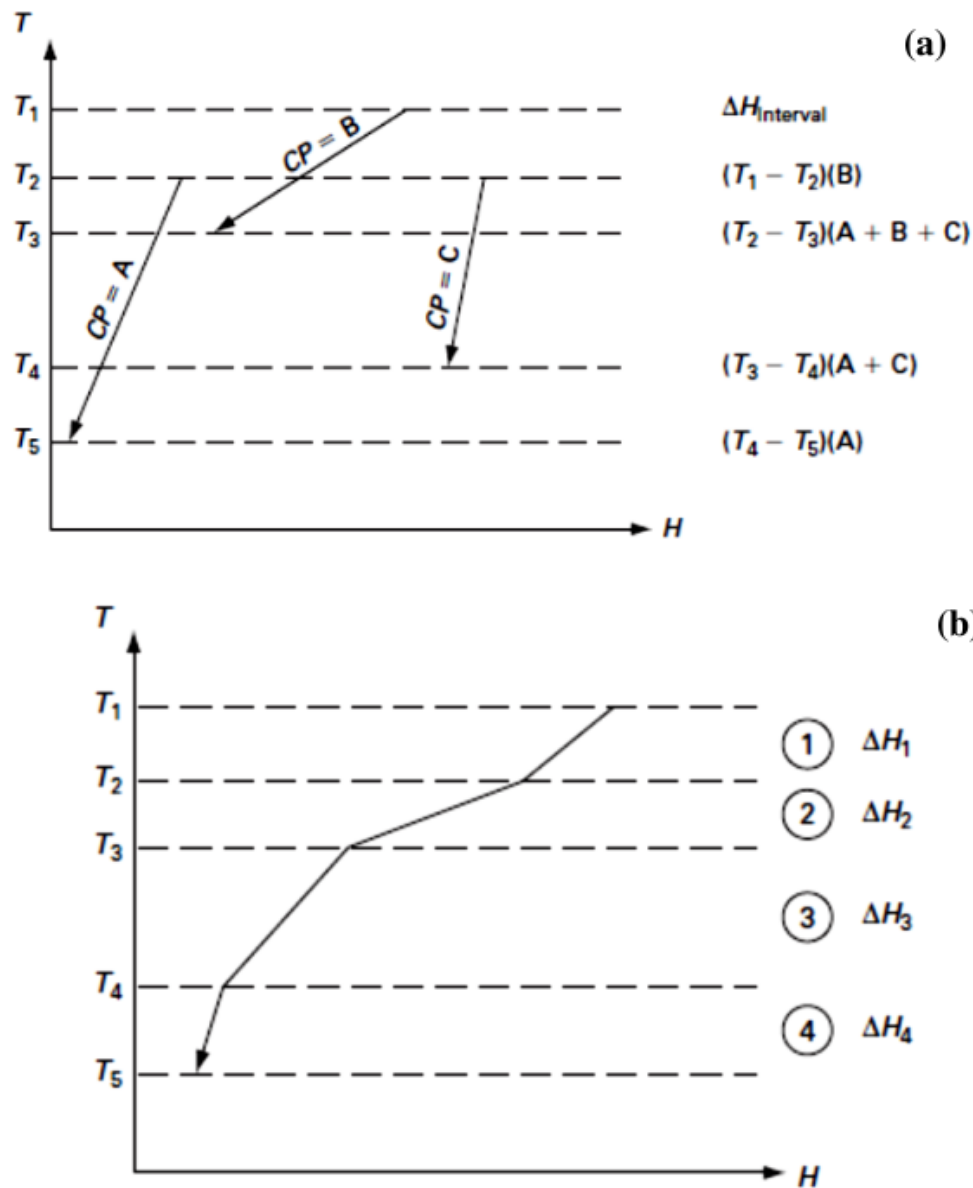
Gambar 2.6 Diagram T/H dengan $\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C}$

Pengaruh dari pergeseran ini adalah untuk meningkatkan kerja utilitas pemanasan dan pendinginan dengan jumlah yang setara 70 kW dan menurunkan beban kerja alat penukar panas yang setara 20 kW. Sehingga dapat disimpulkan bahwa besarnya pergeseran $\Delta T_{\min}$ akan menyebabkan besarnya konsumsi akan utilitas, yang artinya nilai dari

$\Delta T_{\min}$ memiliki korelasi hubungan dengan beban alat penukar panas dan beban total utilitas yang digunakan untuk suatu sistem. Sehingga pada saat pemilihan $\Delta T_{\min}$, artinya ada target energi yang dipilih dalam menentukan seberapa besar proses pemanasan dan pendinginan yang akan digunakan pada saat mendesain alat penukar panas. Atau dengan kata lain, bila beban utilitas pemanas naik sebesar nilai α , maka beban pendingin juga naik sebesar α , dan pertukaran panas akan turun sebesar nilai α .

2.2.3 Kurva Komposit

Dalam menangani aliran yang banyak, beban panas atau laju alir kapasitas panas dari semua aliran yang ada dapat ditambahkan sesuai dengan rentang temperatur yang diberikan kedalam diagram T/H. Gambar 2.7 mencontohkan tiga jenis aliran yang berbeda dimana temperatur suplai dan target berada dalam rentang $T_1 - T_5$. Antara T_1 dan T_2 hanya aliran B yang ada, sehingga panas yang tersedia pada interval ini diberikan oleh $CP_B(T_1 - T_2)$. Sementara diantara T_2 dan T_3 ada tiga jenis aliran sehingga panas yang tersedia pada interval ini diberikan oleh $(CP_A + CP_B + CP_C)(T_2 - T_1)$. Rangkaian nilai ΔH untuk setiap interval didapatkan dengan menggunakan rumus tersebut, dan digambarkan kembali kedalam diagram T/H pada gambar 2.7(b).

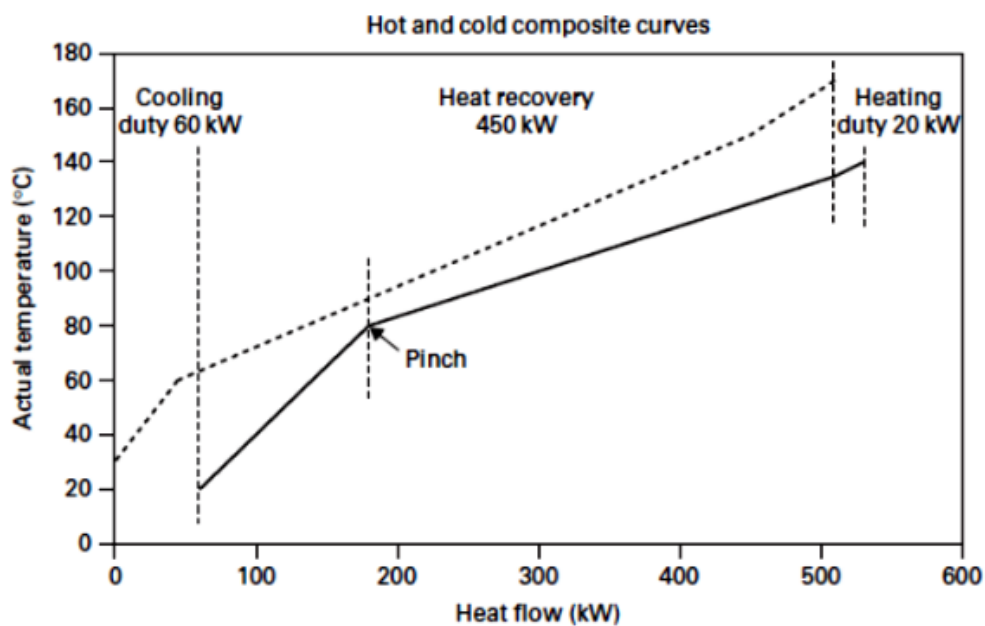


Gambar 2.7 Pembentukan kurva komposit aliran panas

Plot T/H sebagai satu kurva tunggal yang mewakili semua jenis aliran panas dinamakan sebagai **kurva komposit aliran panas (hot composite curve)**. Dengan cara yang sama **kurva komposit aliran dingin (cold composite curve)** juga dapat dibuat.

Gambar 2.8 menunjukkan kurva komposit aliran panas dan aliran dingin, dimana garis yang saling tumpang tindih menggambarkan jumlah maksimum panas yang dapat dimanfaatkan

kembali dalam suatu proses. Garis yang berlebih pada bagian bawah dari kurva komposit aliran panas menggambarkan jumlah minimum pendinginan dari luar yang diperlukan, sedangkan garis yang berlebih pada bagian dari kurva komposit aliran dingin mewakili jumlah minimum pemanasan dari luar yang diperlukan (Hohmann, 1971).



Gambar 2.8 Kurva komposit dari empat jenis aliran

Adapun $\Delta T_{\min}$ yang paling dekat disebut area **Pinch** (Linnhoff, 1979). Hal ini berarti bahwa merupakan hal yang mungkin untuk mendesain jaringan dengan menggunakan keperluan utilitas yang minimum, dimana hanya alat penukar panas pada pinch yang perlu beroperasi pada nilai ΔT hingga $\Delta T_{\min}$. Data empat jenis aliran yang terdapat pada gambar 2.8 ditunjukkan pada table 2.2 berikut.

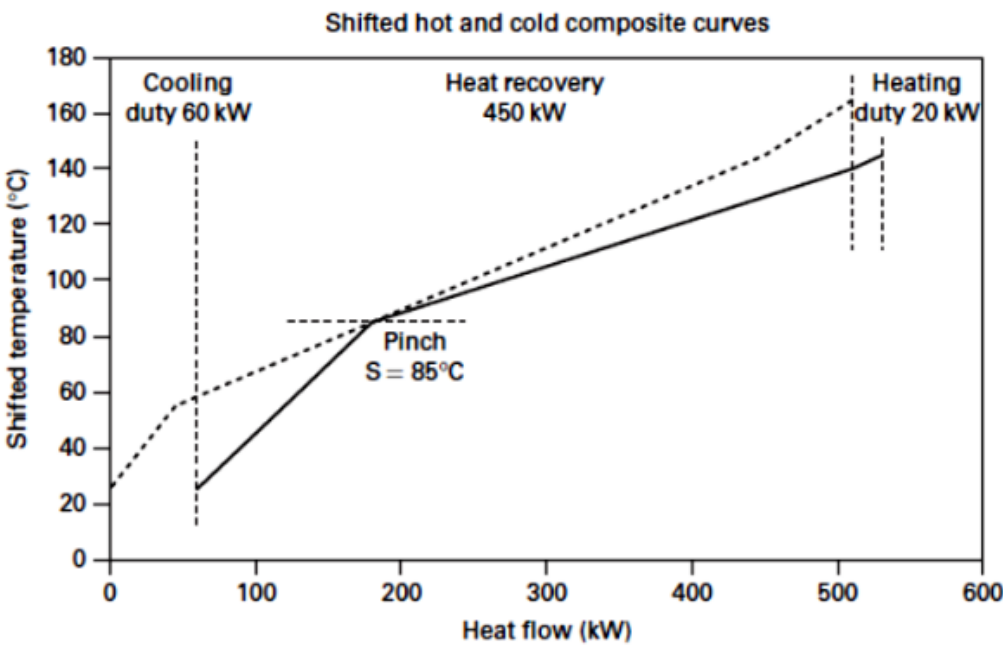
Tabel 2.2 Data empat jenis aliran pada kurva komposit

Stream number and type	CP (kW/K)	Actual temperatures		Shifted temperatures	
		T _S (°C)	T _T (°C)	S _S (°C)	S _T (°C)
1. Cold	2	20°	135°	25°	140°
2. Hot	3	170°	60°	165°	55°
3. Cold	4	80°	140°	85°	145°
4. Hot	1.5	150°	30°	145°	25°

$\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}.$

2.2.4 Kurva Grand Komposit

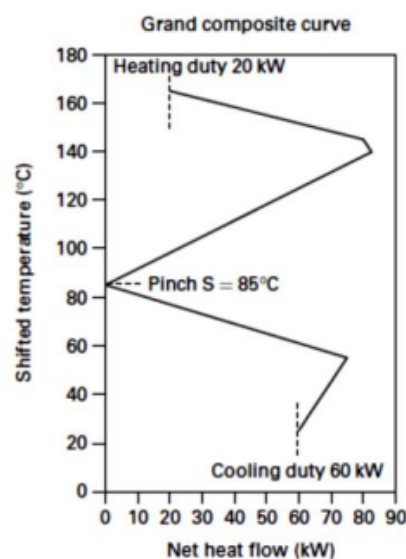
Apabila kurva komposit digambarkan kembali dengan menggunakan temperatur yang telah digeser (shifted temperatur) sejauh $\frac{1}{2}\Delta T_{\min}$ (misal 5°C) dibawah temperatur aliran panas dan $\frac{1}{2}\Delta T_{\min}$ diatas temperatur aliran dingin, maka dapat terlihat dengan jelas bahwa kedua kurva komposit akan bertemu pada temperatur pinch dan terbagi menjadi dua proses, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 dengan menggunakan data pada table 2.2.



Gambar 2.9 Kurva komposit yang telah digeser sejauh $\frac{1}{2}\Delta T_{\min}$

Aliran panas dari semua aliran panas Q_H , relative terhadap temperatur S pada pinch disebut ΔQ_H , sebaliknya aliran panas dari semua aliran dingin Q_C disebut ΔQ_C . Ketidakseimbangan yang terjadi haruslah disuplai melalui utilitas berupa pemanasan dan pendinginan. Diatas pinch, $\Delta Q_C > \Delta Q_H$, perbedaannya haruslah disuplai oleh utilitas panas. Sedangkan dibawah pinch, $\Delta Q_H > \Delta Q_C$, kelebihan panasnya haruslah dibuang oleh utilitas dingin. Dengan mengetahui kurva komposit yang telah digeser sejauh $\frac{1}{2}\Delta T_{min}$, dapat ditemukan jumlah minimum pemanasan atau pendinginan yang diperlukan pada temperatur manapun. Grafik total aliran panas (net heat flow) versus shifted temperature dapat dengan mudah diplotkan, yang selanjutnya disebut sebagai **kurva grand komposit (grand composite curve)**.

Kurva grand komposit menggambarkan selisih antara panas yang tersedia dari aliran panas dan panas yang dibutuhkan oleh aliran dingin, relative terhadap pinch, pada shifted temperature yang tersedia. Dengan menggunakan data pada table 2.2 maka kurva grand komposit digambarkan pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kurva grand komposit

2.3 Area Aplikasi Teknologi Pinch

Pinch bermula pada sektor petrokimia yang kemudian penggunaannya meluas ke berbagai sektor bidang teknik kimia. Dimanapun pemanasan dan pendinginan digunakan pada suatu proses maka disana terdapat potensi untuk penerapannya. Aplikasi penggunaan pinch technology bermula pada proyek yang berhubungan dengan penghematan energi pada industri seperti besi dan baja, makanan dan minuman, tekstil, kertas dan papan, semen, bahan kimia, minyak dan petrokimia.

2.4 Rangkuman

Dari penjelasan pada bahasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

- Gabungan kurva komposit (panas dan dingin), digunakan untuk memperkirakan target bagi penentuan energi minimum yang dibutuhkan (utilitas panas dan dingin), area jaringan minimum yang dibutuhkan, dan jumlah minimum alat penukar panas yang dibutuhkan.
- $\Delta T_{\min}$ dan titik pinch, digunakan untuk menentukan seberapa dekat kurva komposit aliran panas dan aliran dingin dapat didekatkan tanpa melanggar aturan Hukum Termodinamika II.
- Kurva grand komposit, digunakan untuk memilih tingkat utilitas yang tepat dalam memenuhi kebutuhan energi seluruhnya.

2.5 Soal

- 1 Buatlah langkah-langkah dalam menganalisa pinch dari data aliran panas dan dingin proses hingga didapatkan desain jaringan penukar panasnya.

Daftar Pustaka

1. Ian C. Kemp, Pinch Analysis and Process Integration; A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, 2nd Ed., Elsevier, 2007.
2. Linnhoff March, Introduction to Pinch Technology, 1998.
3. The Chemical Engineers' Resources, Pinch Technology: Basics for the Beginners.

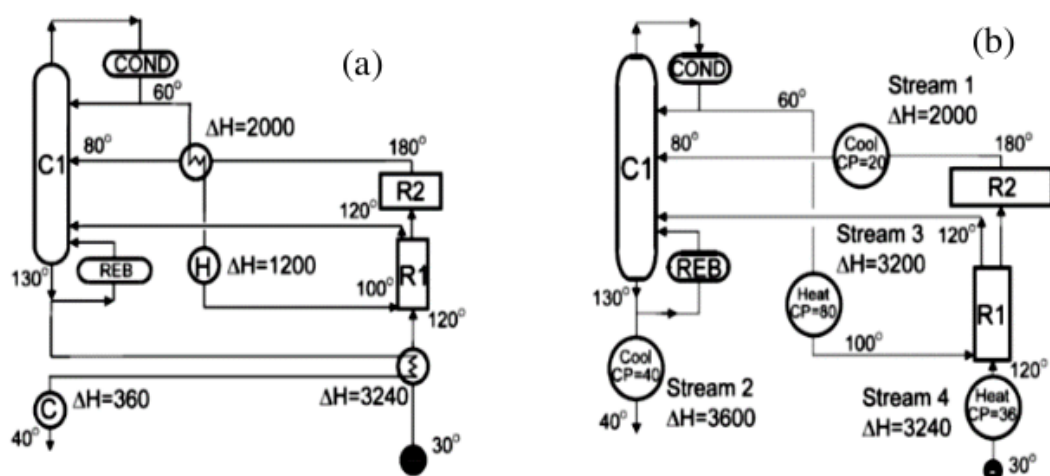
BAB 3

EKSTRAKSI DATA DAN TARGET ENERGI

3.1 Ekstraksi Data

Ekstraksi aliran data dari flowsheet suatu proses merupakan bagian yang sangat penting dalam analisa pinch. Jika metode yang salah dipilih, maka akan berakhir dengan target yang tidak mungkin untuk dicapai oleh sistem yang realistis.

Ekstraksi data berhubungan dengan data yang diperlukan untuk analisa pinch dari suatu kesetimbangan panas dan massa. Gambar 3.1(a) menunjukkan contoh aliran proses yang meliputi dua tingkatan reaktor dan kolom distilasi. Proses ini memiliki proses pemanfaatan kembali panas yang ditunjukkan dengan adanya alat penukar panas. Kebutuhan utilitas panas proses adalah 1200 unit (ditunjukkan oleh H) dan kebutuhan utilitas dingin adalah 360 unit (ditunjukkan oleh C). Analisa pinch digunakan untuk mengidentifikasi potensi penghematan energi (atau target) dan membantu mendesain jaringan penukar panas guna pencapaian target penghematan.



Gambar 3.1 Ekstraksi Data untuk Analisa Pinch

(a) Proses Contoh Flow-sheet dan (b) Ekstraksi Data Flow-sheet

Untuk memulai analisa pinch, data termal diperlukan dan harus diekstrak dari proses, dimana hal ini menyangkut identifikasi proses pemanasan dan pendinginan. Gambar 3.1(b) menunjukkan flow-sheet dari proses contoh yang menyoroti permintaan pemanasan dan pendinginan aliran tanpa adanya referensi ke penukar yang ada atau disebut sebagai ekstraksi data flow-sheet.

3.1.1 Keseimbangan Panas dan Massa

Pada pabrik yang baru berdiri, data keseimbangan panas dan massanya dapat diambil dari data desain pada laju aliran dan komposisi, serta data literature akan kapasitas panas spesifik, dan lain sebagainya. Sedangkan, pada pabrik yang telah lama berdiri, walaupun data desain tersedia, data ini seringkali berbeda dengan kondisi aktualnya. Desain proses merupakan sesuatu yang tidak pasti, pengaturan dan aliran biasanya akan berubah selama proses berjalan untuk mencapai suatu kondisi yang stabil dan keluaran yang diinginkan. Komposisi material baku bahkan bisa berubah sejak pertama kali proses dimulai, atau dapat bervariasi dengan waktu, sementara alat-alat penukar panas dapat menjadi kotor dan turun performa. Sehingga keseimbangan panas dan massa yang baru, diperlukan untuk menggambarkan kondisi yang sebenarnya terjadi, dengan kemungkinan berbagai skenario untuk bahan baku yang berbeda atau sebelum / sesudah proses pembersihan.

Keseimbangan massa haruslah berdasarkan laju aliran massa. Sedangkan keseimbangan panas, data mentahnya adalah temperatur, beban panas dan laju aliran dari keseimbangan massa.

3.1.2 Ekstraksi Data Aliran

Sesuatu dikatakan sebagai aliran (stream) apabila terjadi perubahan pada beban panas tetapi tidak terjadi perubahan komposisi. Misalnya, aliran cairan pada alat penukar panas atau komponen cairan tunggal yang diuapkan, atau campuran yang didinginkan tanpa adanya pemisahan komponen, kesemuanya dapat disebut sebagai aliran (streams). Sedangkan, aliran cairan yang melalui kolom absorpsi atau scrubber, atau campuran yang bereaksi, atau aliran yang melalui kolom distilasi yangmana komponen yang mudah menguap dipisahkan, maka kesemua jenis aliran ini tidak dapat disebut sebagai aliran (streams).

Data aliran yang dibutuhkan adalah range temperatur dari $T_1 \rightarrow T_2$, tipe aliran (panas atau dingin) dan kapasitas laju aliran panas CP (kW/K) atau beban panas aliran ΔH (kW). Data-data berikut dapat diperoleh dari:

- Aliran arus massa dan kapasitas panas spesifik yang diukur atau dipublikasikan
- Arus massa dan data entalpi spesifik
- Beban panas yang diukur pada alat penukar panas
- Perhitungan ulang dari aliran beban panas pada suatu kesetimbangan panas

Berbagai jenis data tersebut dapat dihubungkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta H = CP \cdot (T_2 - T_1) = C_p \dot{m} (T_2 - T_1) = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

Dimana: $\dot{m}$ merupakan laju aliran massa (kg/s), C_p merupakan kapasitas panas spesifik (kJ/kgK), dan h merupakan entalpi spesifik (kJ/kg).

3.1.3 Menghitung Beban Panas dan Kapasitas Panas

Algoritma analisa pinch dinyatakan dalam laju aliran kapasitas panas CP. Akan tetapi, lebih praktis untuk menggunakan beban panas dalam kW daripada laju aliran kapasitas panas dalam kW/K. Sebagai contoh, pada aliran campuran, kapasitas panas spesifik mungkin tidak diketahui, akan tetapi beban panas dapat dengan mudah didapatkan dengan menggunakan beban yang diketahui dari suatu alat penukar panas pada temperatur tertentu yang diketahui. Apabila satu atau lebih kapasitas panas aliran diberikan dalam bentuk polynomial pada temperatur T, maka:

$$\text{Laju aliran kapasitas panas CP} = c_0 + c_1T + c_2T^2 + c_3T^3 \dots$$

$$\text{Beban panas H} = c_0T + (c_1T^2/2) + (c_2T^3/3) + (c_3T^4/4) \dots$$

Aliran dapat dibagi menjadi dua atau lebih segmen, atau dibiarkan berupa aliran tunggal jika variasi terhadap temperatur tidaklah bagus.

3.1.4 Memilih Aliran

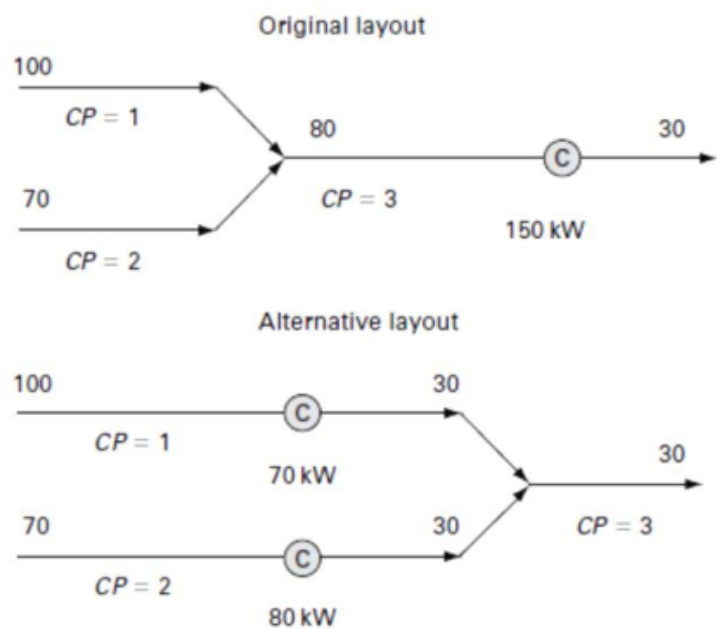
Berapa banyak aliran yang dapat dibagi misalkan aliran melewati suatu tangki penyimpanan dan pompa injeksi sebelum menuju ke kolom distilasi? Sebagai contoh, ada aliran yang dipompakan dari temperatur 10°C, dipanaskan ke 30°C menuju tangki penyimpanan, kemudian dipanaskan kembali ke temperatur 80°C di alat penukar panas yang setelahnya dinaikkan ke temperatur 120°C pada utilitas pemanas menuju kolom distilasi. Dari contoh ini terlihat bahwa aliran dibagi menjadi 3 jenis aliran terpisah. Cara ini mungkin dapat memberikan target temperatur yang benar, akan tetapi pada desain jaringannya akan menemui kesulitan. Katakanlah alirannya dibuat menjadi 2 jenis aliran terpisah, yaitu dari 10°C ke tangki

penyimpanan di 30°C, dan dari 30°C ke temperatur akhir di 120°C. Sekarang kita memiliki peluang yang lebih baik dalam menemukan kecocokan yang berbeda dan meningkatkan desain. Akan tetapi, temperatur penyimpanan pada 30°C tidaklah kritis. Jika aliran umpan dijadikan 1 jenis aliran saja, dari 10°C ke 120°C, kesempatan untuk meningkatkan desain tetaplah besar. Dimana temperatur tanki penyimpanan dapat ditetapkan pada “break point” antara kedua temperatur tersebut. Dengan kata lain, apabila aliran dibagi menjadi banyak jenis aliran, maka sama artinya meningkatkan tingkat kerumitan dari jaringan, peningkatan kesulitan, dan menghilangkan kesempatan untuk pemanfaatan kembali panas.

Secara umum, seorang perancang pertama kali haruslah memutuskan yangmana temperature supply dan target, yang akan ditetapkan sebagai temperatur tetap dan berubah. Kemudian barulah membuat rancangan dasar jaringan penukar panas, dimana temperatur tetap dapat dilakukan perubahan untuk dapat melakukan peningkatan kualitas jaringan. Keputusan ini tergantung dari teknologi proses yang digunakan dan pengalaman perancang itu sendiri. Akan tetapi bagaimanapun, seorang perancang haruslah selalu melihat peluang dalam meningkatkan kualitas jaringanya dengan melakukan perubahan pada data dasar. Untuk itu perlu untuk dapat mengetahui tingkat kesulitan yang terjadi pada situasi lapangan/nyata, area mana yang dapat dijadikan fleksibel atau seberapa besar tingkat kesulitannya.

3.1.5 Pencampuran

Pencampuran atau pemisahan aliran dapat menyebabkan permasalahan dalam mengekstraksi data. Misalkan aliran pada temperatur 70°C dan 100°C dilakukan pencampuran dalam mixing point sehingga temperaturnya mengalami penurunan menjadi 80°C, yang kemudian dilewatkan ke alat penukar panas menjadi temperatur akhir 30°C. Pencampuran dengan cara ini akan mengakibatkan panas terbuang tanpa bisa dimanfaatkan, selain itu unit penukar panas yang digunakan akan mendapatkan beban kerja yang besar. Sehingga cara yang benar adalah dengan tetap memisahkan aliran tersebut menjadi dua aliran temperatur yaitu 70°C dan 100°C yang kemudian masing-masing dilewatkan pada unit penukar panas yang berbeda hingga temperaturnya mengalami penurunan ke 30°C. Dari dua aliran yang telah mengalami penurunan ke 30°C inilah yang kemudian dilakukan pencampuran.

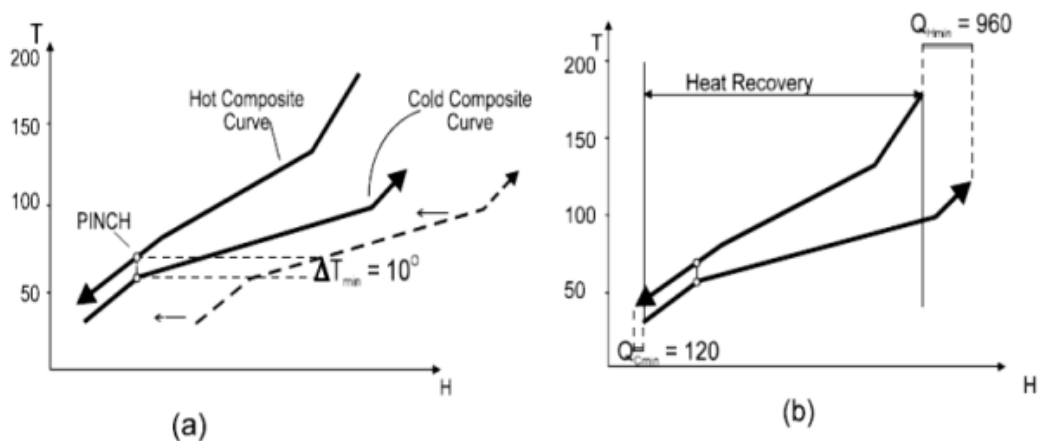


Gambar 3.2 Ekstraksi Data dari Aliran Campuran

3.2 Target Energi

Kurva komposit menampilkan aliran panas berlawanan yang dapat digunakan untuk menentukan target energi minimum untuk suatu proses. Hal ini dapat didapatkan dari kurva komposit aliran panas dan dingin yang saling tumpang tindih, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3(a), yang dipisahkan sebesar ΔT_{min} (misalnya 10°C). Kurva komposit aliran panas dan dingin yang saling tumpang tindih ini menggambarkan jumlah maksimum panas yang dapat dimanfaatkan kembali dalam suatu proses (Gambar 3.3(b)), yang mana mengindikasikan sisa pemanasan dan pendinginan yang dibutuhkan yaitu minimum unit utilitas pemanas diperlukan (Q_{Hmin}) dan jumlah minimum unit utilitas pendingin diperlukan (Q_{Cmin}) untuk suatu proses pada ΔT_{min} yang dipilih.

Kurva komposit pada gambar 3.3 menggambarkan proses dari gambar 3.1 dimana unit minimum utilitas panas dari contoh tersebut adalah 960 unit, lebih rendah dari proses yang ada yang menggunakan 1200 unit. Penghematan energi yang dapat dilakukan adalah sebesar $1200 - 960 = 240$ unit dengan menggunakan ΔT_{min} yang sama dengan proses yang ada.



Gambar 3.3 Penggunaan kurva komposit aliran panas dan dingin dalam penentuan target energi.

3.3 Prosedur Pentargetan (Studi Kasus)

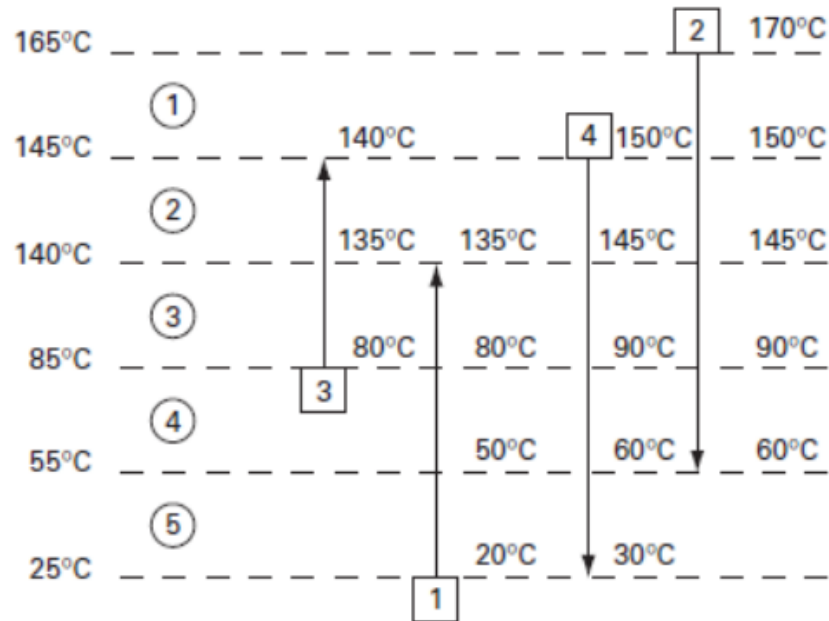
Algoritma dalam menentukan target secara matematika telah pernah dipublikasikan oleh Linhoff dan Flower (1978), yang dikenal sebagai metode “problem table”. Pada kurva komposit, ditunjukkan bahwa interval kesetimbangan entalpi diatur berdasarkan temperatur suplai (T_S) dan target (T_T). Hal yang sama juga dapat dilakukan untuk aliran panas dan dingin secara bersama untuk memperbolehkan jumlah maksimum panas yang mungkin dapat dipertukarkan diantara masing-masing interval temperatur. Perubahan yang dapat dilakukan adalah dengan memisahkan aliran panas dan dingin sejauh minimal ΔT_{min} . Hal ini dapat dilakukan dengan membuat shifted temperature sejumlah $\frac{1}{2}\Delta T_{min}$ (misal $\frac{1}{2} \times 10^{\circ}\text{C} = 5^{\circ}\text{C}$) dibawah temperatur aliran panas dan $\frac{1}{2}\Delta T_{min}$ diatas temperatur aliran dingin. Tabel 3.1 menunjukkan data untuk aliran panas dan dingin disertai shifted temperaturenya.

Tabel 3.1 Aliran proses

<i>Stream number and type</i>	<i>CP (kW/K)</i>	<i>Actual temperatures</i>		<i>Shifted temperatures</i>	
		$T_S (^{\circ}\text{C})$	$T_T (^{\circ}\text{C})$	$S_S (^{\circ}\text{C})$	$S_T (^{\circ}\text{C})$
1. Cold	2	20°	135°	25°	140°
2. Hot	3	170°	60°	165°	55°
3. Cold	4	80°	140°	85°	145°
4. Hot	1.5	150°	30°	145°	25°

$\Delta T_{min} = 10^{\circ}\text{C}.$

Langkah yang harus dilakukan pertama adalah membuat aliran yang digambarkan secara skematik dari data diatas, ditunjukkan oleh gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Aliran dan temperatur interval

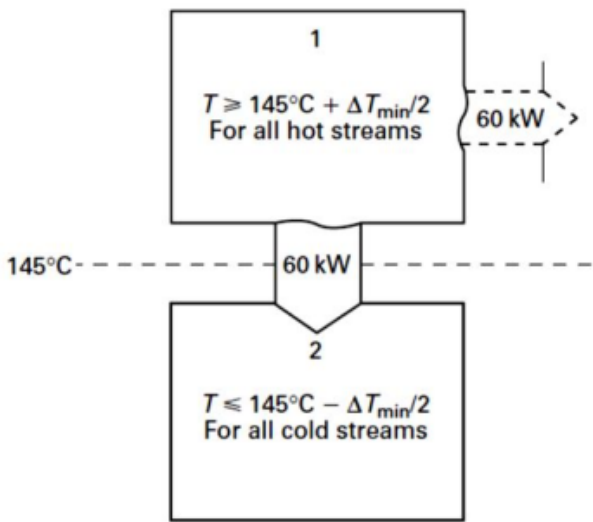
Dengan membuat interval temperatur seperti ini dapat menjamin pertukaran panas diantara interval manapun mungkin untuk terjadi. Pada tiap interval temperatur akan diketahui apakah memiliki panas yang berlebihan (surplus) atau kekurangan (deficit), yang dihitung berdasarkan entalpi kesetimbangan. Nilai dari entalpi kesetimbangan ΔH didapatkan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$\Delta H_i = (S_i - S_{i+1}) \left(\sum CP_H - \sum CP_C \right)_i$$

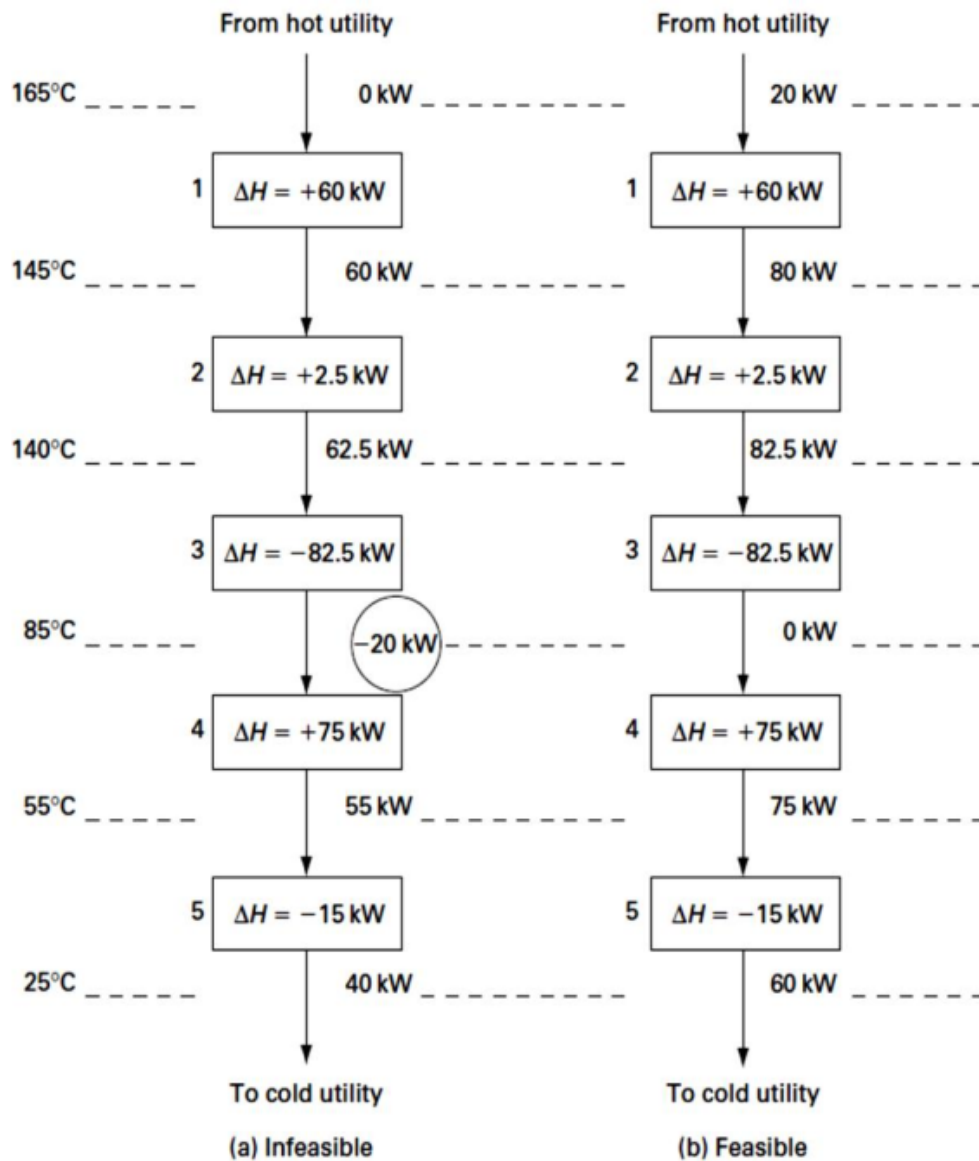
Tabel 3.2 Temperatur interval dan beban panas dari aliran

	<i>Interval number i</i>	$S_i - S_{i+1}$ (°C)	$\sum CP_{HOT} - \sum CP_{COLD}$ (kW/°C)	ΔH_i (kW)	<i>Surplus or deficit</i>
$S_1 = 165^{\circ}\text{C}$	1	20	+3.0	+60	Surplus
$S_2 = 145^{\circ}\text{C}$	2	5	+0.5	+2.5	Surplus
$S_3 = 140^{\circ}\text{C}$	3	55	-1.5	-82.5	Deficit
$S_4 = 85^{\circ}\text{C}$	4	30	+2.5	+75	Surplus
$S_5 = 55^{\circ}\text{C}$	5	30	-0.5	-15	Deficit
$S_6 = 25^{\circ}\text{C}$					

Dari tabel diatas dapat diketahui apakah suatu interval berada dalam keadaan kelebihan panas atau kekurangan panas.



Gambar 3.3 Penggunaan kelebihan panas dari suatu interval



Gambar 3.4 Cascade panas yang (a) tidak layak dan (b) layak

Maka, memungkinkan untuk dihasilkan suatu desain jaringan yang layak berdasarkan asumsi bahwa semua interval yang memiliki kelebihan panas membuang panas ke sistem utilitas pendingin dan semua interval yang memiliki kekurangan panas mengambil panas dari sistem utilitas pemanas. Akan tetapi hal seperti ini dapat menyebabkan penolakan atau penerimaan panas yang tidak sesuai. Untuk itu, panas yang berlebihan dari interval (misalnya pada interval

pertama) akan lebih baik digunakan untuk mensuplai panas ke interval berikutnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.3 dan 3.4.

Dari gambar 3.4(a) diketahui bahwa cascade terakhir dari interval tersebut membuang panas sebesar 40 kW ke sistem utilitas pendingin. Akan tetapi cascade panas seperti ini tidak layak untuk diterapkan karena pada temperatur interval 3 dan 4 terdapat kekurangan panas sebesar 20 kW, sementara posisi tersebut merupakan area pinch dan shifted temperatur 85°C merupakan temperatur pinch dari beberapa aliran yang ada. Pada temperatur pinch tidak boleh ada terjadinya aliran panas, untuk itu setiap cascade harus ditambahkan panas sebesar 20 kW agar pada temperatur pinch beban panasnya menjadi 0 kW, sehingga menjadi layak untuk diterapkan (ditunjukkan pada gambar 3.4(b)).

Total panas yang dipulihkan oleh pertukaran panas adalah didapatkan dari penambahan beban panas untuk semua aliran panas dan semua aliran dingin yaitu sebesar -510 kWh dan 470 kWh. Dengan mengurangi target utilitas dingin dan panas sebesar 60 dan 20 kWh, didapatkan total pemulihan panas adalah sebesar 450 kWh, yang ditunjukkan pada gambar 2.8 hingga 2.10.

3.4 Rangkuman

Pada saat mengekstraksi data, beberapa hal berikut haruslah menjadi pedoman yaitu:

- Jaga agar aliran panas tetap panas dan aliran dingin tetap dingin.
- Hindari menspesifikasikan masalah secara berlebihan, jangan memecah aliran yang tidak perlu.
- Hindari pencampuran non-isothermal pada fasa penargetan energi.

- Periksa dan perbaiki data disekitar daerah pinch.
- Indentifikasi segala kendala proses yang mungkin terjadi.

3.5 Soal

- 1 Hitunglah kurva komposit aliran panas dan dingin, kurva grand komposit, target utilitas panas dan dingin serta temperatur pinch dengan menggunakan data pada table 3.3 berikut, dengan selisih $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$.

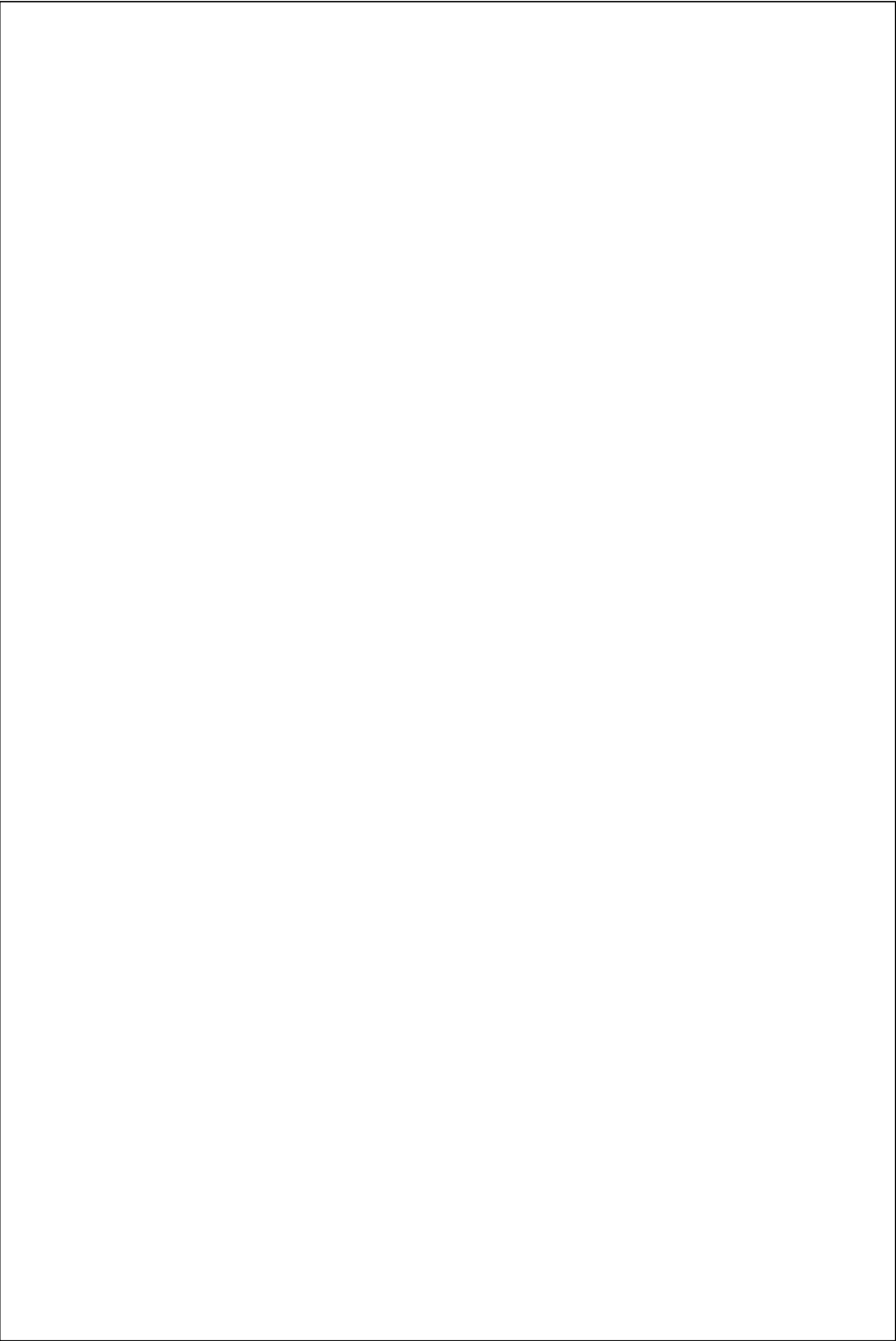
Tabel 3.3 Data aliran

<i>Stream ID</i>	<i>Stream type</i>	<i>Supply temperature (°C)</i>	<i>Target temperature (°C)</i>	<i>Heat capacity flowrate (kW/K)</i>	<i>Heat load (kW)</i>
1	Hot	200	50	3	450
2	Hot	240	100	1.5	210
3	Hot	120	119	300	300
4	Cold	30	200	4	-680
5	Cold	50	250	2	-400

- 2 Dengan menggunakan table 3.3 diatas. Apakah kepentingan dari rentang temperatur dan CP pada aliran 3? Apakah pengaruhnya terhadap pinch?

Daftar Pustaka

1. Ian C. Kemp, Pinch Analysis and Process Integration; A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, 2nd Ed., Elsevier, 2007.
2. Linnhoff March, Introduction to Pinch Technology, 1998.



BAB 4

JARINGAN PENUKAR PANAS

4.1 Alat Penukar Panas

Alat penukar panas merupakan alat yang berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida dan terjadi pada temperatur yang berbeda antara fluida, dimana fluida tersebut ada yang bertindak sebagai fluida panas (hot fluid) dan yang lain bertindak sebagai fluida dingin (cold fluid). Alat penukar panas dapat dibagi kedalam tiga jenis yaitu shell-tube, plate dan recuperative.

Jenis alat penukar panas shell-tube biasanya digunakan untuk penukar panas antara liquid tetapi dapat juga terkandung gas atau aliran uap. Aliran fluida mengalir melalui rangkaian tube dan perpindahan panas dengan fluida lain yang mengalir diluar tube secara crossflow, countercurrent, concurrent atau mixed. Contoh daripada alat penukar panas jenis ini adalah double-pipe exchanger. Alat penukar panas jenis ini memiliki konstruksi yang kuat dan tahan, sangat cocok digunakan untuk penggunaan pada tekanan dan temperatur tinggi yang banyak terdapat pada aplikasi industri kimia.

Alat penukar panas jenis plate biasanya digunakan untuk liquid, dan dibagi menjadi berbagai tipe seperti gasketed plate, welded plate dan plate-fin unit. Konstruksi dasarnya terdiri atas sejumlah banyak plate tekan atau stamp yang disatukan satu sama lain sehingga membentuk celah atau aliran sempit. Konstruksi jenis ini memberikan perpindahan panas yang sangat baik akan tetapi mudah pula terjadi fouling.

Alat penukar panas jenis recuperative biasanya digunakan untuk perpindahan panas ke aliran gas atau dari aliran gas. Karena memiliki koefisien perpindahan panas yang rendah, permukaan pemanas seringkali diperluas untuk menyediakan tambahan area permukaan.

4.2 Pemecahan Aliran dan Pencocokan Siklik

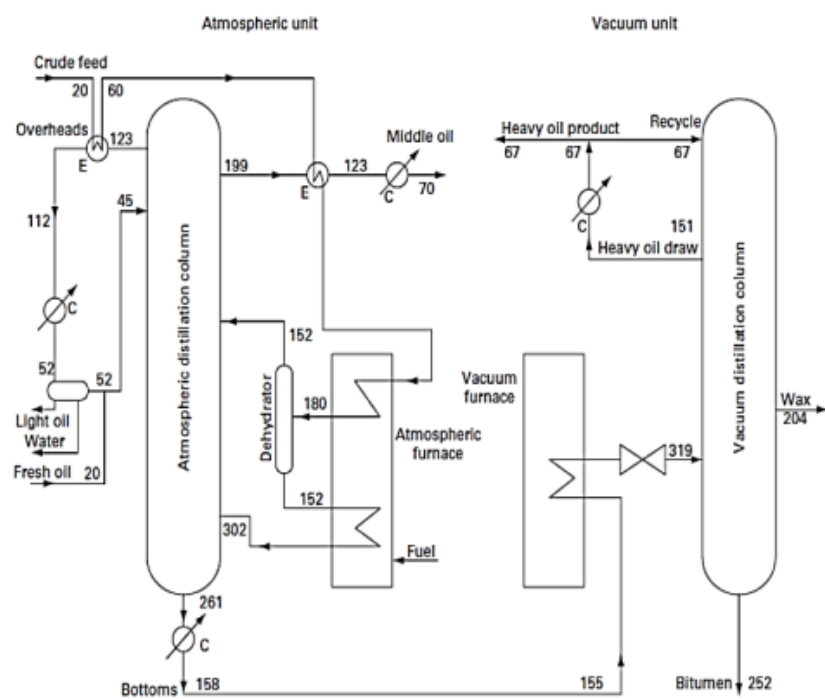
4.2.1 Pemecahan Aliran

Dalam melakukan pemasangan aliran untuk proses pertukaran panas, haruslah diperhatikan nilai CP, yangmana haruslah memenuhi kriteria dalam desain aliran pada posisi pinch, yaitu:

Diatas pinch, $CP_{hot} \leq CP_{cold}$

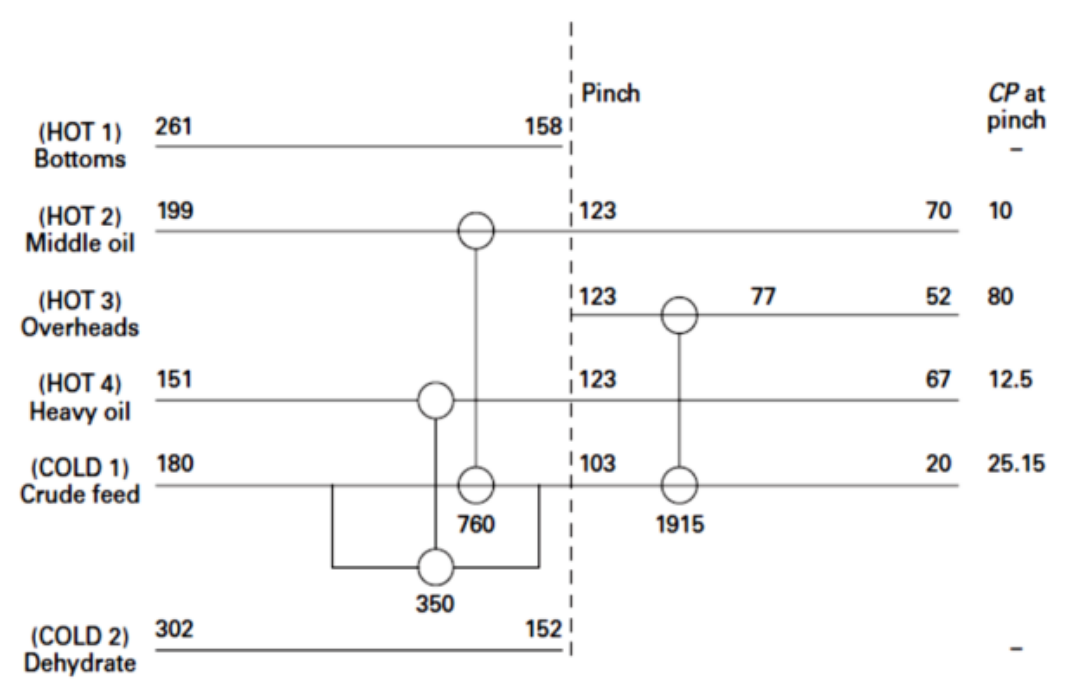
Dibawah pinch, $CP_{hot} \geq CP_{cold}$

Sebagai contoh, aliran proses pada alat destilasi pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Aliran proses pada alat destilasi

Pada gambar diatas, pada posisi dibawah pinch, terdapat 3 aliran panas dan 1 aliran dingin. Dan salah satu aliran panas (bagian overheads) memiliki nilai CP yang sangat besar, sehingga untuk memenuhi kriteria $CP_{hot} \geq CP_{cold}$ tidaklah sulit. Akan tetapi, untuk aliran diatas pinch, hanya terdapat 2 aliran panas dan 1 aliran dingin, berdasarkan nilai CPnya, ada 1 aliran panas yang tidak dapat dipertukarkan. Salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah dengan memecah aliran dingin menjadi dua cabang yang parallel seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Pemecahan aliran diatas pinch pada alat destilasi

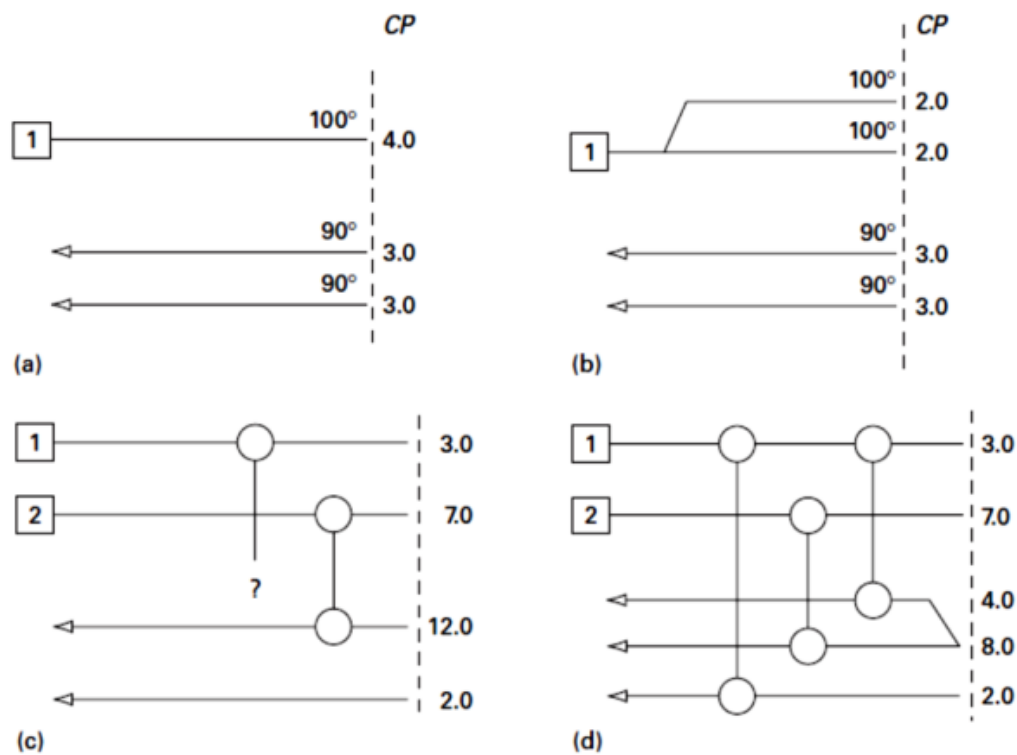
Selain kriteria berdasarkan CP, terdapat pula kriteria kelayakan, yaitu

Diatas pinch, $N_{hot} \leq N_{cold}$

Dibawah pinch, $N_{hot} \geq N_{cold}$

N_{hot} = jumlah aliran panas cabang pada pinch (termasuk aliran utuh atau terpecah)

N_{cold} = jumlah aliran dingin cabang pada pinch (termasuk aliran utuh atau terpecah)



Gambar 4.3 Pemecahan aliran untuk memenuhi kriteria CP

Pada gambar 4.3(a), kriteria jumlah $N_{hot} \leq N_{cold}$ (diatas pinch) memenuhi syarat akan tetapi kriteria CP diatas pinch $CP_{hot} \leq CP_{cold}$ tidak memenuhi untuk salah satu atau dua perpaduan. Pada contoh ini, penyelesaiannya adalah dengan memecah aliran panas (gambar 4.3(b)). Umumnya pada situasi seperti ini memecah aliran panas adalah solusi yang sering dilakukan, akan tetapi terkadang memecah aliran dingin akan memberikan hasil yang lebih baik, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3(c) dan (d). Pada gambar 4.3(c), jumlah $N_{hot} \leq N_{cold}$ memenuhi syarat, tetapi pada aliran panas nilai CP 7.0 yang hanya bisa berpasangan dengan aliran dingin CP 12.0, sedangkan CP 3.0 tidak memiliki pasangan atau tidak bisa dipasangkan dengan CP 2.0 agar syarat $CP_{hot} \leq CP_{cold}$ terpenuhi. Untuk itu, aliran dingin yang

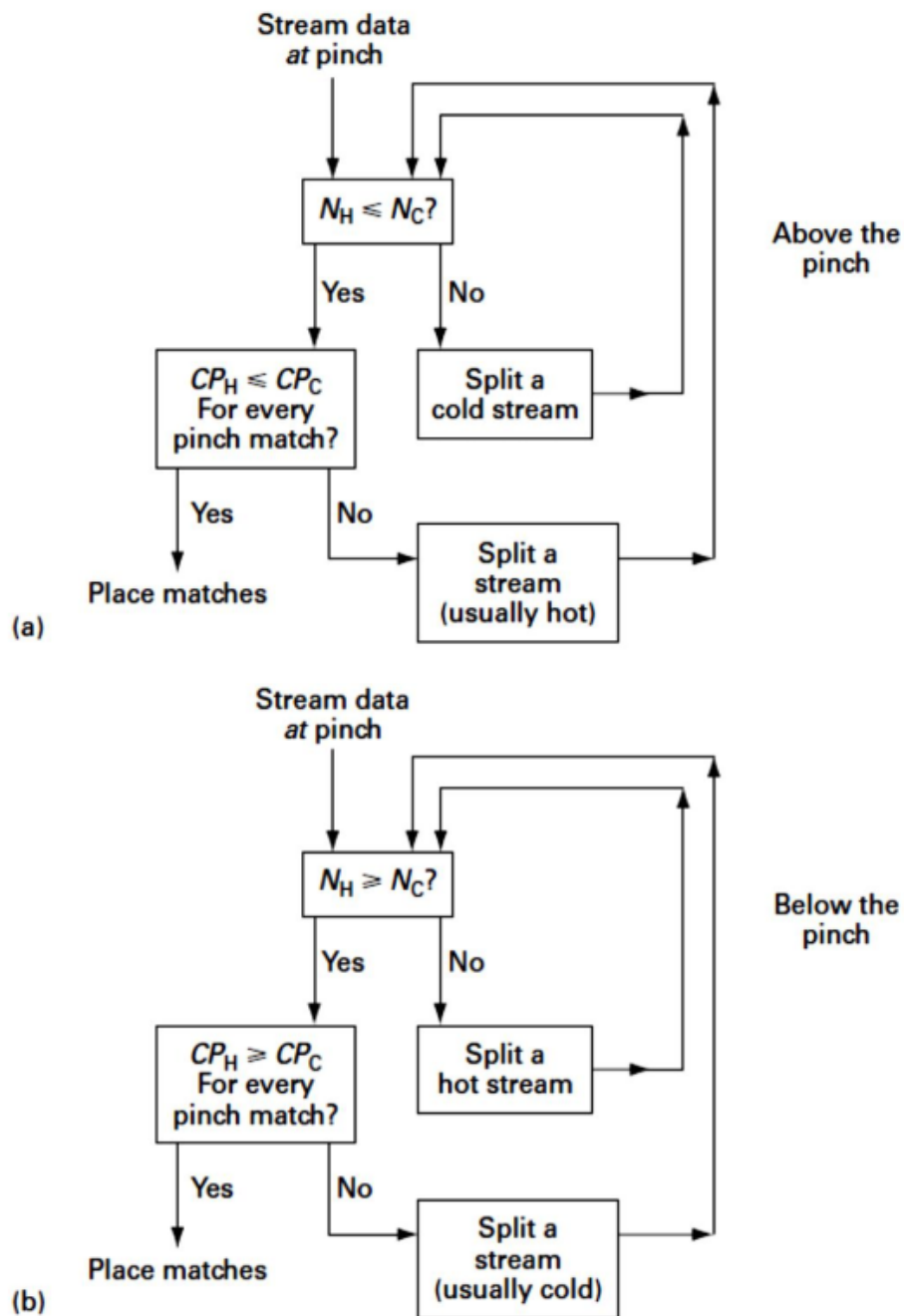
memiliki nilai CP 12.0 haruslah dipecah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3(d).

4.2.2 Pencocokan Siklik

Didalam aplikasinya, pemecahan aliran akan membutuhkan tambahan pipa jaringan dan katup, dan aliran bawah pada setiap aliran pecahan haruslah dikontrol. Apakah yang terjadi apabila pemecahan aliran tidak dapat diaplikasikan pada sistem pabrik? Apabila kriteria desain pinch tidak dapat dipenuhi secara keseluruhan maka penalti energi akan terjadi. Namun, hal ini dapat diminimalisir dengan memiliki aliran yang seharusnya dipecah, dimungkinkan untuk memiliki serangkaian penukar yang lebih kecil. Dengan demikian aliran C3 dapat dicocokkan terlebih dahulu dengan aliran H2, lalu H1, lalu H2 lagi, lalu H1 dan seterusnya. Cara ini dikenal sebagai pencocokan siklik. Secara teori, sejumlah kecil siklus akan cukup untuk memulihkan sejumlah besar energi. Pencocokan siklik biasanya efektif pada wilayah pinch yang relative pendek.

4.3 Rangkuman

Tahapan dalam memadukan aliran untuk proses pertukaran panas dapat dilakukan dengan menganalisa aliran diatas dan dibawah titik pinch, berdasarkan algoritma analisa sebagai berikut.

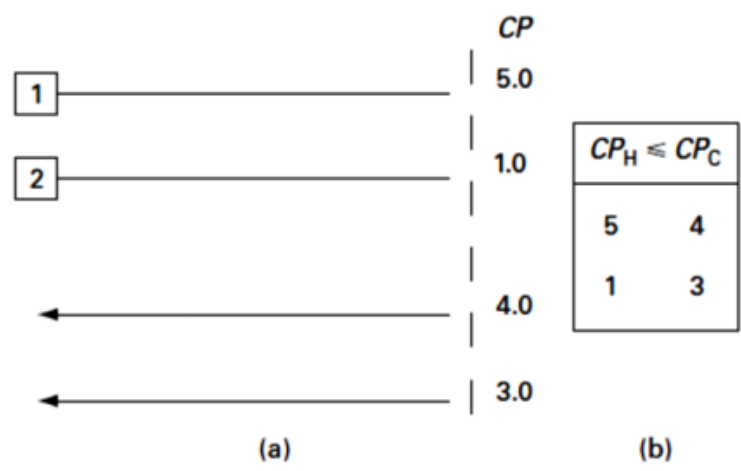


Gambar 4. 4 Algoritma tahapan pemecahan aliran pada pinch

Jika pemecahan aliran dinilai tidaklah menguntungkan, maka dapat digantikan dengan pencocokan siklik atau relaksasi jaringan.

4.4 Soal

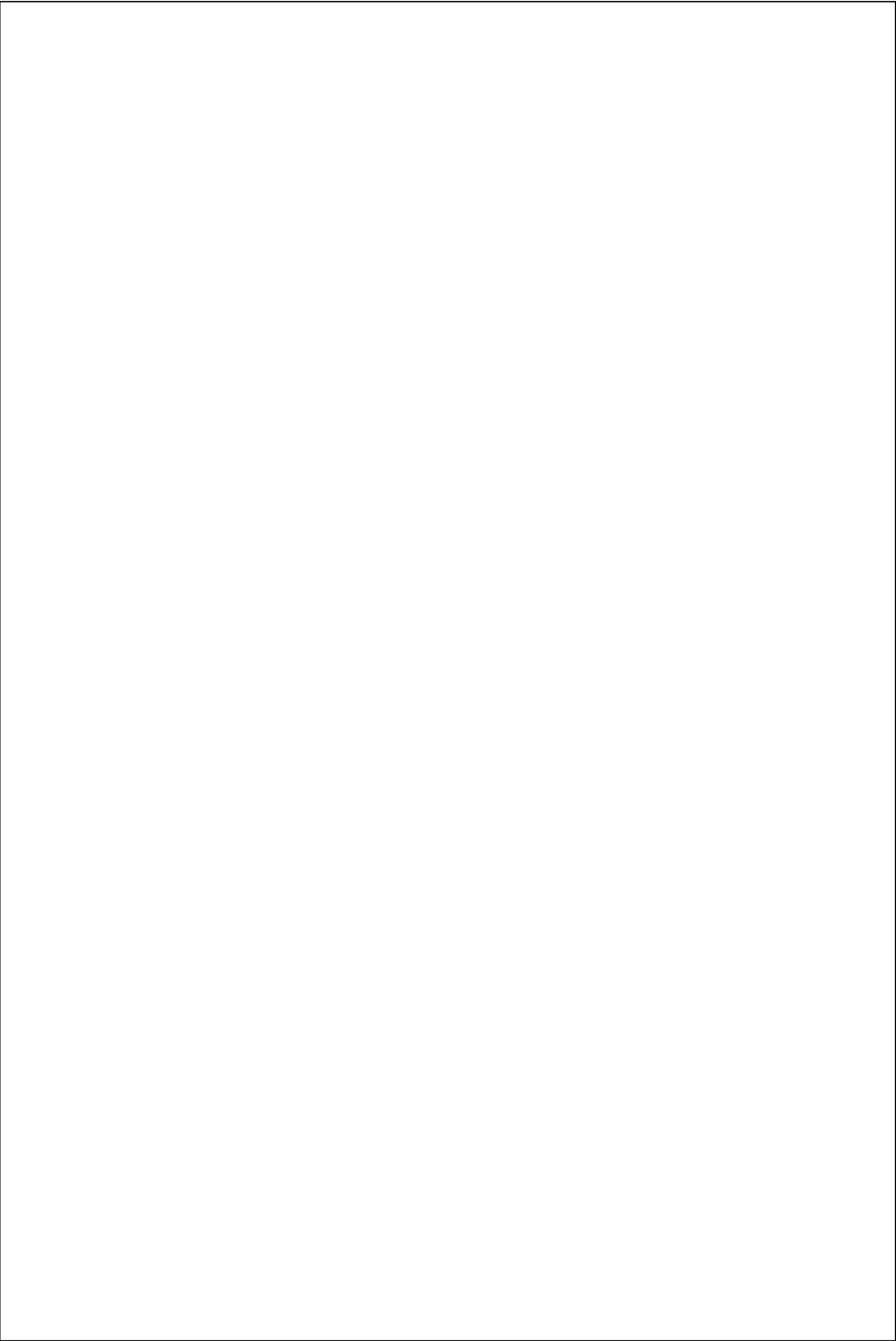
1. Diketahui aliran diatas pinch seperti di gambarkan pada gambar 4.5(a) dibawah ini dengan data CP pada gambar 4.5(b), dimana CP aliran panas diposisi sebelah kiri dan CP aliran dingin diposisi sebelah kanan. Bagaimana memasang aliran-aliran diatas agar panasnya bisa dipertukarkan, dengan menggunakan analisa dan tahapan pemecahan aliran pada pinch.



Gambar 4.5 Data CP diatas pinch

Daftar Pustaka

1. Ian C. Kemp, Pinch Analysis and Process Integration; A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, 2nd Ed., Elsevier, 2007.
2. Linnhoff March, Introduction to Pinch Technology, 1998.



BAB 5

INTEGRASI PANAS

5.1 Integrasi Panas pada Reaktor

Karakteristik integrasi panas pada reaktor tergantung kepada apakah reaktor tersebut membuang panas atau menerima panas dan karakteristik pengadukan didalamnya. Proses adiabatik menjadi hal yang harus diperhatikan dalam desain integrasi panas pada reaktor.

1. Operasi adiabatik

Jika operasi adiabatik mengarah kepada kenaikan temperatur yang dapat diterima untuk reaktor eksotermis atau penurunan temperatur untuk reaktor endotermis, maka ini adalah pilihan yang biasanya dipilih. Jika pada kasus seperti ini, aliran umpan ke reaktor membutuhkan pemanasan dan aliran luaran reaktor membutuhkan pendinginan. Maka, karakteristik integrasi panasnya adalah aliran umpan reaktor sebagai aliran dingin (cold stream) jika umpan membutuhkan kenaikan temperatur atau penguapan, dan aliran luaran reaktor sebagai aliran panas (hot stream) jika produk keluaran reaktor membutuhkan penurunan temperatur atau kondensasi. Panas reaksi muncul sebagai peningkatan temperatur aliran keluaran pada reaksi eksotermis atau sebagai penurunan temperatur pada reaksi endotermis.

2. Pembawa panas (Heat carriers)

Jika proses yang terjadi merupakan reaksi adibatis tetapi dengan adanya material inert yang diinjeksikan sebagai umpan pada reaktor dan sebagai pembawa panas. Maka integrasi panasnya adalah dimana aliran umpan reaktor sebagai aliran dingin (cold stream) dan aliran

luaran reaktor sebagai aliran panas (hot stream). Dan pembawa panas bertindak sebagai peningkat laju alir kapasitas panas dari kedua jenis aliran tersebut.

3. Injeksi bahan baku dingin (Cold shot)

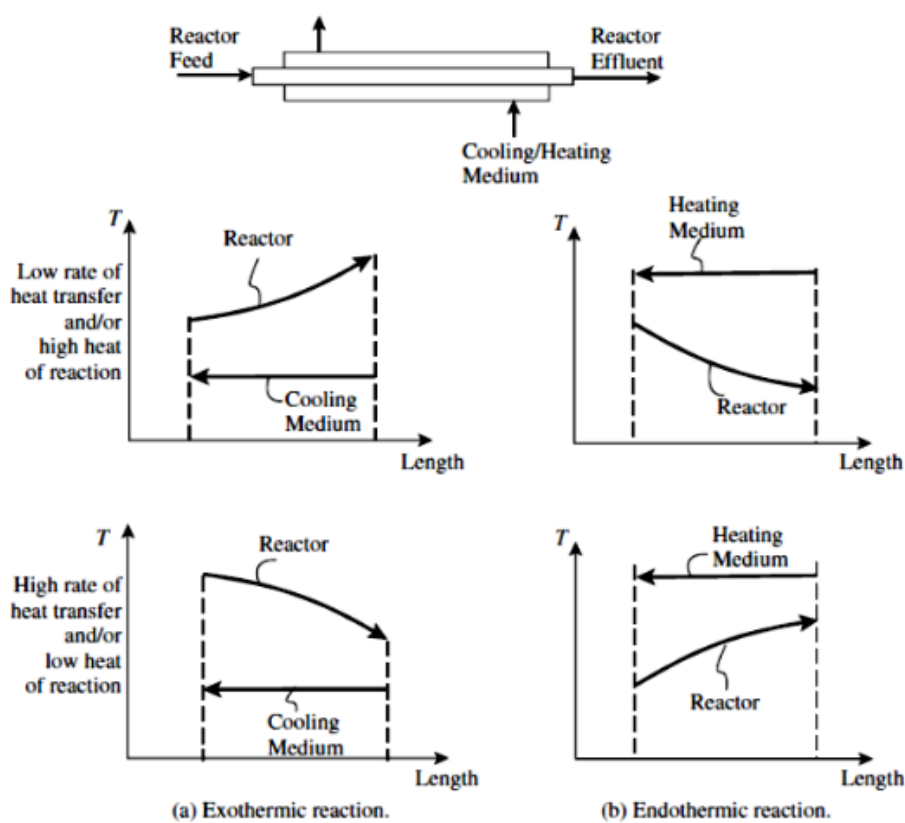
Injeksi umpan baru yang dingin untuk reaksi bersifat eksotermis atau umpan yang dipanaskan terlebih dahulu untuk suatu reaksi endotermis pada bagian tengah reaktor dapat bertindak sebagai kontrol temperatur di reaktor tersebut. Integrasi panasnya sama dengan integrasi panas pada proses adiabatik. Umpan merupakan aliran dingin (cold stream) jika ia membutuhkan kenaikan temperatur atau penguapan dan aliran luaran sebagai aliran panas (hot stream) jika ia membutuhkan penurunan temperatur atau kondensasi. Jika panas diberikan ke cold shot atau hot shot stream, maka ini adalah merupakan aliran dingin tambahan.

4. Perpindahan panas secara tidak langsung

Meskipun perpindahan panas secara tidak langsung pada reaktor cenderung menghasilkan paling banyak pilihan desain reaktor yang kompleks, seringkali hal ini lebih disukai daripada menggunakan heat carrier karena heat carriers dapat membuat kompleks bagian proses lainnya.

Perpindahan panas yang terjadi pada reaktor plug-flow ditunjukkan pada gambar 5.1, dimana perpindahan panas dapat terjadi pada temperatur mana saja dan profil perpindahannya tergantung pada hal-hal seperti konsentrasi umpan masuk, temperatur inlet, tekanan inlet dan penurunan tekanan (pada reaksi fasa gas), konversi,

pembentukan produk samping, panas reaksi, laju pendinginan atau pemanasan dan keberadaan pelarut katalis atau perubahan katalis.



Gambar 5.1 Karakteristik Perpindahan Panas pada Reaktor Plug-flow.

Gambar 5.1(a) menunjukkan dua kemungkinan profil termal pada reactor plug-flow eksotermis. Apabila laju pembuangan panas rendah dan panas reaksi tinggi, kemudian temperatur dari aliran reaksi akan naik disepanjang ukuran reactor. Jika laju pembuangan panas tinggi dan panas reaksi rendah, maka temperatur reactor akan mengalami penurunan. Pada kedua profil termal ini, titik maksimum dapat terjadi pada temperatur ditengah reactor, titik diantara inlet dan outlet. Gambar 5.1(b) menunjukkan dua kemungkinan profil termal pada reactor plug-flow endotermis. Temperatur akan mengalami penurunan pada laju penambahan panas yang rendah dan panas reaksi yang tinggi. Sedangkan, temperatur akan mengalami kenaikan pada kondisi

sebaliknya. Pada kedua jenis profil termal ini, titik minimum dapat terjadi pada temperatur ditengah reaktor, titik diantara inlet dan outlet.

Pada reaktor mixed-flow, reaktornya bersifat isothermal. Jenis ini biasanya berupa tangki pengaduk yang digunakan untuk reaksi fasa cair atau reaktor fluidisasi yang digunakan untuk reaksi fasa gas. Pengadukan akan menyebabkan temperatur reaktor menjadi seragam. Untuk perpindahan panas secara tidak langsung, karakteristik integrasi panas reaktornya dapat dibagi menjadi tiga:

- a. Jika reaktor dapat dicocokkan langsung dengan aliran proses lainnya, maka profil reaktor haruslah dimasukkan kedalam permasalahan integrasi panas. Ini akan menjadi aliran panas dalam kasus reaksi eksotermis atau aliran dingin dalam kasus reaksi endotermis.
- b. Jika perantara perpindahan panas akan digunakan dan media pendingin atau pemanas tetap, maka media pendingin atau pemanas haruslah dimasukkan dan bukan hanya profil reaktornya saja. Saat media pendingin keluar dari reaktor eksotermis, maka ini merupakan aliran panas yang membutuhkan pendinginan sebelum nantinya dikembalikan ke reaktor. Begitupun sebaliknya, saat media pemanas keluar dari reaktor endotermis, maka ini merupakan aliran dingin yang membutuhkan pemanasan sebelum nantinya dikembalikan ke reaktor.
- c. Jika perantara perpindahan panas akan digunakan tetapi temperatur media pendingin atau pemanas tidak tetap, maka baik profil reaktor maupun media pendingin atau pemanas haruslah dimasukkan.

Pada reactor batch ideal, temperaturnya dapat diasumsikan seragam disetiap bagian reactor disetiap waktu. Karakteristik pemanasan dan pendinginan dapat bervariasi dengan waktu guna menyesuaikan dengan karakteristik reaksi. Karena kerumitan dari operasi sistem batch dan skala yang kecil, maka sangat jarang pemulihan panas dilakukan pada reactor ini, dimana biasanya utilitas yang digunakan. Beban panas yang digunakan untuk media pemanasan atau pendinginan diberikan oleh persamaan $Q_{reaksi} = -(\Delta H_{aliran} + \Delta H_{reaksi})$, dimana Q_{reaksi} merupakan pemanasan atau pendinginan reactor yang dibutuhkan, ΔH_{aliran} merupakan perubahan entalpi antara aliran masuk dan aliran keluar/produk, dan ΔH_{reaksi} merupakan entalpi reaksi (bernilai negative untuk reaksi eksotermis).

5. Quench

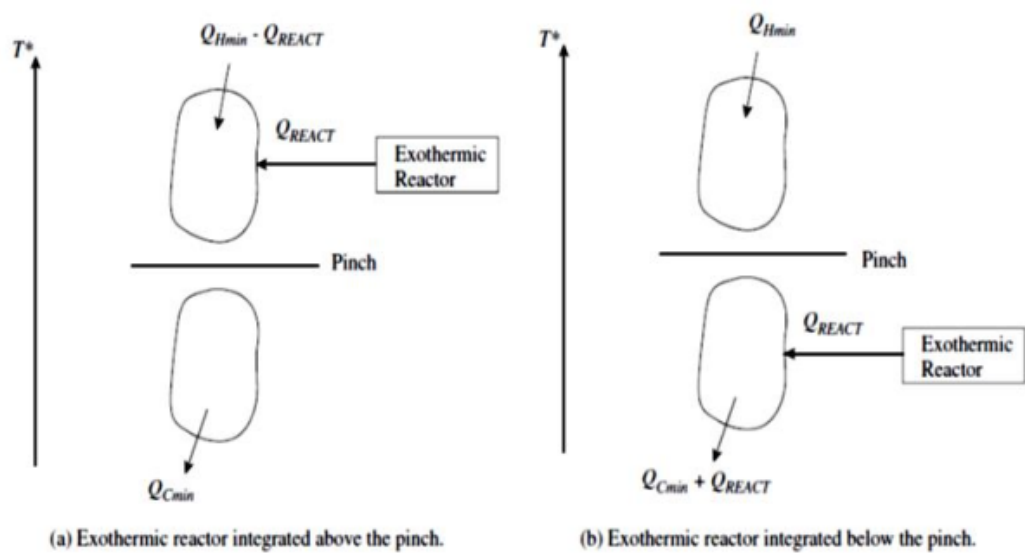
Pendinginan secara cepat mungkin diperlukan pada luaran reaktor. Ini dapat dilakukan melalui perpindahan panas tidak langsung menggunakan peralatan perpindahan panas yang konvensional atau melalui perpindahan panas langsung melalui pengadukan dengan fluida lain.

Jika perpindahan panas secara tidak langsung digunakan dengan perbedaan temperatur yang besar guna peningkatan laju pendinginan, maka fluida pendinginannya adalah tetap berdasarkan persyaratan proses. Pada kasus ini, panas reaksi tidak tersedia di temperatur luaran reaktor. Panas reaksi tersedia di temperatur fluida quench. Karenanya, aliran umpan masuk reaktor merupakan aliran dingin, fluida quench merupakan aliran panas, dan luaran reaktor setelah quench juga merupakan aliran panas.

Luaran reactor mungkin memerlukan pendinginan dengan cara perpindahan panas secara langsung karena reaksinya perlu untuk dihentikan dengan cepat, atau alat perpindahan panasnya mengalami fouling, atau produk luaran reaktornya terlalu panas atau korosif bagi alat penukar panas. Produk reactor digabungkan dengan liquid yang dapat didaur ulang, produk yang telah didinginkan, atau material inert seperti air. Liquid akan mengalami penguapan secara parsial atau total dan mendinginkan luaran reactor. Disini, umpan reactor merupakan aliran dingin, dan uap dan liquid dari proses quench merupakan aliran panas.

5.1.1 Penempatan Reaktor yang Tepat

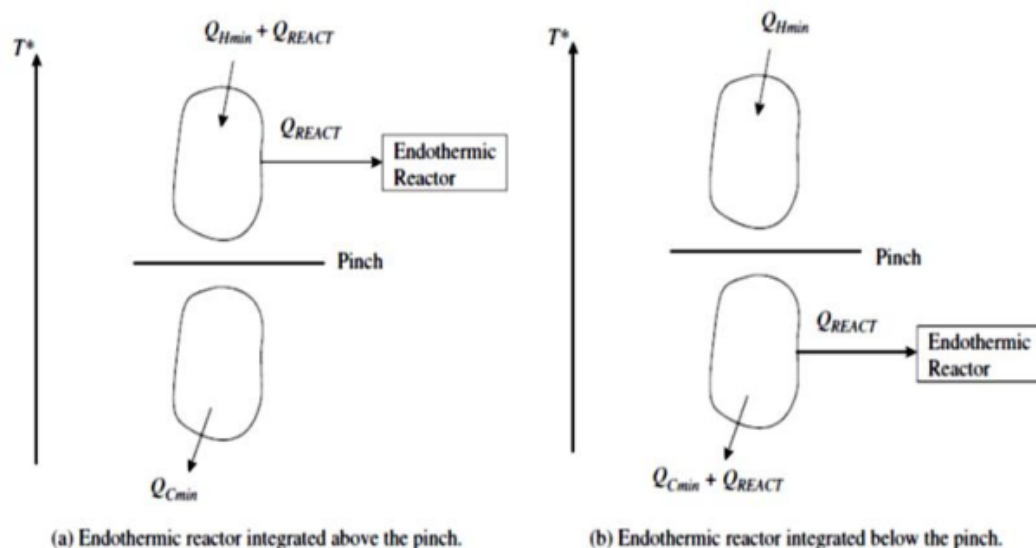
Pengaruh penempatan reactor di beberapa lokasi relative terhadap pinch dipelajari melalui gambar berikut. Gambar 5.2 dan 5.3 menunjukkan reactor eksotermis dan endotermis yang diintegrasikan diatas dan dibawah pinch.



Gambar 5.2 Penempatan Reaktor Eksotermis yang Tepat

Gambar 5.2 menunjukkan proses yang dipresentasikan secara sederhana sebagai heat sink dan heat source yang dibagi oleh pinch. Gambar 5.2(a) menunjukkan proses dengan reactor eksotermis yang diintegrasikan diatas pinch. Minimum utilitas panas dapat dikurangi melalui panas yang dilepaskan oleh reaksi. Gambar 5.2(b) menunjukkan reactor eksotermis yang diintegrasikan dibawah pinch. Walaupun panas akan dikembalikan, panas ini akan dikembalikan di beberapa bagian proses, yang merupakan sumber panas (heat source). Kebutuhan akan utilitas panas tidak dapat dikurangi karena proses diatas pinch membutuhkan Q_{Hmin} untuk memenuhi ketidaksetimbangan entalpi. Tidaklah menguntungkan untuk mengintegrasikan reactor eksotermis dibawah pinch. Penempatan yang tepat untuk reactor eksotermis adalah diatas pinch.

Gambar 5.3(a) menunjukkan reactor endotermis yang diintegrasikan diatas pinch. Reaktor endotermis membuang Q_{reaksi} dari proses diatas pinch. Proses diatas pinch membutuhkan setidaknya Q_{Hmin} untuk memenuhi ketidaksetimbangan entalpi. Akibatnya, tambahan Q_{reaksi} haruslah ditambahkan dari utilitas panas untuk mengkompensasinya. Gambar 5.3(b) menunjukkan reactor endotermis yang diintegrasikan dibawah pinch. Reaktor akan mengimpor Q_{reaksi} dari bagian proses yang akan membuang panas. Karenanya, integrasi reactor akan menurunkan konsumsi utilitas dingin melalui Q_{reaksi} . Adanya pengurangan dari utilitas panas secara keseluruhan karena tanpa adanya integrasi, proses dan reactor akan membutuhkan $(Q_{Hmin}+Q_{reaksi})$ dari utilitas. Maka, tidaklah menguntungkan untuk mengintegrasikan reactor endotermis diatas pinch. Penempatan yang tepat bagi reactor endotermis adalah dibawah pinch.



Gambar 5.3 Penempatan Reaktor Endotermis yang Tepat

Penempatan reactor yang tepat, dengan memperhatikan integrasi panas adalah pada reactor eksotermis haruslah diintegrasikan diatas pinch dan reactor endotermis haruslah diintegrasikan dibawah pinch. Perlu untuk diperhatikan bahwa umpan reactor dipanaskan terlebih dahulu melalui panas reaksi pada reactor dengan reaksi eksotermis. Hal ini merupakan perpindahan panas lintas pinch. Umpan haruslah dipanaskan terlebih dahulu hingga temperatur pinch melalui panas yang dimanfaatkan kembali sebelum dimasukkan kedalam reactor.

5.2 Integrasi Panas pada Kolom Destilasi

Beban pemanasan dan pendinginan yang berhubungan dengan kolom destilasi adalah pada reboiler dan kondenser. Secara umum, terdapat beban pemanasan dan pendinginan lain yang terjadi pada kolom destilasi seperti pada aliran umpan dan produk. Akan tetapi, panas sensible dari proses tersebut sangatlah kecil bila dibandingkan dengan perubahan panas laten pada reboiler dan kondenser. Proses

reboiling dan kondensasi umumnya terjadi di dalam rentang temperatur. Panas ke reboiler haruslah disuplai diatas titik embun (dew point) dari uap yang meninggalkan reboiler dan panas yang dibuang di kondenser haruslah dibuang pada temperatur dibawah titik gelembung (bubble point) cairan.

5.2.1 Penempatan Kolom Destilasi yang Tepat

Pertimbangkan konsekuensi penempatan kolom destilasi sederhana (misal satu umpan, dua produk, satu reboiler dan satu kondenser) di berbagai lokasi berbeda yang relative terhadap pemulihan panas pinch. Pemisah (separator) mengambil panas Q_{REB} ke reboiler pada temperatur T_{REB} dan membuang panas Q_{COND} pada temperatur T_{COND} . Maka, ada dua kemungkinan panas dapat diintegrasikan pada kolom destilasi. Reboiler dan kondenser dapat diintegrasikan melintasi atau tidak melintasi pemulihan panas pinch.

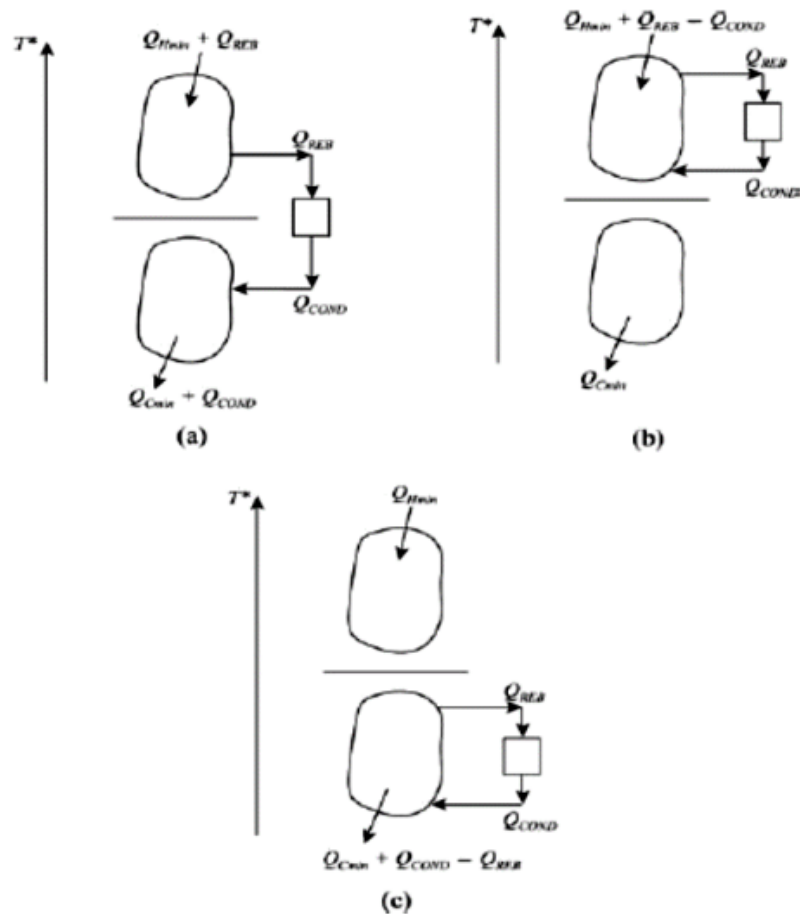
1. Destilasi melintasi pinch

Gambar 5.4(a) menunjukkan penyusunan kolom destilasi melintasi pinch. Latar prosesnya diwakili secara sederhana sebagai heat sink dan heat source yang dibagi oleh pinch. Proses ini tidak mengikutsertakan reboiler dan kondenser. Panas Q_{REB} dibawa kedalam reboiler diatas temperatur pinch dan panas Q_{COND} dibuang dari kondenser dibawah temperatur pinch. Karena proses sink diatas pinch membutuhkan setidaknya Q_{Hmin} untuk memenuhi kesetimbangan entalpi, maka Q_{REB} yang dibuang oleh reboiler haruslah diganti melalui penambahan Q_{REB} dari utilitas panas. Dibawah pinch, proses perlu membuang Q_{Cmin} dan beban tambahan Q_{COND} dari kondenser diajukan. Dengan mengintegrasikan panas

kolom destilasi dengan proses dan dengan mempertimbangkan hanya reboiler, maka dapat disimpulkan bahwa energi telah disimpan. Reboiler membutuhkan panas yang disediakan melalui pemulihan panas. Secara keseluruhan, panas dipindahkan melewati pemulihan panas pinch melalui kolom destilasi dan konsumsi utilitas panas dan dingin di proses juga mengalami kenaikan. Pada dasarnya, tidak ada penghematan dari proses integrasi separator melewati pinch.

2. Destilasi tidak melewati pinch

Gambar 5.4(b) menunjukkan kolom destilasi keseluruhan diatas pinch. Kolom destilasi mengambil panas Q_{REB} dari proses dan mengembalikan Q_{COND} pada temperatur diatas pinch. Konsumsi utilitas panas berubah menjadi $(Q_{REB} - Q_{COND})$, sedangkan konsumsi utilitas dingin tidak mengalami perubahan. Biasanya Q_{REB} dan Q_{COND} memiliki kecenderungan yang sama. Jika $Q_{REB} \approx Q_{COND}$, maka konsumsi utilitas panas adalah Q_{Hmin} dan tidak ada penambahan utilitas panas yang diperlukan untuk mengoperasikan kolom. Integrasi panas dibawah pinch ditunjukkan oleh gambar 5.4(c). Utilitas panas tidak mengalami perubahan, tetapi konsumsi utilitas dingin berubah menjadi $(Q_{COND} - Q_{REB})$.



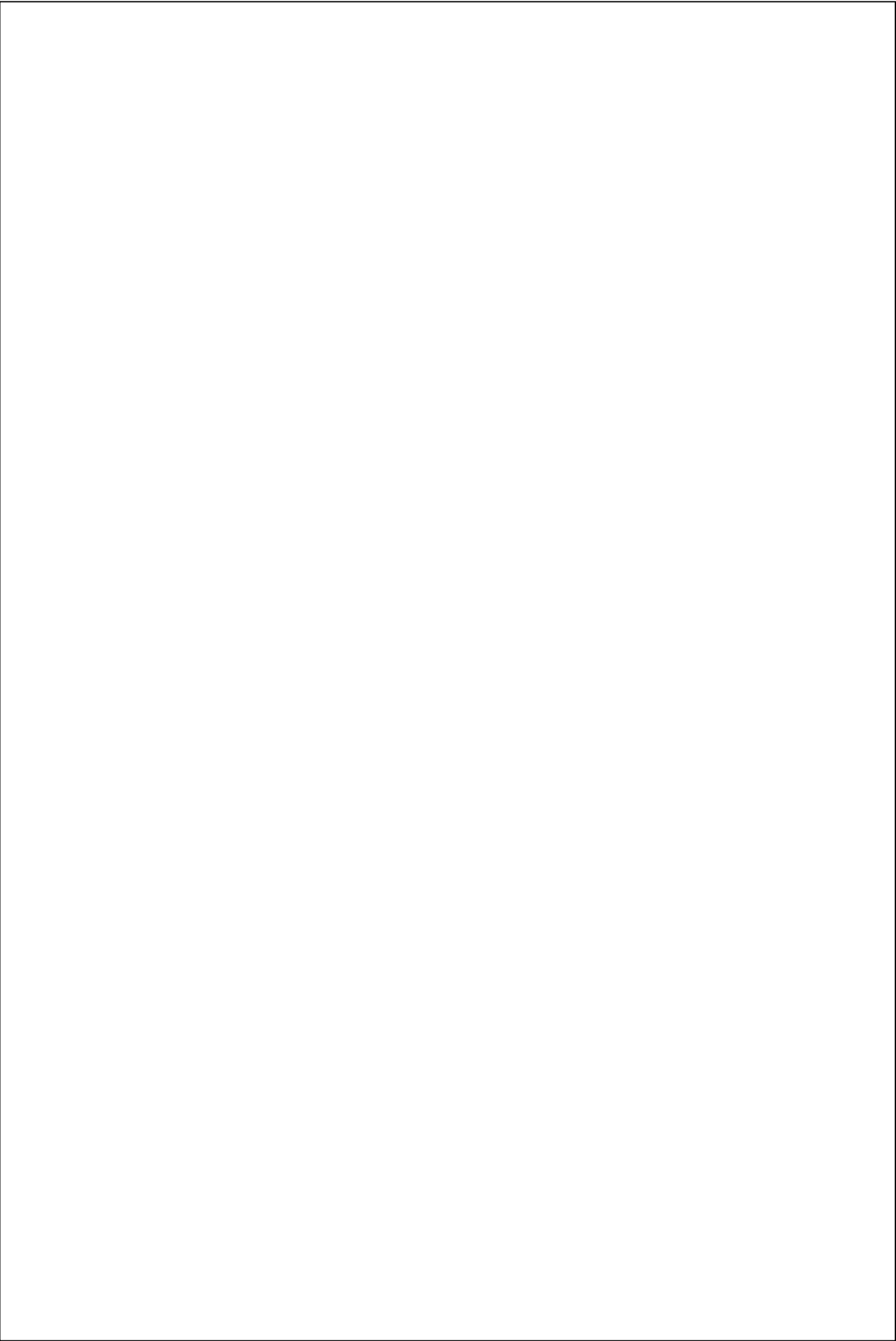
Gambar 5.4 Penempatan Kolom Destilasi yang Tepat

Dari berbagai penjelasan diatas, dapat disimpulkan bahwa penempatan yang tepat bagi separator adalah tidak diatas pinch, karena separator mengambil panas di temperatur tinggi dan membuang panas di temperatur rendah.

Penempatan yang sesuai untuk kolom destilasi adalah dimana integrasi panas tidak melewati pemulihan panas pinch.

Daftar Pustaka

1. Robin Smith. Chemical Process Design and Integration. John Wiley & Sons, Ltd., 2005.



BAB 6

SISTEM PENGUAPAN DAN TEKNIK KOGENERASI

6.1 Sistem Penguapan

6.1.1 Pengertian Penguapan

Penguapan merupakan suatu proses untuk mengubah keseluruhan atau sebagian suatu pelarut dari sebuah larutan berbentuk cair menjadi uap sehingga hanya menyisakan larutan yang lebih padat atau kental, proses penguapan terjadi dalam evaporator dan disebut dengan evaporasi. Pada dunia industri, manfaat dari alat ini ialah untuk pengentalan awal cairan sebelum diolah lebih lanjut, pengurangan volume cairan dan untuk menurunkan aktivitas air. Evaporator memiliki dua prinsip dasar yaitu untuk menukar panas dan untuk memisahkan uap air yang terlarut dalam cairan. Pada umumnya evaporator terdiri dari tiga bagian yaitu:

- Tempat penukar panas
- Bagian evaporasi (tempat dimana liquid mendidih lalu menguap)
- Bagian pemisah untuk memisahkan uap dari cairan

Hasil dari evaporator berupa padatan atau larutan yang berkonsentrasi dan larutan yang telah dievaporasi biasanya terdiri dari beberapa komponen volatil (mudah menguap).

Menurut Pratiningsih, evaporasi merupakan proses pengentalan larutan yang dilakukan dengan cara mendidihkan atau menguapkan pelarut. Evaporasi juga bisa diartikan sebagai proses penguapan, atau proses perpindahan panas ke dalam zat cair hingga mendidih. Proses evaporasi biasanya dilakukan saat mengolah hasil pertanian dengan

tujuan untuk meningkatkan konsentrasi larutan, memperkecil volume larutan, dan lain sebagainya. Evaporasi berbeda dengan proses pengeringan karena proses evaporasi menghasilkan sisa penguapan berwujud cair. Selain itu, cairan yang dipanaskan saat proses evaporasi relatif lebih banyak dibandingkan yang terjadi saat proses pengeringan. Evaporasi juga tidak sama dengan distilasi karena uap yang digunakan dalam evaporasi termasuk komponen tunggal. Walaupun uap itu termasuk campuran, evaporasi tidak berusaha memisahkannya menjadi fraksi-fraksi, seperti proses distilasi.

6.1.2. Tujuan Evaporasi

Kebanyakan proses evaporasi menggunakan bahan atau larutan berupa air. Tujuan dari proses ini adalah untuk memekatkan konsentrasi larutan sehingga diperoleh larutan dengan tingkat konsentrasi yang lebih tinggi, memperkecil volume larutan sehingga biaya penyimpanan, pengepakan, dan transportasi menjadi lebih hemat, menurunkan aktivitas air, dan lain sebagainya.

6.1.3. Prinsip Kerja Alat Penguapan (Evaporator)

Seperti yang telah kita ketahui sebelumnya, evaporator merupakan alat untuk mengevaporasi larutan sehingga prinsip kerjanya merupakan cara kerja dari evaporasi itu sendiri. Cara kerjanya ialah dengan menambahkan kalor atau panas yang bertujuan untuk memekatkan suatu larutan yang terdiri dari zat pelarut yang memiliki titik didih yang rendah dengan pelarut yang memiliki titik didih yang tinggi sehingga pelarut yang memiliki titik didih yang rendah akan menguap dan hanya menyisahkan larutan yang lebih

pekat dan memiliki konsentrasi yang tinggi. Proses evaporasi memiliki ketentuan, yaitu:

1. Pemekatan larutan didasarkan pada perbedaan titik didih antar zat-zatnya.
2. Titik didih cairan dipengaruhi oleh tekanan.
3. Dijalankan pada suhu yang lebih rendah dari titik didih normal.
4. Titik didih cairan yang mengandung zat yang tidak menguap akan tergantung tekanan dan kadar zat tersebut.
5. Beda titik didih larutan dengan titik didih cairan murni disebut kenaikan titik didih (boiling range).



Gambar 6.1. Evaporator

6.1.4. Penggunaan Evaporator

Dalam dunia industri baik industri yang berskala besar maupun kecil, penggunaan evaporator tentunya sangat dibutuhkan agar dapat menghasilkan produk sesuai dengan yang diinginkan, seperti industri kimia dan industri makanan, contohnya proses pembuatan garam, bahan baku garam dihasilkan dari air laut yang tentunya memiliki

kandungan air, sehingga garam akan dimasukkan ke dalam evaporator dan dievaporasikan agar mengubah air menjadi uap dan dikeluarkan sehingga yang tersisa hanya larutan mineral-mineral yang terdapat dalam evaporator. Khusus untuk industri migas, evaporator digunakan untuk memekatkan larutan crude oil dengan menghilangkan kadar airnya sehingga meringankan kinerja kolom Destilasi. Dalam skala komersial, proses evaporasi membutuhkan peralatan pendukung seperti kondensor, perangkat uap, injeksi uap dan evaporator itu sendiri.

6.1.5. Tipe Evaporator Berdasarkan Cara Pemanasan

Jenis-jenis evaporator dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Direct Fired Evaporator*, merupakan jenis evaporator dengan cara pengapian langsung dimana api dan pembakar gas dipisahkan dari cairan mendidih dengan pembatas dinding besi atau permukaan untuk memanaskan.
2. *Submerged Combustion Evaporator*, yaitu evaporator yang dipanaskan oleh api yang menyala dibawah permukaan cairan, dimana gas yang panas bergelembung melewati cairan.
3. *Steam Heated Evaporator*, adalah evaporator yang menggunakan pemanas steam atau uap lain yang dapat dikondensasi, sumber panas dimana uap terkondensasi pada suatu sisi di permukaan pemanas dan kemudian panas ditransmisi lewat dinding ke cairan yang mendidih.

6.1.6. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Evaporasi

Menurut Earle, ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi kecepatan pada proses evaporasi, seperti:

1. Kecepatan panas yang diuapkan ke bahan pangan.
2. Jumlah panas yang berada dalam penguapan.
3. Suhu maksimum yang bisa dicapai. Biasanya hal ini disesuaikan dengan kondisi bahan yang akan dievaporasi. Sebab, bahan yang tidak tahan dengan suhu tinggi akan menghasilkan kerak pada bagian evaporator. Hal ini akan berpengaruh pada perpindahan panas yang terjadi dari alat steam ke bahan tersebut.
4. Besarnya tekanan yang berada dalam alat yang digunakan.
5. Berbagai jenis perubahan yang bisa saja terjadi saat proses penguapan.
6. Laju alir umpan.
Laju air umpan tidak boleh terlalu kecil karena mengakibatkan proses evaporasi kurang efisien. Sebaliknya, laju air umpan juga tidak boleh terlalu besar. Usahakan untuk mengatur laju air umpan secara pas agar bisa menghasilkan proses evaporasi yang optimal.
7. Sifat fisik dan kimia umpan.
8. Laju air steam.
9. Laju air pendingin.
10. Besar permukaan kontak antara umpan dengan alat pemanas.

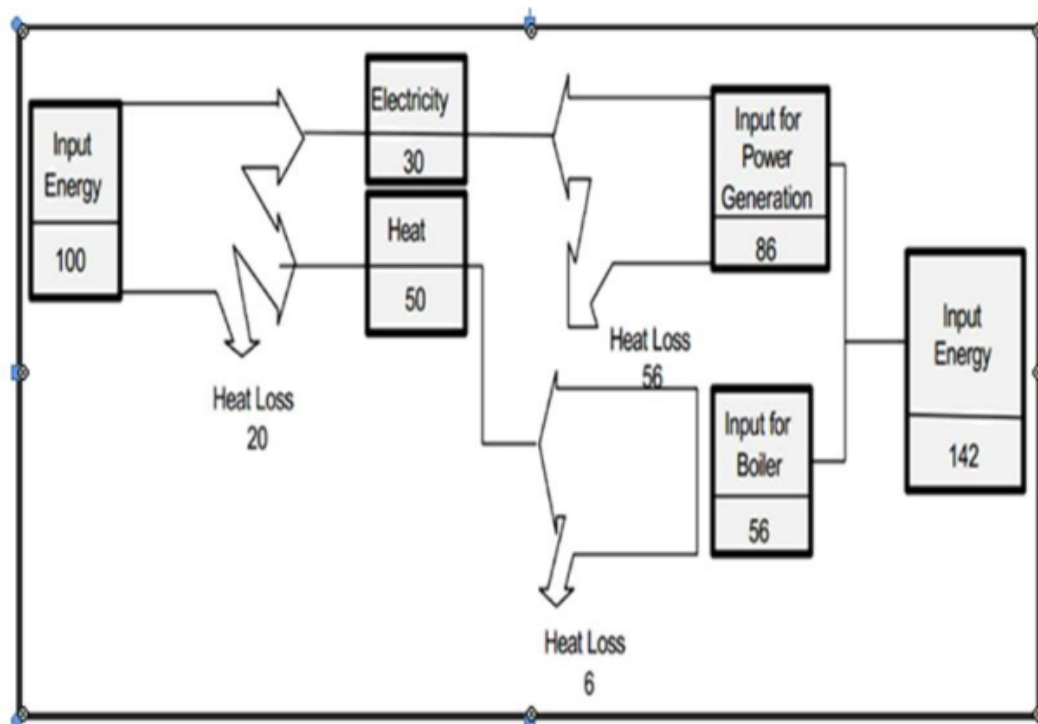
Sedangkan menurut Buckle, faktor yang perlu diperhatikan saat proses evaporasi adalah :

1. Sirkulasi udara.
2. Terjadinya kenaikan viskositas.

3. Terjadinya deposit pada alat evaporator.
4. Faktor aroma.
5. Tingkat kelarutan zat padat.

6.2 Kogenerasi (*Cogeneration*)

Kogenerasi adalah nama baru untuk teknologi yang sudah dimanfaatkan sejak tahun 1800-an. Dalam pengertian yang lebih luas, kogenerasi adalah produksi bersamaan dari uap (fluida panas lainnya) dan listrik dengan satu peralatan konversi energi (BPPT, 2012). Perbedaan fundamental antara alat konversi energi konvensional dengan kogenerasi adalah bahwa pada sistem konvensional hasil yang diproduksi hanya listrik atau uap saja, sedangkan pada sistem kogenerasi keduanya diproduksi sekaligus secara bersamaan dengan penghematan energi. Kogenerasi adalah sumber alternatif energi yang dapat bertahan terus karena potensi penghematan energi yang dihasilkan. Konsep ini membutuhkan pengaturan kerja teknis, ekonomis, dan kelembagaan antara industri serta penyedia utilitas. Suatu peralatan kogenerasi dalam memproduksi listrik dan uap dengan bahan bakar kurang dari 10-30% yang dibutuhkan untuk suatu pembangkit energi konvensional. Perbandingan efisiensi sistem pembangkit konvensional dan kogenerasi dapat dilihat pada gambar 2.1 yang menunjukkan bahwa sistem kogenerasi mampu membangkitkan listrik dan uap dengan jumlah yang sama seperti pembangkit konvensional dimana konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan lebih kecil (UNESCAP, 2000).



Gambar 6.1. Sistem Kogenerasi Mampu Membangkitkan Listrik dan Uap

- 6.2.1. Sistem kogenerasi biasanya diklasifikasikan menurut jenis *steam* (fluida), urutan penggunaan energi dan skema operasi yang diambil.
- 6.2.2. Klasifikasi sistem kogenerasi berdasarkan urutan energi yang digunakan adalah sebagai berikut (UNEP, 2006)

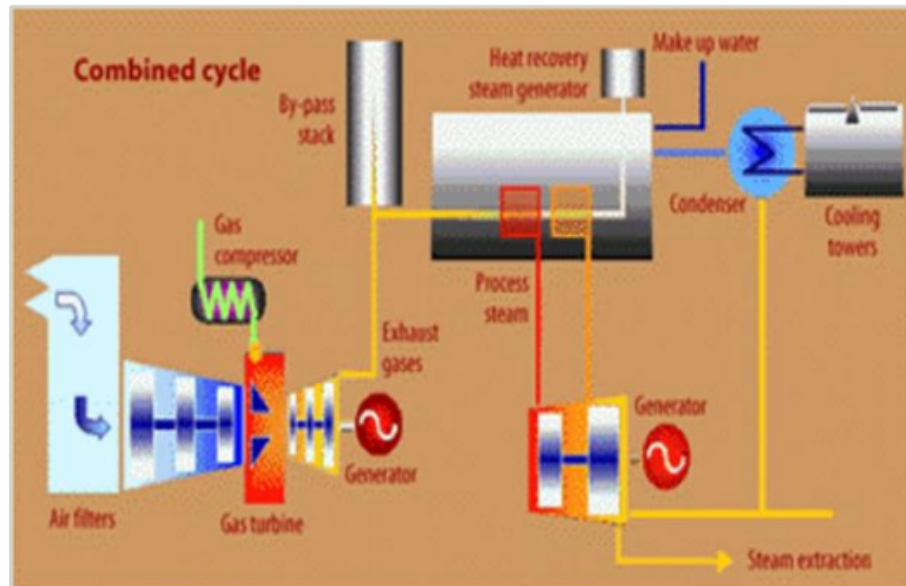
A. Siklus Atas

Dalam siklus atas bahan bakar yang dipasok digunakan untuk memproduksi daya terlebih dahulu dan kemudian energi panas yang merupakan produk samping siklus digunakan untuk memenuhi permintaan proses panas lainnya. Terdapat empat jenis sistem

kogenerasi siklus atas:

✚ Sistem atas siklus kombinasi

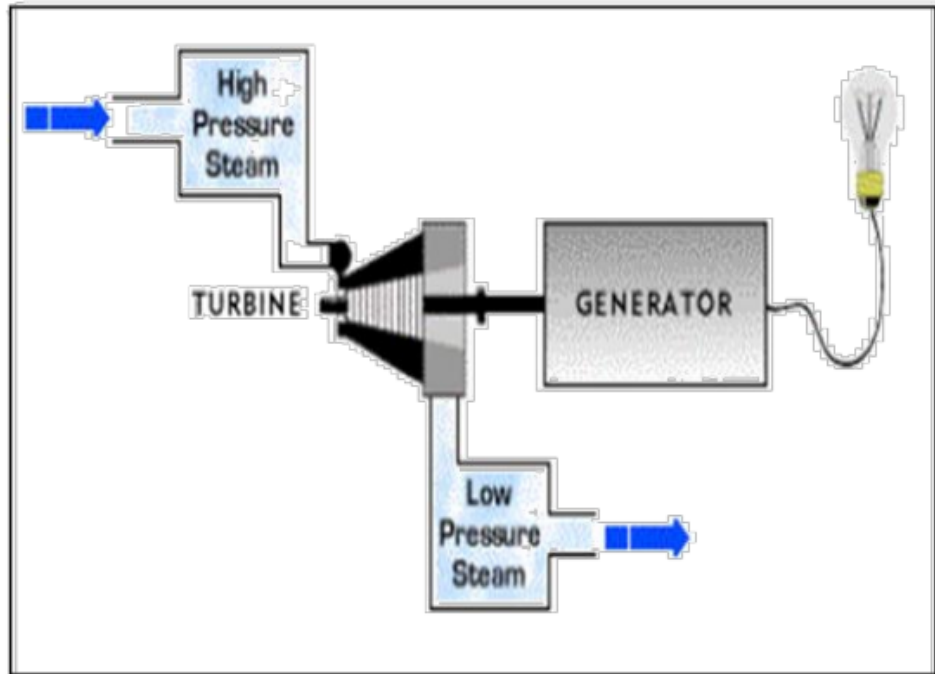
Sebuah turbin gas memproduksi listrik atau daya mekanis diikuti oleh boiler pemanfaat panas untuk menghasilkan *steam* yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap sekunder seperti yang terlihat pada gambar berikut:



Gambar 6.2 Sistem atas siklus kombinasi (UNEP, 2006)

✚ Sistem atas turbin uap

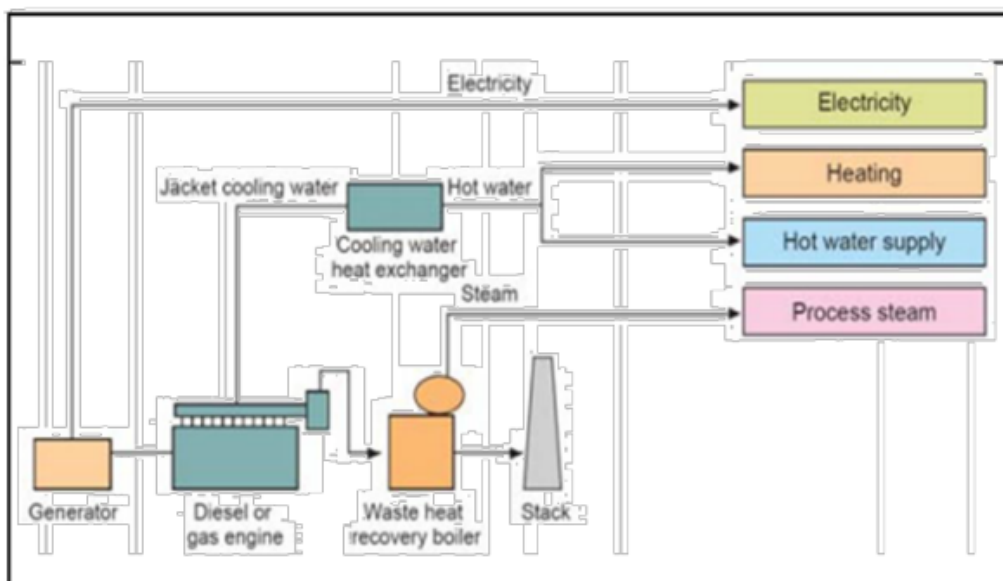
Pada jenis sistem atas turbin uap (jenis apapun) bahan bakar dibakar untuk menghasilkan *steam* tekanan tinggi yang kemudian melewati turbin uap untuk menghasilkan daya dengan buangan *steam* dari proses merupakan *steam* bertekanan rendah.



Gambar 6.3. Sistem atas turbin uap (UNEP, 2006)

✚ Sistem atas pemanfaatan kembali panas.

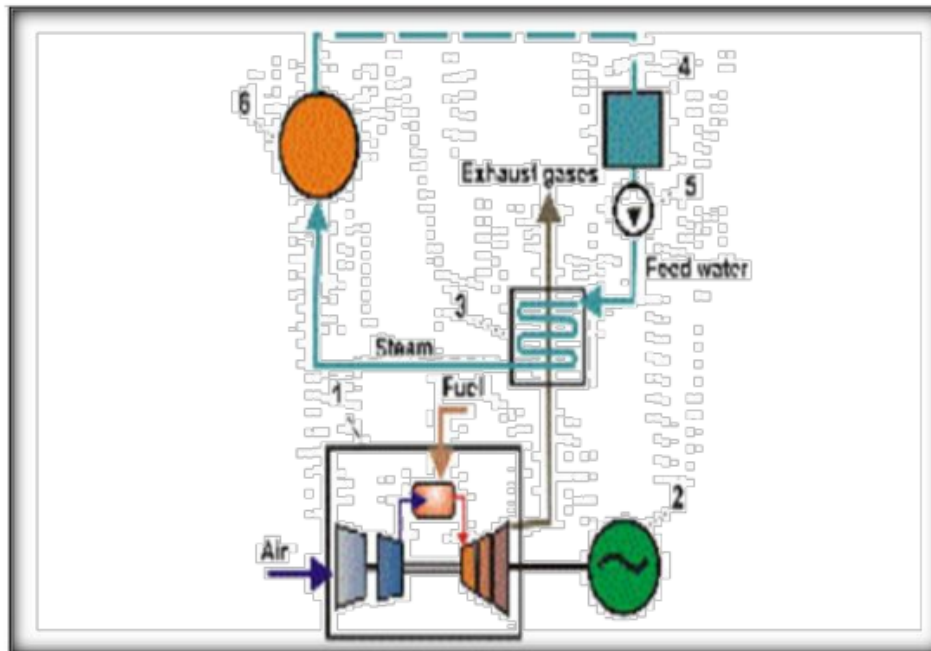
Jenis ini memanfaatkan panas yang diambil dari buangan mesin dan/atau sistem pendingin yang mengalir menuju boiler pemanfaat panas, dimana panas ini diubah menjadi *steam* untuk proses penggunaan lebih lanjut.



Gambar 6.4. Sistem atas pemanfaatan kembali panas (UNEP,2006)

✚ Sistem atas turbin gas

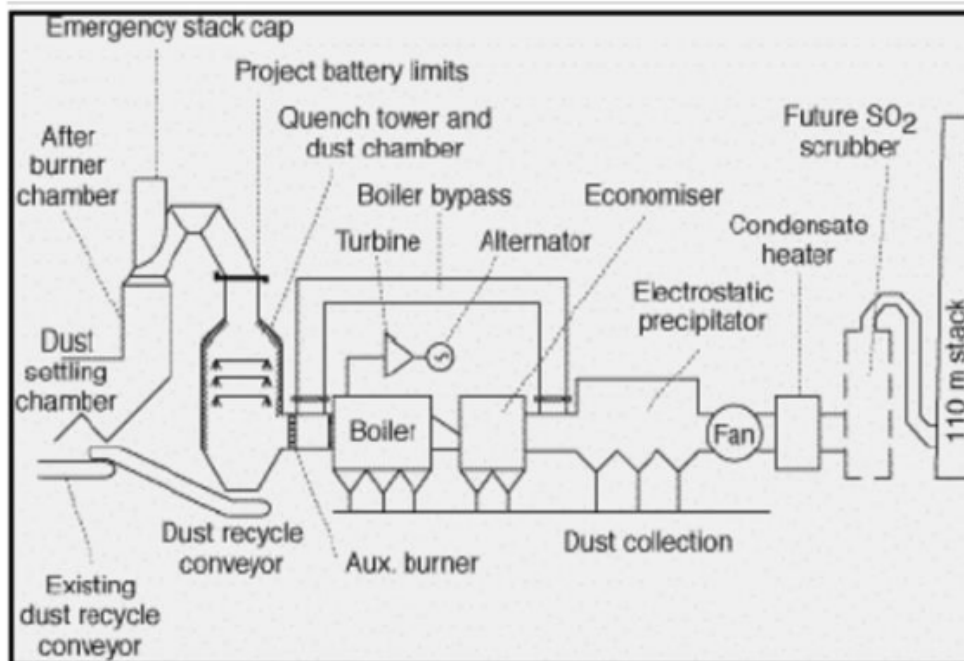
Turbin gas menggerakkan sebuah generator dan gas buang mengalir ke boiler pemanfaat panas (HRSG) yang membuat *steam* dan panas untuk proses.



Gambar 6.5. Sistem atas turbin gas (UNEP, 2006)

B. Siklus Bawah

Dalam siklus bawah, bahan bakar primer digunakan untuk memproduksi energi panas bertemperatur tinggi dan panas yang keluar dari proses digunakan untuk membangkitkan daya melalui boiler pemanfaat panas kembali (HRSG) dan sebuah generator turbin. Siklus bawah cocok untuk proses manufaktur yang memerlukan panas pada temperatur tinggi dalam tungku. Areal penerapannya termasuk industri semen, baja, keramik, gas, dan petrokimia.



Gambar 6.6. Siklus bawah (UNEP, 2006)

Plant siklus bawah kurang umum digunakan daripada siklus atas. Gambar 6.8 menggambarkan siklus bawah dimana bahan bakar dibakar dalam *furnace* untuk menghasilkan *rutile* sintetik. Limbah gas yang keluar dari *furnace* digunakan dalam boiler untuk menghasilkan *steam* yang menggerakkan turbin untuk menghasilkan listrik.

Berdasarkan jenis *steam* (fluida) sistem kogenerasi diklasifikasikan atas (UNEP, 2006):

1. Sistem Kogenerasi Turbin Uap

Turbin uap merupakan salah satu teknologi mesin penggerak yang multi fungsi dan tertua yang masih diproduksi secara umum. Pembangkitan energi dengan menggunakan turbin uap telah berlangsung sekitar 100 tahun, ketika alat tersebut menggantikan mesin *steam reciprocating* karena efisiensinya yang tinggi dan biayanya yang murah.

Kapasitas turbin uap dapat berkisar dari 50 kW hingga ratusan MW untuk *plant* dengan kebutuhan energi yang besar. Turbin uap digunakan secara luas untuk penerapan gabungan panas dan daya (CHP).

Siklus termodinamika untuk turbin uap merupakan siklus Rankine. Siklus Rankine merupakan dasar bagi sistem pembangkitan daya konvensional dan terdiri dari sumber pemanas (*boiler*) yang mengubah air menjadi *steam* bertekanan tinggi. Dalam siklus uap, air pertama-tama dipompa ke tekanan sedang hingga tinggi, kemudian dipanaskan hingga temperatur didih yang sesuai dengan tekanannya, dan kemudian biasanya diberikan panas berlebih (*superheated*). Turbin multi tahap mengekspansi *steam* bertekanan sampai ke tekanan rendah dan *steam* kemudian dikeluarkan ke kondensor. Kondensat dari kondensor atau dari sistem penggunaan *steam* dikembalikan ke pompa air umpan untuk keberlanjutan siklus.

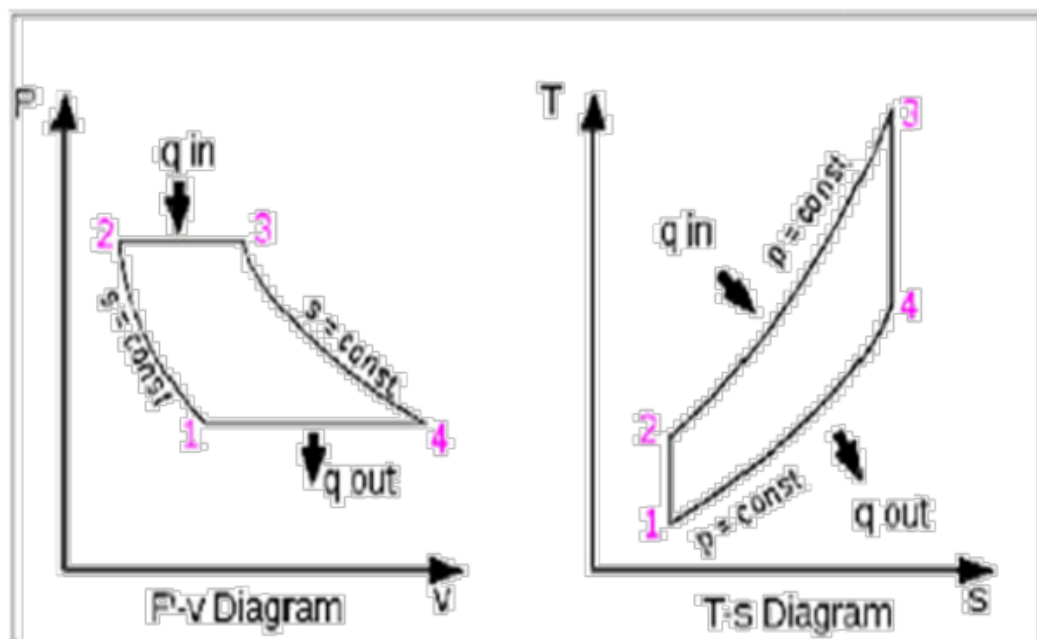
2. Sistem Kogenerasi Mesin Reciprocating

Mesin-mesin *reciprocating* cocok untuk berbagai penggunaan pembangkitan yang terdistribusi, industri, komersial, dan fasilitas institusional untuk pembangkitan daya dan CHP. Mesin *reciprocating* memiliki efisiensi listrik lebih tinggi dibandingkan dengan turbin gas dengan ukuran yang sebanding, dengan demikian mesin *reciprocating* mampu menurunkan biaya operasi yang berhubungan dengan bahan bakar. Disamping itu, biaya awal *genset* mesin *reciprocating* umumnya lebih rendah dari *genset* turbin gas hingga ukuran 3-5 MW. Namun biaya perawatan mesin *reciprocating* umumnya lebih tinggi dari turbin gas. Potensi penerapan pembangkitan untuk mesin *reciprocating* terdiri dari *standby*, pemangkasan beban puncak, penyangga *grid*, dan penerapan

CHP dimana diperlukan air panas, *steam* tekanan rendah, atau limbah absorpsi panas pembakaran pada pendingin. Mesin *reciprocating* juga digunakan secara luas sebagai penggerak mekanik langsung dalam berbagai penerapan seperti pompa air, kompresi udara dan gas dan pendinginan.

3. Sistem Kogenerasi Turbin Gas

Sistem kogenerasi turbin gas beroperasi pada siklus termodinamika yang dikenal dengan siklus Brayton. Pada siklus Brayton, udara atmosfer dikompresi, dipanaskan, diekspansikan, dan kemudian gas berlebih yang dihasilkan oleh turbin atau ekspander yang dipakai oleh kompresor digunakan untuk pembangkitan energi seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.7. Sistem kogenerasi turbin gas dapat menghasilkan seluruh atau sebagian permintaan energi setempat, dan energi yang dilepas pada suhu tinggi pada cerobong pengeluan dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai penggunaan pemanasan dan pendinginan.



Gambar 6.7 Diagram P-v dan T-s (Nugroho, 2012)

Siklus gambar di atas terdapat empat langkah:

- Langkah 1-2: Udara luar dihisap dan ditekan di dalam kompresor, menghasilkan udara bertekanan (langkah kompresi)
- Langkah 2-3: Udara bertekanan dari kompresor dicampur dengan bahan bakar, terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan gas panas (langkah pemberian panas)
- Langkah 3-4: Gas panas hasil pembakaran dialirkan untuk memutar turbin (langkah ekspansi)
- Langkah 4-1: Gas panas dari turbin dibuang ke udara luar (langkah pembuangan).

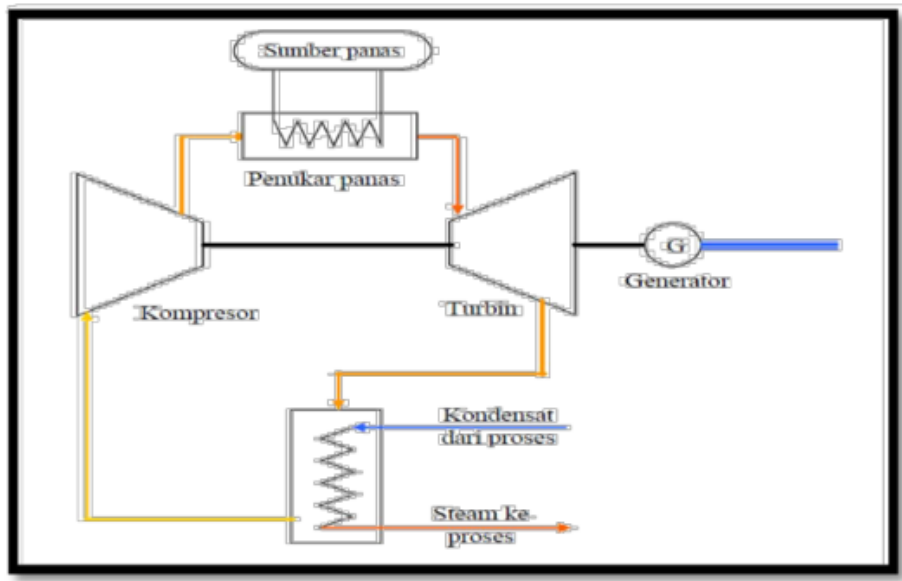
Terdapat dua macam sistem kogenerasi turbin gas yaitu (UNEP, 2006):

1. Sistem Kogenerasi Turbin Gas Siklus Terbuka

Hampir seluruh sistem turbin gas yang tersedia saat ini beroperasi pada siklus Brayton terbuka (juga dikenal dengan siklus Joule bila ketidakmampuan baliknya diabaikan) dimana kompresor mengambil udara dari atmosfer dan membawanya pada tekanan yang lebih tinggi ke ruang bakar sehingga suhu udara juga meningkat karena kompresi. Udara dikirimkan melalui sebuah *diffuser* ke ruang pembakaran yang bertekanan konstan, dimana bahan bakar diinjeksi dan dibakar. *Diffuser* menurunkan kecepatan udara ke nilai yang dapat diterima dalam pembakar. Terdapat penurunan tekanan (*pressure drop*) di dalam pembakar sekitar 1.2%. Pembakaran berlangsung dengan udara berlebih. Gas buang keluar pembakar pada suhu tinggi dengan konsentrasi oksigen sampai 15-16%. Semakin tinggi suhu pada siklus ini, akan semakin tinggi efisiensi siklusnya. Batas atasnya

2. Sistem Kogenerasi Turbin Gas Siklus Tertutup.

Dalam sistem kogenerasi turbin gas siklus tertutup, fluida kerja (biasanya gas helium atau udara) bersirkulasi dalam suatu sirkuit tertutup. Fluida ini dipanaskan dalam suatu penukar panas sebelum masuk menuju turbin, dan didinginkan setelah keluar turbin dengan melepaskan panas yang berguna. Sumber panas dapat berasal dari pembakaran eksternal berbagai bahan bakar dan juga dapat digunakan energi nuklir atau energi matahari.



Gambar 6.9. Sistem kogenerasi turbin gas siklus tertutup (UNEP, 2006)

Komponen Sistem Kogenerasi Turbin Gas

Adapun komponen utama sistem kogenerasi turbin gas adalah sebagai berikut:

A. Turbin Gas

Turbin merubah energi kinetik dari pembakaran gas yang mengalir dari ruang pembakaran, kemudian merubah energi ini menjadi *shaft horsepower* untuk menggerakkan kompresor.

Berdasarkan alirannya turbin gas terdiri dari dua tipe yaitu turbin aliran aksial (*axial-flow turbine*) dan turbin aliran radial (*radial-inflow turbine*). Turbin aliran aksial (*axial-flow turbine*) terdiri dari *nozzle stasioner* (baling-baling) dan pisau pemutar (*buckets*) yang melekat pada piringan turbin (*disc*). Turbin dibagi menjadi tiga jenis yaitu impuls, reaksi dan kombinasi dari turbin impuls dan reaksi. Energi menurun ke setiap tahap yang merupakan fungsi dari konfigurasi area *nozzle* dan *airfoil*. Area *nozzle* pada turbin adalah bagian penting dari turbin jika terlalu kecil maka *nozzle* akan memiliki kecenderungan untuk memberikan tekanan dibawah kondisi aliran maksimum, dan jika terlalu besar maka turbin tidak akan beroperasi pada efisiensi terbaik (Giampaolo, 2006). Turbin aliran radial (*radial-inflow turbine*) telah digunakan selama bertahun-tahun. Pertama muncul sebagai unit penghasil daya praktis di bidang turbin hidrolik. Keuntungan terbesar turbin aliran radial adalah bahwa kerja yang dihasilkan oleh satu tahap setara dengan dua tahap atau lebih dalam turbin aksial. Turbin aliran radial (*radial-inflow turbine*) memiliki keuntungan lain yaitu harganya jauh lebih rendah dibandingkan dengan satu atau beberapa tahap pada turbin aliran aksial. Akan tetapi turbin aliran radial memiliki efisiensi turbin lebih rendah dibandingkan dengan turbin aliran aksial (Boyce, 2002).

B. Compressor

Kompresor terdiri dari pisau putar pada cakram dan baling-baling stasioner yang mengarahkan udara ke baris pisau berikutnya. Tahap pertama kompresor baling-baling mempercepat udara menuju ujung-ujungnya dan menuju tahap baling-baling pertama. Pada tahap baling-baling pertama berfungsi memperlambat udara ke bawah dan

langsung menuju tahap kompresor baling-baling kedua, dan seterusnya melalui tahapan rotor kompresor. Kompresor memberikan tekanan tinggi sehingga udara dengan volume yang tinggi bila dipanaskan dan diperluas melalui bagian turbin, memberikan output daya yang diperlukan oleh proses. Kinerja kompresor umumnya ditunjukkan sebagai rasio tekanan yang diplot terhadap aliran udara (Soares, 1998).

C. Combustion Chamber

Ada tiga jenis ruang pembakaran (*Combustion chamber*) utama yang digunakan saat ini (Boyce, 2002):

1. Tubular (*single can*)

Tubular (*single can*) lebih dipilih oleh banyak desainer industri turbin gas dari Eropa. Hal tersebut dikarenakan ruang bakar tunggal dengan ukuran yang besar ini menawarkan keuntungan dari kesederhanaan desain dan umur yang panjang karena tingkat pelepasan panas yang rendah. Tubular untuk unit besar biasanya memiliki lebih dari satu *nozzle*. Dalam banyak kasus, cincin *nozzle* ditempatkan di daerah zona primer.

2. Turbo-annular (Can-annular)

Turbo-annular adalah jenis paling umum dari *combustion chamber* yang digunakan pada turbin gas. Turbin gas industri yang dirancang oleh perusahaan-perusahaan Amerika Serikat menggunakan jenis turbo-annular atau can-annular. Keuntungan untuk jenis ini adalah kemudahan pemeliharaan dan juga memiliki distribusi temperatur yang lebih baik dari sisi *single-can combustor*.

3. Annular

Annular *Combustion Chamber* digunakan terutama pada jenis

turbin gas untuk pesawat. Jenis ruang bakar ini biasanya memiliki tipe searah aliran. Radius ruang bakar luar sama dengan *casing* kompresor, sehingga menghasilkan desain aliran garis. *Annular Combustion Chamber* membutuhkan udara pendinginan kurang dari ruang bakar tubo-annular, dan karena itu semakin penting untuk aplikasi suhu tinggi. Di sisi lain, ruang bakar annular jauh lebih sulit untuk mendapatkan pemeliharaan dan cenderung menghasilkan profil radial dan melingkar sehingga kurang menguntungkan dibandingkan dengan pembakar tubo-annular.

4. *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*

Konsep pemanfaatan kembali limbah panas bukanlah hal baru. Pada tahun 1948, *Westing house* membangun turbin gas untuk lokomotif kereta api yang ditujukan untuk layanan penumpang cepat. Awalnya, *boiler* disebut *boiler* pemulih panas, dan fungsinya adalah menghasilkan uap jenuh untuk keperluan sekunder. Sejak saat itu, banyak usaha dihabiskan untuk mencoba memaksimalkan kinerja turbin gas, dan sedikit perhatian yang diberikan ke ujung belakang siklus. Pada akhir tahun 1960, penekanan berubah menjadi memaksimalkan efisiensi siklus, dan *engineer* mulai merancang turbin gas dengan *boiler* limbah panas. Ketika *superheater* besar ditambahkan, nama berubah menjadi *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)*. *Casing* dari HRSG dirancang untuk menangani tekanan termal yang signifikan yang disebabkan oleh suhu transien selama *start-up* dan *shutdown*. Sebuah *diffuser* besar dipasang di *inlet* untuk mengurangi kecepatan tinggi. Bahan bakar tambahan dapat ditambahkan ke *diffuser* untuk memberikan tambahan produksi uap dalam operasi *off-design* dan/atau uap *superheated*.

HRSG beroperasi normal dengan dua tekanan yaitu satu substansial *superheated* dan satu (tekanan rendah) bagian dengan sedikit atau tanpa *superheated*. Sebuah set turbin uap generator dapat diinstal untuk menyeimbangkan arus uap di pabrik. HRSG dapat dirancang untuk menangani beberapa tekanan, tetapi tidak ekonomis untuk menggunakan lebih dari tiga (Boyce, 2002).

5. Eksergi

a. Definisi Eksergi

Dasar dari analisis eksergi pertama kali dikenalkan oleh Carnot pada tahun 1824 dan Clausius pada tahun 1865. Penelitian menggunakan analisis eksergi itu sendiri telah dilakukan pada akhir abad ke-18. Pada tahun 1889 Gouy meneliti tentang konsep eksergi dari *useable energi* (energi yang berguna) untuk sistem tertutup. Dalam konsep ini juga dinyatakan bahwa energi yang hilang selama proses sama dengan perubahan entropi proses itu. Kemudian konsep ini terus dikembangkan melalui penelitian-penelitian selanjutnya. Baru pada tahun 1939 Bosjankovic mulai mengembangkannya dengan mempublikasikan dua paper yang mengembangkan konsep Hukum Kedua Termodinamika. Paper ini menjadi begitu penting bagi perkembangan konsep eksergi. Penggunaan kata *exergy* itu sendiri dikenalkan pertama kali oleh Bosjankovic pada tahun 1960, Trepp pada tahun 1961, dan Baehr tahun 1962, dan sejak itu *exergy* mulai dikenalkan sebagai *work capacity* atau *available work* (Basri, 2011).

Metode analisis eksergi (analisis kemanfaatan) sangat tepat digunakan untuk mendorong tercapainya penggunaan sumber daya energi dengan lebih efektif, karena eksergi memungkinkan untuk menentukan lokasi, penyebab, dan besar sebenarnya dari kerugian dan

pemborosan suatu sistem termal. Dengan demikian eksergi dapat digunakan dalam sistem baru yang lebih efisien dan dapat meningkatkan efisiensi dari sistem yang sudah ada. Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa selain memiliki kuantitas, energi juga memiliki kualitas, dan suatu proses yang riil akan berlangsung pada arah kualitas energi yang semakin menurun. Jadi walaupun tidak ada kuantitas energi yang hilang, kualitas energi selalu berkurang selama proses. Besaran dari kualitas energi ini disebut eksergi.

b. Deadstate

Ketika tekanan, temperatur, komposisi, kecepatan, atau elevasi dari sebuah sistem berbeda dari lingkungan, maka ada kesempatan untuk melakukan kerja. Bila kemudian sistem berubah kondisi menuju kondisi lingkungan, maka kesempatan kerja tersebut berkurang. Dan kesempatan itu akan hilang sama sekali ketika satu sama lain relatif berada pada kondisi kestimbangan (*equilibrium*). Kondisi dari sistem ini disebut *dead state*. Pada *dead state*, kondisi kesetimbangan mekanik, termal, dan kimia antara sistem dan lingkungan terpenuhi (Bejan, 1996).

c. Aspek Eksergi

Beberapa aspek penting dari konsep eksergi adalah sebagai berikut (Moran, 2006):

- i. Eksergi adalah ukuran tingkat menjauhnya keadaan sistem dari keadaan lingkungan. Oleh karena itu eksergi merupakan atribut dari sistem dan lingkungan bersama. Namun, setelah lingkungan ditentukan, suatu nilai dapat ditentukan untuk eksergi dalam hal

nilai properti untuk sistem saja, jadi eksergi dapat dianggap sebagai properti dari sistem.

- ii. Nilai eksergi tidak bisa bernilai negatif. Karena jika sistem berada pada keadaan lain selain keadaan mati, sistem akan dapat mengubah kondisi secara spontan menuju ke keadaan mati. Kecenderungan ini terjadi jika keadaan mati tercapai dan tidak diperlukan kerja untuk melakukan perubahan spontan. Oleh karena itu, setiap perubahan keadaan sistem ke keadaan mati dapat dicapai dengan sedikitnya *zero work*, dan dengan demikian kerja maksimal (eksergi) tidak dapat bernilai negatif.
- iii. Eksergi tidak dapat dikekalkan tetapi dihancurkan oleh irreversibilitas. Sebuah batas adalah jika seluruh eksergi dimusnahkan, seperti yang akan terjadi jika sistem yang diizinkan untuk mengalami perubahan spontan ke keadaan mati dengan tidak ada kemampuan untuk memperoleh kerja. Potensi untuk mengembangkan kerja yang ada awalnya akan benar-benar terbuang dalam proses spontan tersebut. Eksergi dilihat sebagai kerja teoritis maksimum yang diperoleh dari suatu sistem kombinasi ditambah lingkungan sebagai suatu sistem yang bergerak dari keadaan menuju ke keadaan mati (kesetimbangan). Atau, eksergi dapat dianggap sebagai kerja teoritis minimum yang diperlukan untuk membawa sistem dari keadaan mati (kesetimbangan) menuju ke keadaan lain.

d. Analisis Eksergi

- Komponen Eksergi

Eksergi total suatu sistem dapat dibagi menjadi empat komponen yaitu (Bejan, 1996): $E = E^{PH} + E^{KN} + E^{PT} + E^{CH}$ (1)

Dimana : E^{PH} : Eksergi fisik E^{KN} : Eksergi kinetik E^{PT} : Eksergi potensial E^{CH} : Eksergi kimia

Walaupun eksergi merupakan sebuah sifat yang ekstensif, kerap kali eksergi bekerja berdasarkan unit massa. Dan eksergi spesifik total berdasarkan unit massa dapat ditulis sebagai (Bejan, 1996) : $e = e^{PH} + e^{KN} + e^{PT} + e^{CH}$ (2)

dengan lingkungan. Dengan menelaah dalam sistem yang diam relatif terhadap lingkungan ($e^{KN} = e^{PT} = 0$), eksergi fisik adalah kerja berguna teoritis maksimum yang dapat diperoleh sewaktu sistem berlalu dari status mulanya dimana temperatur T dan tekanan P ke status mati dimana temperatur T_o dan tekanan P_o .

$$e^{PH} = (h_i - h_o) + T_o(s_i - s_o) \quad (3)$$

Sedangkan eksergi kimia dimana penggunaan istilah kimia di sini tidak berarti sebuah reaksi kimia melainkan komponen yang tertaut dengan deviasi komposisi kimia sebuah sistem dari komposisi kimia terhadap lingkungan. Laju eksergi kimia dapat ditulis dengan persamaan berikut (Bejan, 1996):

$$\dot{E}^{CH} = \dot{m} (e^{CH}) \quad (4)$$

Dimana e^{CH} merupakan eksergi kimia standar, dimana tabel eksergi kimia molar standar tersedia pada beberapa literatur yaitu salah satunya dari Tabel C.1 dan C.2 dalam buku *Thermal Design and Optimization* oleh Adrian Bejan.

- Balans Eksergi

Balans laju eksergi untuk sistem kogenerasi dapat ditulis dengan persamaan (Bejan, 1996) :

$$\dot{E}_i = \dot{E}_e + \dot{E}_D \quad (5)$$

Dimana $\dot{E}_i$ adalah laju pemasukan eksergi i ($\dot{E}_i = \dot{m} e_i$) dan $\dot{E}_e$ adalah laju keluaran eksergi e ($\dot{E}_e = \dot{m} e_e$). Sedangkan $\dot{E}_D$ menunjukkan laju destruksi (pemusnahan) eksergi.

e. Destruksi Eksergi

Destruksi eksergi secara umum dapat ditulis dengan persamaan (Bejan, 1996) :

$$E_{D,k} = E_i - E_e \quad (6)$$

Sehingga rasio destruksi eksergi yang merupakan perbandingan laju destruksi eksergi di dalam komponen sebuah sistem terhadap laju eksergi dari bahan bakar yang diberikan ke seluruh sistem ($\dot{E}_{F,tot}$) dapat dirumuskan dengan (Bejan, 1996).

f. Efisiensi Eksergetik

Efisiensi eksergetik (efisiensi hukum kedua, efektivitas, atau efisiensi rasional) memberi sebuah ukuran sebenarnya dari kinerja sebuah sistem energi dari sudut pandang termodinamika. Dalam mendefinisikan efisiensi eksergetik perlu diidentifikasi antara produk dengan bahan bakar dari sistem termodinamika yang dianalisis. Produk mempresentasikan hasil yang diproduksi oleh sistem. Sedangkan bahan bakar mempresentasikan berbagai sumber daya yang dihabiskan oleh produk. Efisiensi eksergetik adalah rasio dari produk terhadap bahan bakar yang dapat dituliskan dengan persamaan

(Bejan, 1996) :

$$\epsilon = \frac{\dot{E}_F - \dot{E}_f}{\dot{E}_F} = 1 - \frac{\dot{E}_d}{\dot{E}_F}$$

dimana ϵ merupakan Efisiensi eksergeti, $\dot{E}_F$ merupakan bahan bakar yang disuplai, $\dot{E}_P$ merupakan produk yang dibangkitkan.

6. Termo Ekonomi

a. Definisi Termo Ekonomis

Termo ekonomi adalah cabang dari ilmu rekayasa teknik (*engineering*) yang mengkombinasikan analisis eksergi dengan prinsip-prinsip ekonomi untuk memberikan informasi bagi desainer atau operator sistem yang tidak tersedia melalui analisis energi atau berbagai evaluasi ekonomi konvensional. Termoeкономи dapat dipandang sebagai bentuk eksergi dengan biaya minimum. Tujuan dari melakukan analisis termoeкономи adalah untuk meminimalkan biaya eksergi. Dalam penetapan biaya eksergi biaya ditentukan untuk masing-masing aliran eksergi. Kemudian untuk menghitung secara terpisah biaya dari setiap produk yang dihasilkan oleh sebuah sistem, dan untuk mengoptimalkan berbagai variabel spesifik dalam sebuah komponen tunggal atau sistem secara keseluruhan (Bejan, 1996).

b. Analisis Termo Ekonomi

Penentuan biaya eksergi memerlukan berbagai balans biaya yang biasanya diformulasikan untuk setiap komponen secara terpisah. Sebuah balans biaya diaplikasikan terhadap komponen k menunjukkan bahwa jumlah biaya yang terkait dengan semua laju eksergi keluar

adalah sama dengan jumlah dari tingkat biaya dari semua laju eksergi masuk ditambah berbagai pembiayaan tetap yang disebabkan investasi capital ($\dot{Z}_k^{Cl}$) dan berbagai pembiayaan untuk pengoperasian dan pemeliharaan ($\dot{Z}_k^{OM}$). Jumlah dari dua pembiayaan tersebut dapat ditulis dengan $\dot{Z}_k$. Sehingga untuk sistem yang menerima panas dan menghasilkan kerja, kesetimbangan eksergetik. dapat ditulis sebagai berikut (Bejan, 1996) : $\sum_e \dot{C}_{e,k} + \dot{C}_{w,k} = \sum_i \dot{C}_{i,k} + \dot{Z}_k$, Dimana biaya investasi kapital dapat ditulis dengan persamaan : $\dot{Z}_k = \dot{Z}_k^{Cl} + \dot{Z}_k^{OM}$ (7) Persamaan tersebut secara sederhana menyatakan bahwa biaya total dari berbagai laju eksergi keluar sama dengan pengeluaran total untuk menghasilkan eksergi tersebut yaitu biaya dari berbagai laju eksergi masuk ditambah berbagai biaya kapital dan yang lain. Berbagai laju eksergi ($\dot{E}_i$, $\dot{W}$, dan $\dot{E}_e$) yang masuk dan keluar dari komponen k dikalkulasi dalam sebuah analisis eksergi yang dilakukan pada tahap sebelumnya. Sehingga persamaan dapat ditulis sebagai (Bejan, 1996): $\sum_e (c_e \dot{E}_e)_k + \dot{C}_{w,k} \dot{W}_k = \sum_i (c_i \dot{E}_i)_k + \dot{Z}_k$. Dengan mengasumsikan bahwa kerugian eksergi di atas melalui suplai dari menyuplai unit eksergi tetap konstan dengan bervariasinya kerugian eksergi di dalam komponen k , maka biaya destruksi eksergi dapat ditulis bahan bakar tambahan $(\dot{E}_{F,k})$ ke komponen k dan biaya rata-rata $(C_{F,K})$ dengan $C_{D,K} = C_{F,k} \dot{E}_{D,k}$.

c. Evaluasi Termo Ekonomi

Evaluasi termo ekonomi terhadap sebuah sistem termal yang berbasis pada sebuah himpunan variabel yang dikalkulasi untuk setiap komponen k dari sistem meliputi evaluasi terhadap (Bejan, 1996):

- Efisiensi Eksergetik
- Berbagai laju destruksi eksergi dan kehilangan eksergi
- Rasio destruksi dan kerugian eksergi
- Berbagai tingkat biaya yang terkait dengan investasi kapital, berbagai pengeluaran pengoperasian dan pemeliharaan, dan jumlah keduanya
- Tingkat biaya dari destruksi eksergi
- Beda biaya relative

7. Faktor Termo Ekonomi

Untuk beda biaya relatif dan faktor termoekonomi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Bejan, 1996) :

➤ Beda biaya relatif (r_k)

Beda biaya relatif (r_k) adalah sebuah variabel yang berguna untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan sebuah sistem. Variabel ini mengekspresikan peningkatan relatif dalam biaya rata-rata per unit eksergi antara bahan bakar dan produk. Beda biaya relatif (r_k) dapat ditulis dengan persamaan (Bejan, 1996) : $r = \frac{I - E_k}{E_k} + \frac{Z}{CF}$.

➤ Faktor termo ekonomi (f_k)

Faktor termoekonomi (f_k) mengekspresikan sebagai rasio kontribusi dari biaya yang non terkait eksergi terhadap peningkatan biaya total. Faktor termoekonomi (f_k) dapat ditulis dengan persamaan (Bejan,

$$1996) : \underline{F} = \underline{\dot{Z}_k} \underline{K}, \dot{Z}_k + c_{F,k}(\dot{E}_{D,k})$$

8. Analisis Ekonomi “Konvensional”

Dalam sebuah analisis ekonomi konvensional, balans biaya biasanya diformulasikan untuk sistem keseluruhan dengan tingkat biaya yang tertaut dengan produk dari sistem(C_p) yaitu sama dengan tingkat berbagai bahan bakar(C_b), dan berbagai tingkat biaya yang terkait dengan investasi pengeluaran total yang dilakukan untuk menghasilkan produk (tingkat biaya bahan bakar ($C_{p,tot}$, $C_{F,tot} = C_F$, capital ($\dot{Z}^{CI}$), pengoperasian dan pemeliharaan ($\dot{Z}^{OM}$) (Bejan, 1996).
 $to C_{F,tot} + \dot{Z}^{CI} + \dot{Z}$.

BAB 7

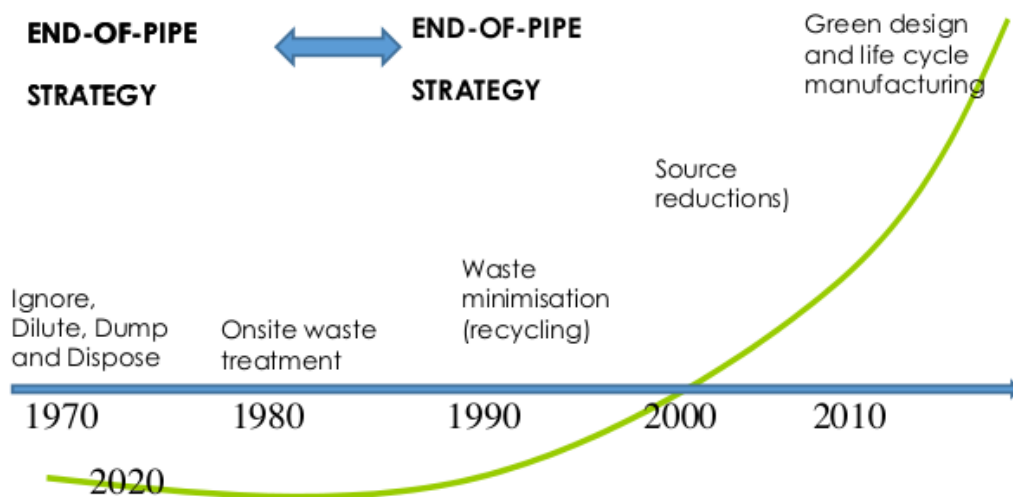
CLEAN PROCESS TECHNOLOGY

Teknologi Bersih: Strategi pengelolaan lingkungan yang bersifat preventif dan terpadu yang diterapkan secara terus menerus pada proses produksi, produk dan jasa sehingga meningkatkan eko-efisiensi dan mengurangi terjadinya resiko terhadap manusia dan lingkungan (UNEP). Pada awalnya pengelolaan lingkungan didasarkan pada pendekatan kapasitas daya dukung (*Carrying Capacity Approach*) akibat terbatasnya daya dukung alamiah untuk menetralkan pencemaran yang semakin meningkat. Upaya dalam mengatasi masalah pencemaran berubah pendekatan pengolahan limbah yang terbentuk (*End of Pipe Treatment*). Pada kenyataannya tidak memecahkan permasalahan yang ada. Dalam prakteknya pendekatan pengolahan limbah mengalami berbagai kendala.

- ✓ Rendahnya pentaatan dan penegakan hukum dan peraturan.
- ✓ Lemahnya perangkat Peraturan yang tersedia.
- ✓ Rendahnya tingkat kesadaran.
- ✓ Sifatnya reaktif atau bereaksi setelah limbah itu terbentuk.

Memerlukan biaya investasi, operasi serta pemeliharaan relatif tinggi. Hal tersebut menjadi salah satu alasan mengapa kalangan industri tidak atau belum dapat melaksanakan pengelolaan lingkungan secara optimal. Pengendalian pencemaran dengan penerapan teknologi yang umum dilaksanakan pada saat ini adalah ‘teknologi perlakuan akhir’ atau ‘*end-of-pipe treatment technology*’.

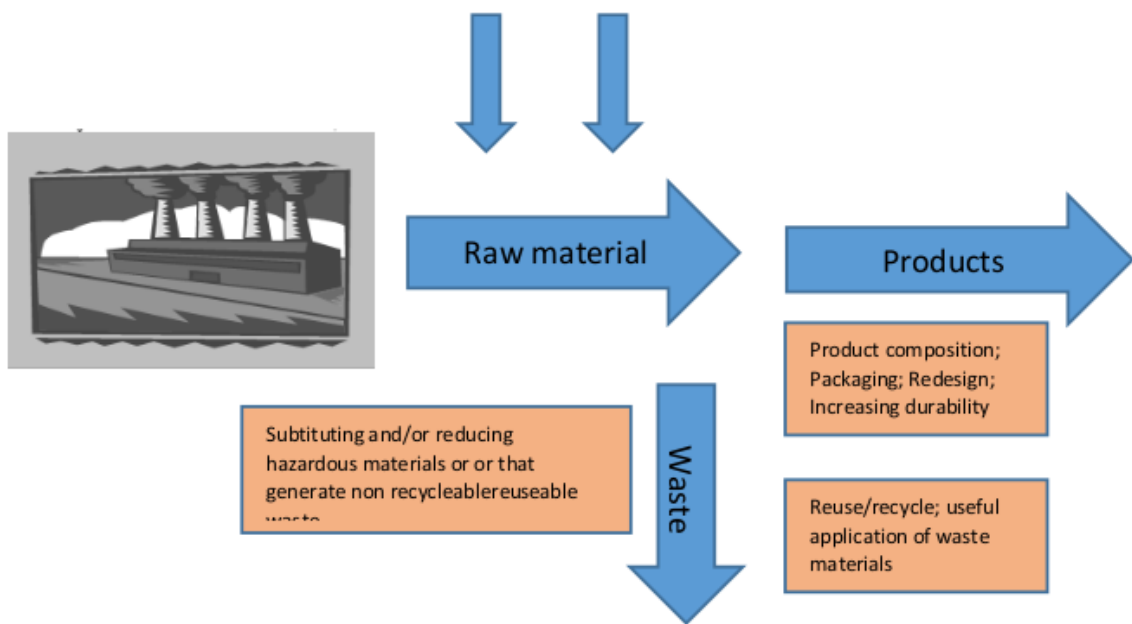
- ❖ Konsep ini merupakan konsep perintah dan pengendalian [command and control] yang hanya meninjau pembebanan pada salah satu media udara, air, atau tanah dan menyelesaikan satu masalah yang tertuju pada suatu kegiatan.
- ❖ Pemikiran yang parsial ini sering menimbulkan masalah, karena penanganan hanya berdasarkan pada pengelolaan yang paling mudah.



Hal positif dari pengembangan konsep ‘*end-of-pipe treatment technology*’ adalah memacu pertumbuhan konsultan teknik dan pembuat peralatan yang berkaitan dengan unit pengolahan baik limbah fasa gas atau limbah cair. Kondisi ini jarang didukung oleh kemampuan analisis yang memadai dari konsultan untuk menyelesaikan masalah pada kegagalan operasi, karena seringkali konsultan teknik ini hanya sebagai penjual teknologi atau peralatan saja. Sebagai akibatnya, sasaran pengelolaan lingkungan dengan pengendalian pencemaran ini tidak dapat dicapai secara menyeluruh. Penyebab lainnya adalah kegagalan sistem cost accounting yang

belum dapat menilai biaya kerugian lingkungan sehingga pengusaha, pemilik, dan pengelola industri berpendapat bahwa biaya pembangunan dan pelaksanaan suatu pengolahan limbah adalah biaya tambahan (*externalcost*).

Konsep ini memiliki *hierarchy* di mana *recycle* harus dilakukan langsung (*in-pipe recycle*). Jadi penyelesaian masalah lingkungan ditekankan pada sumber pencemaran bukan pada akhir proses seperti pada *end-of-pipe treatment technology*. Konsep ini meliputi pemanfaatan sumber alam secara efisien yang bermakna pula bagi penyusutan limbah yang dihasilkan, pencemaran, dan penyusutan risiko bagi kesehatan dan keselamatan manusia. Kegiatan yang mahal atau teknologi canggih tidak dibutuhkan dalam konsep ini tetapi sering kali menghasilkan penghematan yang potensial sehingga meningkatkan daya saing dipasar. Namun konsep ini membutuhkan perubahan sikap, pengelolaan lingkungan yang bertanggung-jawab dan penilaian pilihan teknologi. Produksi bersih yang sederhana untuk diterapkan adalah *good house keeping*.



Substitusi Bahan Baku dan Bahan Pembantu :

- ☐ Mengganti bahan baku yang mengandung bahan berbahaya dengan bahan yang tidak atau lebih sedikit mengandung bahan berbahaya dan beracun (B-3).
- ☐ Mengganti bahan pelarut dan bahan pembersih yang mengandung bahan berbahaya.

BAB 8

STRATEGI DESAIN PROSES KIMIA DAN INTEGRASINYA

8.1 Strategi Proses

Sasaran jangka panjang perusahaan secara garis besar dapat dilihat dalam rumusan visi, dan upaya untuk mencapai visi dijabarkan dalam misi suatu perusahaan. Namun implementasi dari visi dan misi tersebut memerlukan rumusan strategi agar dapat tercapai secara optimal. Sasaran yang berkaitan dengan kepuasan pelanggan, berkaitan dengan kualitas produk dan layanan perusahaan.

Ada beberapa ilmuwan yang telah mendefinisikan mengenai strategi proses. Strategi proses (*process strategy*) atau strategi informasi adalah sebuah pendekatan organisasi untuk mengubah sumber daya yang tersedia menjadi barang dan jasa (Heizer dan Render, 2009). Strategi proses disebut juga strategi transformasi dengan tujuan untuk menemukan suatu cara memproduksi barang dan jasa yang memenuhi persyaratan pelanggan dan spesifikasi produk yang ada di dalam batasan biaya dan batasan manajerial lainnya (Haming dan Nurnajamuddin, 2011).

Strategi proses menunjukkan ciri-ciri dan sifat-sifat pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam pembuatan barang atau jasa. Strategi proses menunjukkan jumlah dan jenis kegiatan yang akan dilaksanakan termasuk cara pelaksanaan masing-masing. Tingkat mutu dan unsur mutu yang diutamakan dalam persaingan harus disesuaikan dengan rancangan tata letak pusat-pusat kerja yang digunakan dalam pembuatan barang (Pardede, 2007).

Dari berbagai pendapat yang telah dikemukakan, disimpulkan bahwa strategi proses merupakan strategi yang digunakan perusahaan untuk merubah sumber daya menjadi barang dan jasa dengan memanfaatkan faktor-faktor yang tersedia seperti tenaga kerja, mesin, bahan baku, dan dana untuk kebutuhan manusia. Strategi proses yang diterapkan perusahaan akan memengaruhi desain proses untuk memanfaatkan sarana pengolahan suatu produk.

1. Jenis-jenis Desain Proses

Berkaitan pemanfaatan sarana pengolahan untuk memproses aktivitas pengolahan produk yang saat ini serta produk baru hasil pengembangan produk, strategi proses penting diperhatikan. Dilihat dari sudut strategis, desain mendefinisikan pelanggan sasaran perusahaan serta perusahaan pesaing. Untuk memperoleh desain yang baik, desain harus memaksimalkan kompetensi intiperusahaan. Menurut Heizer dan Render (2008) serta Jacobs, Chase, dan Aquilano (2007) dalam Haming dan Nurnajamuddin (2011), desain proses dikategorikan menjadi empat jenis fokus, yaitu fokus pada proses, fokus berulang, fokus pada produk, dan fokus pada kustomisasi masal.

a. Fokus pada Proses

Kategori desain pertama adalah fokus pada proses. Proses pengerjaan yang berfokus pada proses merupakan suatu jenis manufaktur di mana kedua aspek, peralatan produksi dan tanggung jawab staf manajemen dijelaskan proses produksi. Produk yang dihasilkan banyak ragam, tetapi volumenya kecil. Aktivitas pabrik dan pergerakan material sangat ketat koordinasinya dari staf pengolahan (pabrikasi). Jenis organisasi ini sangat baik bagi perusahaan yang orientasinya dominan kepada teknologi atau bahan tertentu, dan pabrik menjalankan proses

yang rumit dan padat modal. Perusahaan yang berfokus pada proses biasanya menjalankan kegiatan di tempat pengerjaan yang bernama *job shop* (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Berdasarkan definisi tersebut, disimpulkan bahwa tipe fokus pada proses memproduksi produk yang banyak ragam, tetapi volumenya kecil. Fokus pada proses dapat diterapkan pada usaha bengkel, perakitan komputer, rumah sakit, dan restoran.

b. Fokus pada Produksi Berulang

Kategori desain kedua adalah fokus pada produksi berulang. Fokus pada produksi berulang merupakan metode produksi berulang dari produk tertentu yang sama atau keluarga produk. Metodologi produksi berulang mengurangi penyetelan, persediaan, dan *lead time* pengolahan menggunakan lini produksi, lini perakitan atau sel kerja (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Ketika pelanggan membutuhkan barang atau jasa lebih terstandarisasi dalam jumlah lebih besar, perusahaan menggunakan pemrosesan berulang. Hasil terstandarisasi berarti perusahaan memerlukan peralatan sedikit fleksibel. Keterampilan tenaga kerja biasanya rendah (Stevenson dan Chuong, 2014). Berdasarkan definisi tersebut, disimpulkan bahwa fokus pada produksi berulang merupakan metode produksi berulang dari produk tertentu yang sama atau keluarga produk. Tipe fokus pada produksi berulang dapat diterapkan pada usaha perakitan mobil, perakitan alat-alat berat, dan perakitan sepeda motor.

c. Fokus pada Produk.

Kategori desain ketiga adalah fokus pada produk. Fokus pada produk

adalah suatu jenis organisasi manufaktur di mana kedua hal, mesin-mesin atau peralatan produksi dan tanggung jawab staf digambarkan oleh produk, lini produk atau segmen pasar. Produksi dengan metode fokus pada produk merupakan suatu jenis operasi produksi yang dirancang untuk memproses produk yang mempunyai keseragaman tinggi dan memiliki perbedaan terbatas. Produk biasanya diproduksi untuk membentuk sediaan; level produksi cenderung lebih besar dari tingkat permintaan (Haming dan Nurnajamuddin, 2011).

Berdasarkan definisi tersebut, disimpulkan bahwa produksi dengan metode berfokus pada produk merupakan suatu jenis operasi produksi yang dirancang untuk memproses produk yang mempunyai keseragaman tinggi dan hanya memiliki perbedaan terbatas. Tipe fokus pada produk dapat diterapkan pada industri semen, industri kimia, dan pabrik gula.

d. Fokus pada Kustomisasi

Kategori desain keempat adalah fokus pada kustomisasi. Kustomisasi masal, kreasi produk bervolume tinggi dengan keragaman besar sehingga pelanggan mungkin menentukan suatu model yang pasti dari produk akhir bervolume besar dengan biaya pabrikasi rendah karena didukung volume keluaran yang besar. Kustomisasi masal mencirikan usaha menghasilkan produk sesuai dengan pesanan pelanggan (*make to order*) seperti yang dicirikan oleh fokus pada proses. Namun pada saat yang sama, fokus kustomisasi masal memperlihatkan karakteristik fokus produk yang menghasilkan keluaran dengan biaya murah melalui produksi masal. Oleh karena fokus pada kustomisasi masal mencirikan kedua fokus sebelumnya, yaitu produk unik dan

murah, fokus kostumisasi masal menjadi sangat rumit (Haming dan Nurnajamuddin, 2011).

Berdasarkan definisi tersebut, disimpulkan bahwa kustomisasi masal mencirikan usaha menghasilkan produk sesuai pesanan pelanggan. Fokus kustomisasi masal dipandang cukup rumit. Fokus kustomisasi masal dibangun oleh tiga fokus lainnya, yaitu fokus pada proses, fokus pada produksi berulang, dan fokus padaproduk. Berdasarkan jenis-jenis desain proses di atas, disimpulkan bahwa untuk setiap proses produksi dapat diterapkan salah satu dari empat jenis proses. Hal ini tergantung jenis produk dan jumlah produk yang akan dihasilkan suatu perusahaan. Terdapat berbagai perangkat untuk mempermudah dalam mengimplementasikan desain proses dan perancangan ulang proses. Perangkat-perangkat tersebut dinamakan analisis desain proses. Analisis Desain Proses Sejumlah perangkat dapat membantu memahami kompleksitas dalam mengimplementasikan desain proses dan perancangan ulang proses. Perangkat-perangkat tersebut merupakan cara sederhana untuk memahami apa yang terjadi atau apa yang harus terjadi dalam proses.

Menurut Heizer dan Render (2009), ada lima perangkat yang dapat digunakan dalam aliran dan desain proses yaitu diagramalir, pemetaan fungsi waktu, pemetaan aliran nilai, diagram proses, dan perencanaan pelayanan.

A. Diagram Alir

Perangkat pertama untuk analisis desain proses adalah diagram alir (*flow diagram*). Diagram alir bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam proses produksi. Diagram alir

merupakan suatu skema atau gambaran dari perpindahan bahan, produk, atau orang. Diagram ini membantu dalam pemahaman, analisis, dan komunikasi sebuah proses (Heizer dan Render, 2009). Ada lima elemen yang mungkin dirubah dalam peta aliran proses seperti bahan baku, rancangan kerja, tahapan proses yang digunakan, informasi pengendalian manajemen dan peralatan yang digunakan (Sofyan, 1993). Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa diagram alir adalah gambaran dari perpindahan bahan, produk, atau orang. Diagram alir dapat meningkatkan efisiensi dalam proses produksi.

B. Pemetaan Fungsi Waktu

Perangkat kedua untuk analisis dan desain proses adalah diagram alir, tetapi dengan ditambahkan waktu pada sumbu horizontalnya. Diagram ini disebut sebagai pemetaan fungsi waktu atau pemetaan proses. Dengan pemetaan fungsi waktu, titik-titik mengindikasikan aktivitas dan panah-panah mengindikasikan arah aliran dengan waktu pada sumbu horizontal. Jenis analisis ini memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan dalam hal langkah tambahan, pengulangan, dan keterlambatan yang tidak perlu (Heizer dan Render, 2009). Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa pemetaan fungsi waktu dapat digunakan untuk menghilangkan pemborosan waktu dalam proses produksi.

C. Pemetaan Aliran Nilai

Perangkat ketiga yang digunakan adalah pemetaan aliran nilai.

Pemetaan aliran nilai merupakan satu variasi dari pemetaan aliran nilai (*value stream mapping*, VSM). Pemetaan aliran nilai mengambil bentuk yang lebih lebar di mana nilai ditambahkan (dan tidak ditambahkan) pada keseluruhan proses produksi, termasuk rantai pasokan. Seperti pemetaan fungsi waktu, idenya adalah memulai dari pelanggan dan memahami proses produksi. Namun pemetaan aliran nilai mengembangkan analisis ini kembali ke pemasok (Heizer dan Render, 2009).

Berdasarkan penjelasan tersebut, disimpulkan bahwa pemetaan aliran nilai merupakan diagram dengan penambahan nilai pada proses produksi dan mengembangkan kembali kepada pemasok.

D. Diagram Proses

Perangkat keempat yang digunakan adalah diagram proses (*process charts*). Diagram proses pada dasarnya merupakan sebuah bagan yang merepresentasikan urutan dari rangkaian pekerjaan atau ihwal kejadian yang berlangsung dalam proses (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Diagram proses menggunakan simbol, waktu, dan jarak untuk mendapatkan cara yang objektif dan terstruktur untuk menganalisis dan mencatat berbagai aktivitas yang membentuk sebuah proses. Diagram ini memusatkan perhatian pada aktivitas penambahan nilai (Heizer dan Render, 2009). Berdasarkan penjelasan tersebut, disimpulkan bahwa diagram proses menggambarkan urutan pekerjaan dalam proses produksi. Diagram proses menjadi dasar untuk penganalisaan dan menjadi suatu umpan awal perbaikan tata cara kerja yang harus dilakukan.

E. Perencanaan Pelayanan

Perangkat kelima yang digunakan adalah perencanaan pelayanan. Dalam

usaha memberikan pelayanan memuaskan kepada pelanggan, maka sebagai penyedia jasa layanan perlu membuat cetak biru dari layanan yang dimaksud. Dalam cetakbiru, selain mengemukakan kegiatan yang dilaksanakan, juga diperlihatkan standar waktu layanan serta waktu paling lama yang ditoleransi dalam usaha memuaskan pelanggan. Perencanaan pelayanan (*service blue printing*) merupakan teknik analisis proses yang memusatkan perhatian kepada pelanggan dan interaksi penyedia layanan dengan pelanggan (Heizer dan Render, 2009).

Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa perencanaan pelayanan berfokus pada pelanggan. Manajer berusaha memberikan pelayanan paling memuaskan kepada pelanggan. Dengan demikian pelanggan merasa puas dan loyal. Berdasarkan lima perangkat yang dapat digunakan dalam aliran dan desain proses yang telah didefinisikan, salah satu perangkat yang paling sesuai untuk menghilangkan pemborosan waktu pada proses produksi adalah pemetaan fungsi waktu.

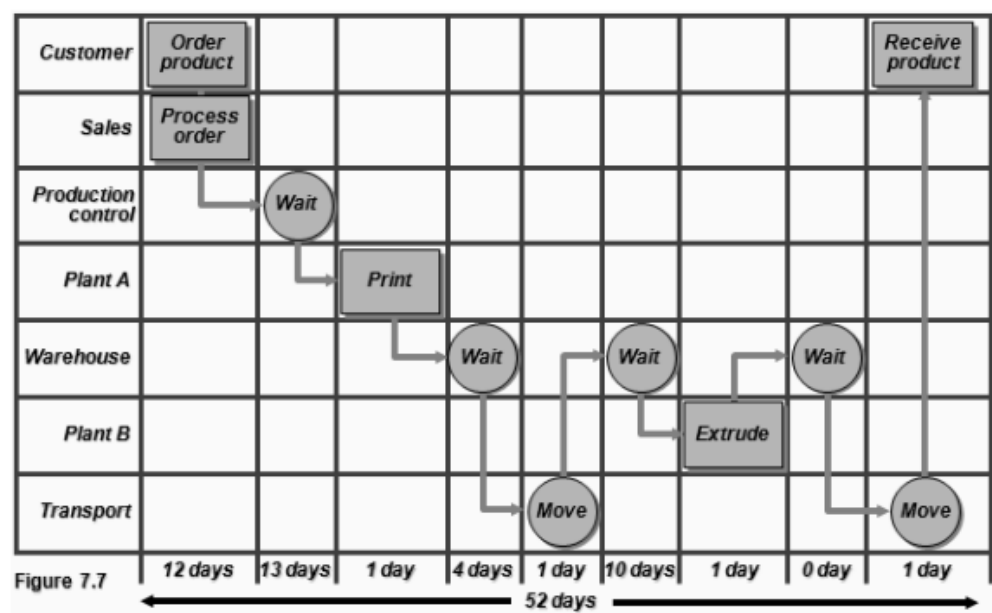
F. Pemetaan Fungsi Waktu

Salah satu analisis desain proses yang digunakan untuk meminimalisir pemborosan waktu pada proses produksi adalah pemetaan fungsi waktu. Pemetaan fungsi waktu menggambarkan langkah-langkah proses yang akan dialami bahan baku mengenai urutan proses produksi. Menurut Heizer dan Render (2009), pemetaan fungsi waktu dapat digunakan untuk membantu meminimalisir kompleksitas suatu proses produksi. Sebelum membuat diagram fungsi waktu, terlebih dahulu harus membuat diagram alir yang merupakan gambaran dari perpindahan bahan, produk, atau orang. Setelah membuat diagram alir, maka membuat diagram pemetaan fungsi waktu dengan menambahkan waktu pada sumbu

horizontal.

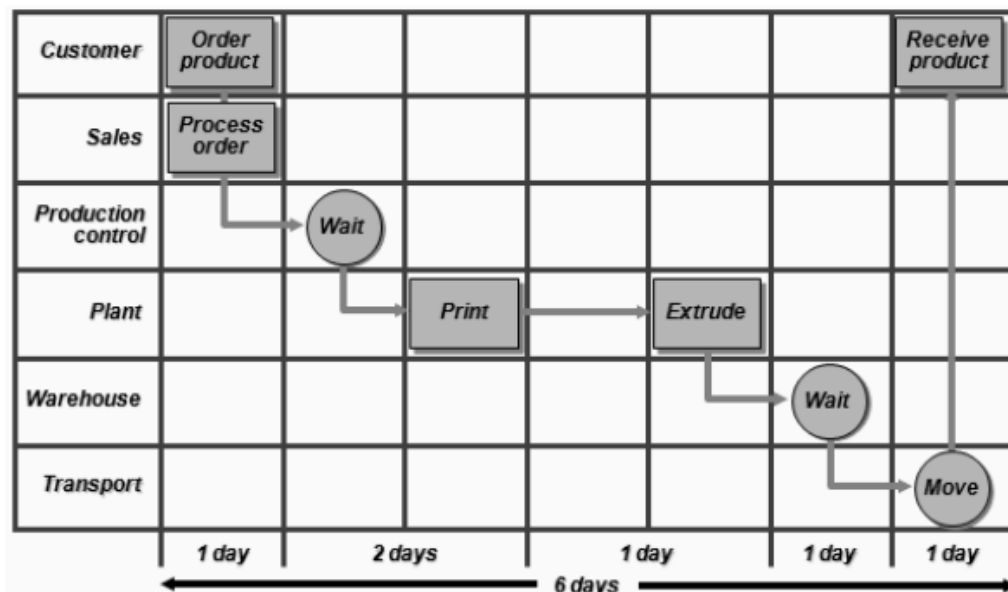
Diagram pemetaan fungsi waktu, pada titik-titiknya mengindikasikan aktivitas, sedangkan pada panah-panahnya mengindikasikan arah aliran dengan waktu pada sumbu horizontal. Jenis analisis ini memungkinkan pengguna untuk mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan dalam hal langkah tambahan, pengulangan, dan keterlambatan yang tidak perlu. Dalam pemetaan fungsi waktu, dihitung pula berapa lama waktu yang diperlukan dalam proses dari bahan baku hingga menjadi produk jadi.

Diagram pemetaan fungsi waktu terdiri dari dua diagram. Pertama, pemetaan fungsi waktu dasar, merupakan proses dan waktu yang dilakukan dalam produksi sebelum dilakukan penghematan waktu. Kedua, pemetaan fungsi waktu target, merupakan proses dan waktu yang dilakukan dalam proses produksi setelah dilakukan penghematan waktu. Diagram-diagram tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1 dan gambar 2.2.



Gambar 2.1: Peta Fungsi Waktu Dasar (*Baseline Time-Function Map*)

Sumber: Heizer dan Render (2009)



Gambar 2.2: Peta Fungsi Waktu Target (*Target Time-Function Map*)

Sumber: Heizer dan Render (2009)

Berdasarkan pemetaan fungsi waktu target, dapat diketahui penghematan proses maupun penghematan waktu dalam proses produksi perusahaan. Dengan demikian proses produksi dapat berlangsung lebih efisien. Strategi proses mengacu pada memutuskan cara mengukur produksi barang atau jasa. Strategi proses berdampak besar pada perencanaan kapasitas, tata letak fasilitas, peralatan, serta desain sistem kerja (Stevenson dan Chuong, 2014). Proses produksi, desain produk yang bagus, serta peralatan produksi yang canggih memiliki manfaat optimum jika perencanaan tata letak fasilitas pabrik dilakukan secara benar (Yamit, 2002).

1. Tata Letak

1.a. Pengertian Tata Letak

Suatu perusahaan yang telah menentukan lokasi usaha dan

berbagai fasilitas produksi yang diperlukan, selanjutnya perlu mengatur penempatan fasilitas usaha pada lokasi dimana perusahaan akan beroperasi. Penataan ini diperlukan agar proses produksi berjalan maksimal. Penataan fasilitas produksi inilah yang disebut tata letak (*layout*). Tata letak perusahaan sebagai tempat dilaksanakannya proses produksi barang ataupun jasa perlu diperhatikan secara matang karena fasilitas fisik yang ada di dalamnya cukup banyak dan saling berhubungan. Ketika suatu perusahaan didirikan, modal yang dikeluarkan tidaklah sedikit. Sehingga apabila terjadi kesalahan penataan letak, perusahaan akan mengalami kerugian.

Ada beberapa definisi tata letak (*layout*) yang dikemukakan para ilmuwan. *Layout* menurut Taylor (2000) dalam Joko (2004), bukan saja kegiatan untuk menentukan tata letak dari peralatan atau mesin yang diperlukan dalam proses produksi, tetapi tata letak dari seluruh fasilitas yang dimiliki oleh perusahaan, yang meliputi penetapan lokasi setiap departemen, letak mesin-mesin (stasiun kerja), letak gudang, lorong (koridor) dan seluruh lingkungan kerja baik yang sekarang digunakan atau yang akan diusulkan.

Perancangan tata letak didefinisikan sebagai perancangan tata letak pabrik sebagai perencanaan dan integrasi aliran komponen-komponen produk untuk mendapatkan interelasi paling efisien antar operator, peralatan, dan proses transformasi material dari bagian penerimaan sampai ke bagian pengiriman produk (Apple, 1972) dalam penelitian Firman, dkk. (2012). Dari berbagai pendapat yang telah dikemukakan, disimpulkan bahwa tata letak adalah suatu cara pengaturan fasilitas-fasilitas perusahaan dengan mengoptimalkan luas area yang tersedia dan mengintegrasikan aliran komponen produk

untuk memperoleh interaksi paling efisien guna menunjang proses produksi.

1.b. Tujuan Tata Letak

Aktivitas produksi perusahaan secara umum berlangsung lama dengan tata letak yang selalu berubah. Hal ini berdampak pada setiap kesalahan yang dibuat dalam perencanaan tata letak menyebabkan kerugian. Sehingga tujuan tata letak perusahaan pada dasarnya adalah untuk meminimalkan waktu dan biaya. Ada beberapa pendapat mengenai tujuan tata letak. Menurut Stevenson dan Chuong (2014), tujuan tata letak adalah mempermudah pencapaian mutu produk atau jasa, menggunakan tenaga kerja dan ruang secara efisien, menghindari kemacetan, memperkecil biaya penanganan bahan baku, menghapus pergerakan tenaga kerja atau bahan baku yang tidak diperlukan, memperkecil waktu produksi atau waktu pelayanan, dan mendesain untuk keselamatan.

Menurut Russel dan Taylor (2000), Case et al. (2001), dan Dervitsiotis (1981), dalam Haming dan Nurnajamuddin (2011), mengemukakan tujuan tata letak adalah meminimumkan *material handling cost*, meningkatkan efisiensi utilisasi ruangan dan tenaga kerja pabrik, mengurangi kendala proses, dan memudahkan komunikasi dan interaksi antara para pekerja, pekerja dengan supervisi, dan atau antara pekerja dengan para pelanggan.

Pendapat terakhir menurut Haming dan Nurnajamuddin (2011). Secara umum tujuan perencanaan tata letak adalah untuk mendapatkan susunan tata letak paling optimal dari fasilitas-fasilitas produksi perusahaan. Dengan tata letak yang optimal, diharapkan pelaksanaan

proses produksi perusahaan berjalan lancar dan para karyawan dapat menyelesaikan tugas dengan baik. Berdasarkan pendapat-pendapat tersebut, disimpulkan bahwa tujuan perencanaan tata letak yang baik adalah untuk memperlancar proses produksi perusahaan. Dengan demikian waktu dan biaya yang diperlukan dalam melaksanakan proses produksi dapat diminimalisir.

1.c. Jenis-jenis Tata Letak

Keputusan mengenai tata letak meliputi penempatan mesin pada tempat terbaik, kantor dan meja-meja atau pusat pelayanan. Sebuah tata letak yang efektif memfasilitasi terjadinya aliran bahan, manusia, dan informasi dalam suatu departemen dan antar departemen. Menurut Heizer dan Render (2009), ada tujuh jenis tata letak, yaitu tata letak kantor, tata letak toko eceran, tata letak gudang dan penyimpanan, tata letak dengan posisi tetap, tata letak berorientasi proses, sel kerja, dan tata letak berulang dan berorientasi produk.

1.d. Tata Letak Kantor

Jenis tata letak pertama adalah tata letak kantor. Saat ini tata letak kantor mengalami transformasi ketika aliran pekerjaan tulis-menulis diganti peralatan elektronik. Terdapat sedikit kebutuhan untuk menempatkan tenaga kerja kantor dalam tata letak yang mengoptimalkan peralihan fisik dari informasi ataupun pekerjaan tulis-menulis. Tata letak kantor adalah cara mengelompokkan pekerja, perlengkapan, dan ruang dengan mempertimbangkan kenyamanan, keamanan, dan pergerakan informasi. Tata letak kantor mengalami perubahan akibat perubahan teknologi yang berlangsung di

masyarakat. Perangkat yang bermanfaat untuk menganalisis tata letak kantor adalah diagram hubungan (*relationship diagram*) (Heizer dan Render, 2009).

Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa tata letak kantor mengelompokkan berbagai elemen kantor. Penerapan tata letak kantor disesuaikan dengan bidang usaha yang dijalankan serta peralatan elektronik yang digunakan.

1.e. Tata Letak Toko Eceran

Jenis tata letak kedua adalah tata letak toko eceran. Manajer harus mempertimbangkan keberadaan pelanggan serta kesempatan untuk memengaruhi volume penjualan dan sikap pelanggan melalui tata letak yang diterapkan. Tata letak toko eceran didasarkan ide bahwa penjualan dan keuntungan bergantung pada produk yang menarik perhatian pelanggan. Sehingga manajer operasi toko eceran mencoba memperlihatkan produk-produk mereka kepada pelanggan sebanyak mungkin (Heizer dan Render, 2009). Manajer mempunyai dua variabel fundamental yang dapat dimanipulasi untuk menarik pelanggan, yaitu susunan keseluruhan dari toko dan alokasi ruangan terhadap produk- produk yang berbeda dalam susunan itu (Ma'arif dan Tanjung, 2013).

Berdasarkan penjelasan tersebut, disimpulkan bahwa keuntungan tata letak toko eceran yang baik adalah kemampuan menghemat waktu dan uang menggunakan satu tata letak. Keuntungan lainnya adalah menghindari konsumen yang bingung dalam memilih produk yang akan dibeli.

1.f. Tata Letak Gudang dan Penyimpanan

Jenis tata letak ketiga adalah tata letak gudang dan penyimpanan. Desain fasilitas penyimpanan berbeda dari desain tata letak pabrik. Frekuensi pesanan menjadi pertimbangan penting, objek yang sering dipesan ditempatkan di dekat pintumasuk. Tujuan tata letak gudang adalah menemukan titik optimal diantara biaya penanganan bahan dan biaya-biaya yang berkaitan dengan luas ruangan dalam gudang. Manajemen bertugas memaksimalkan penggunaan setiap “kotak” dalam gudang, yaitu memanfaatkan volume penuhnya sambil menjaga agar biaya penanganan bahan tetap rendah (Heizer dan Render,2009). Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa tata letak pergudangan yang efektif dapat meminimalisir biaya penanganan bahan.

1.g. Tata Letak dengan Posisi Tetap

Jenis tata letak keempat adalah tata letak dengan posisi tetap. Bentuk tata letak pada proyek seperti ini, produk yang dihasilkan terlalu susah untuk dipindahkan. Tata letak dengan posisi tetap, proyek tetap berada dalam satu tempat, sementara para pekerja dan peralatan datang ke tempat tersebut. Karena permasalahan pada tata letak dengan posisi tetap sulit dipecahkan di lokasi, alternatif yang ada adalah melengkapi proyek sedapat mungkin di luar lokasi (Heizer dan Render, 2009). Mesin-mesin, peralatan-peralatan, atau pusat-pusat kerja tidak disusun menurut urutan pekerjaan yang akan dilaksanakan. Letak barang jadi setelah selesai dibuat dan siap digunakan penting direncanakan. Dalam kegiatan operasi dan produksi seperti ini, barang yang dibuat umumnya hanya satu satuan. Tata letak ini dianggap

khusus karena digunakan hanya untuk jenis barang tertentu (Pardede, 2007).

Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa tata letak dengan posisi tetap, suatu proyek tetap berada di satu tempat, sementara para pekerja dan peralatan datang ke tempat tersebut. Tata letak ini diterapkan pada pembuatan jembatan.

1.h. Tata Letak Berorientasi Proses

Jenis tata letak kelima adalah tata letak berorientasi proses. Fokus utama dalam tata letak ini adalah bagaimana meminimalkan biaya *matrial handling*. Tata letak berorientasi proses menangani beragam barang atau jasa secara bersamaan. Hal ini merupakan cara tradisional untuk mendukung strategi diferensiasi produk. Tata letak ini paling efisien disaat menangani pelanggan, pasien, atau klien dengan kebutuhan berbeda (Heizer dan Render, 2009). Mesin-mesin dan peralatan-peralatan, tenaga kerja, atau pusat-pusat kerja disusun sedemikian rupa di mana mesin- mesin untuk melaksanakan pekerjaan sejenis dikumpulkan bersama dalam satu tempat. Kegiatan pengolahan yang dilakukan adalah terputus-putus. Bahan-bahan yang sudah melalui satu jenis pekerjaan tertentu dapat disimpan sebagai persediaan sebelum diteruskan ke jenis kegiatan pekerjaan selanjutnya (Pardede, 2007).

Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa tata letak berorientasi proses dapat menangani beragam barang atau jasa secara bersamaan. Mesin-mesin dan para tenaga kerja disusun dengan posisi paling tepat, sehingga proses produksi menjadi lancar.

1.i. Sel Kerja

Jenis tata letak keenam adalah sel kerja. Pengaturan sel kerja digunakan saat volume memerlukan pengaturan khusus mesin dan peralatan. Sel kerja mengelompokkan ulang tenaga kerja dan mesin yang tersebar pada departemen beragam sehingga dapat memusatkan perhatian dalam membuat satu produk atau sekumpulan produk saling berkaitan. Pengaturan sel kerja digunakan saat volume produksi mengharuskan adanya pengaturan khusus pada mesin-mesin dan peralatan (Heizer dan Render, 2009). Pengelompokan ditentukan berdasarkan operasi yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan serangkaian objek serupa. Pada dasarnya, sel-sel ini menjadi versi kecil dari tata letak produk. Sel-sel ini bisa memiliki gerakan bagian yang dapat dibawa antarmesin, atau bisa memiliki garis alur yang dihubungkan dengan alat pembawa barang. Dengan demikian, semua bagian mengikuti rute yang sama (Stevenson dan Chuong, 2014).

Berdasarkan penjelasan di atas disimpulkan bahwa sel kerja mengelompokkan ulang tenaga kerja dan mesin sehingga kegiatan proses produksi lebih fokus.

1.j. Tata Letak Berulang dan Berorientasi Produk (Tata Letak Gabungan)

Jenis tata letak ketujuh adalah tata letak gabungan. Tata letak seperti ini merupakan gabungan dari tata letak menurut barang dengan tata letak menurut pekerjaan. Tata letak gabungan, sebagian ciri-ciri tata letak menurut pekerjaan dapat ditemukan dalam kegiatan operasi dan produksi yang bersangkutan. Perlu diperhatikan bahwa tata letak pusat-pusat kerja disebut tata letak gabungan hanya jika dua jenis tata

letak yang berbeda dibutuhkan untuk membuat satu satuan barang (Pardede, 2007).

Tata letak berorientasi produk diorganisasikan di sekeliling produk atau kelompok produk yang sama yang bervolume tinggi dan bervariasi rendah. Terdapat dua jenis tata letak yang berorientasi produk, yaitu lini fabrikasi dan perakitan (Heizer dan Render, 2009). Berdasarkan penjelasan di atas, disimpulkan bahwa tata letak gabungan terjadi ketika dua jenis tata letak yang berbeda dibutuhkan untuk memproduksi suatu barang.

2. Penyebab Dilakukan Perbaikan Tata Letak

Perencanaan tata letak dan modifikasi tata letak selalu diperlukan perusahaan. Perencanaan dan modifikasi tata letak dilakukan dengan melihat berbagai faktor-faktor yang terjadi pada suatu perusahaan. Menurut Haming dan Nurnajamuddin (2011), kebutuhan modifikasi tata letak disebabkan berbagai faktor, yaitu terjadi perubahan desain produk terus-menerus, perubahan volume permintaan, kemungkinan penggantian fasilitas agar selalu baru, penambahan produk baru, kondisi lingkungan kerja yang tidak memuaskan, risiko kecelakaan kerja dalam proses produksi, kebutuhan akan penghematan biaya, dan mendukung pergeseran/perluasan lokasi pasar produk perusahaan.

3. Terjadinya Perubahan Desain Produk secara Terus-Menerus

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak pertama adalah terjadinya perubahan desain produk secara terus menerus. Perubahan desain produk secara terus-menerus untuk membuat produk baru

mengakibatkan terdapatnya perencanaan tata letak yang baru bagi perusahaan. Perubahan desain produk mengakibatkan perubahan pelaksanaan proses produksi di perusahaan yang bersangkutan (Haming dan Nurnajamuddin, 2011).

Berdasarkan penjelasan di atas disimpulkan bahwa perubahan desain mengakibatkan perubahan tata letak dalam proses produksi.

4. Adanya Perubahan Volume Permintaan

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak yang kedua adalah adanya perubahan volume permintaan. Terjadinya perubahan volume permintaan terhadap produk yang dihasilkan perusahaan berdampak terhadap volume produksi. Perubahan harus dilakukan penyesuaian agar volume produksi selalu sama dengan, atau mampu menjawab volume permintaan yang ada. Perubahan volume aktivitas berdampak pada tata letak yang ada dan diterapkan perusahaan pada saat ini (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Berdasarkan penjelasan di atas disimpulkan bahwa adanya volume permintaan berdampak pada tata letak yang ada dan volume produksi pada suatu perusahaan.

5. Kemungkinan Penggantian Fasilitas agar Selalu Baru

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak yang ketiga adalah kemungkinan penggantian fasilitas agar selalu baru. Secara teknis, peralatan dan mesin akan mengalami keusangan akibat seringnya penggunaan. Seiring perkembangan teknologi dan kemunduran kemampuan alat secara teknis akibat penggunaan, maka beberapa periode waktu kemudian, mesin dan peralatan produksi yang ada harus diganti (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Berdasarkan

penjelasan di atas disimpulkan bahwa perkembangan teknologi memengaruhi tata letak, kerana perusahaan harus mempunyai rancangan dalam memperbarui peralatan produksi di masa akan datang.

6. Adanya Penambahan Produk Baru

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak yang keempat adalah adanya penambahan produk baru. Penambahan produk baru serta pengembangan produk yang sudah ada akan menjadi kegiatan yang selalu ada dalam perusahaan. Perubahan mendasar dalam pelaksanaan produksi harus diikuti perubahan-perubahan tata letak pabrik. Perubahan untuk menyesuaikan tata letak dengan proses produksi perlu dilakukan untuk menjamin arus pengerjaan produk di dalam pabrik benar-benar dapat dipertahankan pada tingkat paling optimal (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Berdasarkan penjelasan di atas disimpulkan bahwa adanya penambahan produk baru menyebabkan perubahan tata letak, karena perlu adanya penyesuaian antara tata letak dengan proses produksi yang akan dilaksanakan.

7. Adanya Kondisi Lingkungan Kerja Tidak Memuaskan

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak yang kelima adalah adanya kondisi lingkungan kerja tidak memuaskan. Kondisi lingkungan perusahaan sangat memengaruhi tingkat produktivitas para karyawan. Keluhan para karyawan digunakan sebagai bahan penyusunan perbaikan kondisi lingkungan kerja. Untuk melaksanakan perbaikan kondisi lingkungan kerja, manajemen perlu menyusun perencanaan tata letak pabrik yang cocok dengan berbagai hal yang

dibutuhkan oleh pelaksanaan pekerjaan yang dibebankan kepada karyawan (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Berdasarkan penjelasan di atas disimpulkan bahwa kondisi lingkungan kerja yang tidak memuaskan menyebabkan perbaikan tata letak. Usulan perbaikan didasari dari keluhan para karyawan.

8. Risiko Kecelakaan Kerja dalam Proses Produksi

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak yang keenam adalah risiko kecelakaan kerja dalam proses produksi. Kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja dicegah sejak awal. Hal ini menyangkut keselamatan parakaryawan. Cara meminimalisir kecelakaan kerja dilakukan dengan menyesuaikan tata letak mesin dan peralatan produksi sehingga dicapai derajat kesesuaian tinggi dengan kebutuhan kerja. Dengan demikian penyusunan tata letak pabrik, peletakan, penataan mesin, dan peralatan produksi harus menciptakan lingkungan kerja yang aman kepada para karyawan (Haming dan Nurnajamuddin, 2011).

Berdasarkan penjelasan tersebut disimpulkan bahwa untuk mencegah risiko kecelakaan kerja dalam proses produksi, tata letak mesin perlu disesuaikan dengan kebutuhan kerja.

A. Kebutuhan Akan Penghematan Biaya

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak ketujuh adalah kebutuhan penghematan biaya. Manajemen dan tenaga perekayasa perusahaan harus mampu melakukan perencanaan tata letak yang tepat agar biaya yang dikeluarkan tidak terlalu berat. Tata letak yang dipilih diharapkan mampu menjamin produktivitas dan efisiensi pada

perusahaan. Tata letak yang baik menghindarkan perusahaan dari kegiatan-kegiatan yang tidak berguna, sehingga menghemat waktu, tenaga dan dana, sekaligus menjamin kelancaran arus proses produksi (Haming dan Nurnajamuddin,2011). Berdasarkan penjelasan tersebut disimpulkan bahwa kebutuhan penghematan biaya dapat memengaruhi tata letak. Penyusunan tata letak yang tepat dapat meminimalisir biaya yang dikeluarkan perusahaan.

B. Mendukung Perluasan Lokasi Pasar Produk Perusahaan

Penyebab dilakukan perbaikan tata letak kedelapan adalah mendukung pergeseran/perluasan lokasi pasar produk perusahaan. Kenyataan menunjukkan bahwa beberapa perusahaan yang berhasil dalam melaksanakan bisnisnya akan memperoleh pasar lebihluas. Perluasan pasar diikuti penambahan lokasi pemasaran atas produk yang dihasilkan perusahaan. Terjadinya pergeseran atau perluasan lokasi pasar berdampak pada penataan perusahaan (Haming dan Nurnajamuddin, 2011). Berdasarkan penjelasan tersebut disimpulkan bahwa perluasan lokasi pasar memengaruhi tata letak. Perluasan pasar diikuti penambahan lokasi pemasaran atas produk yang dihasilkan perusahaan.

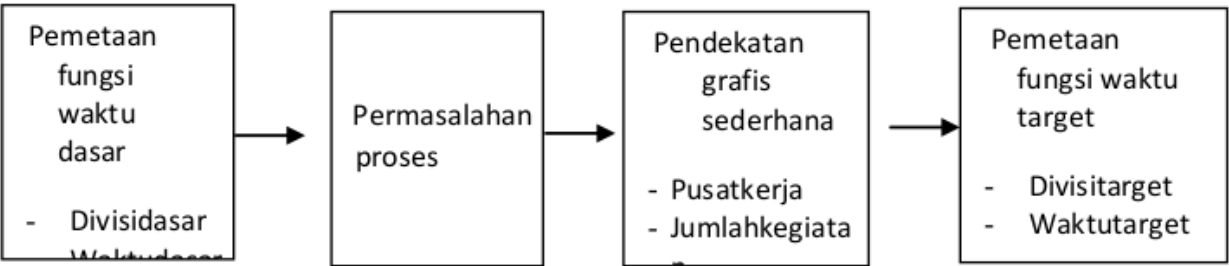
C. Pendekatan Grafis Sederhana

Perencanaan tata letak ruangan pengolahan, atau tata letak ruangan, adalah penentuan letak berbagai ruangan atau tempat kegiatan yang ada dalam satu bangunan. Perencanaan tata letak ini dimaksudkan untuk memperkecil jarak keseluruhan perjalanan yang harus ditempuh oleh orang-orang, bahan-bahan, dan peralatan-

peralatan di dalam keseluruhan kegiatan operasi dan produksi. Menurut Pardede (2007), perencanaan tata letak ruangan umumnya dilakukan untuk kegiatan operasi dan produksi yang terputus-putus dan yang menggunakan tata letak menurut pekerjaan. Pendekatan grafis sederhana digunakan untuk menentukan letak berbagai pusat kerja sehingga jarak pergerakan yang ditempuh oleh bahan-bahan dan pekerja pada seluruh kegiatan dapat dipersingkat.

Cara ini dilakukan menggunakan satu bagan perjalanan yang menunjukkan jumlah perjalanan yang dilakukan dari dan ke setiap pusat kerja. Pada umumnya pendekatan ini menggunakan cara mencoba-coba sampai ditemukan satu tata letak dengan jarak perjalanan keseluruhan yang paling singkat. Jumlah perjalanan dari dan ke setiap pusat kerja yang tidak bersebelahan tetapi berhubungan diusahakan sekecil mungkin (Pardede, 2007).

D. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2.3: Kerangka pikir penelitian

Sumber: Heizer dan Render (2009) dan Pardede (2007)

Berdasarkan gambar 2.3, untuk mengetahui efisiensi pemanfaatan waktu dalam proses produksi pada rumah makan dapat dihitung menggunakan pemetaan fungsi waktu dasar. Menurut Heizer

dan Render (2009), pemetaan fungsi waktu digunakan untuk meminimalisir kompleksitas suatu proses produksi. Pemetaan fungsi waktu dasar merupakan proses dan waktu yang dilakukan dalam produksi sebelum dilakukan penghematan waktu dengan memerhatikan divisi dasar serta waktu dasar yang diperlukan.

Permasalahan-permasalahan dalam kegiatan produksi dapat diketahui dengan melakukan wawancara kepada pelanggan yang datang. Menurut Kuncoro (2013), wawancara personal diartikan sebagai wawancara antar orang, yaitu antar peneliti (pewawancara) dengan responden (yang diwawancarai), yang diarahkan oleh pewawancara untuk memperoleh informasi yang relevan. Dari kegiatan wawancara tersebut diperoleh informasi bahwa terjadi permasalahan dalam kegiatan produksi, sehingga perlu dilakukan perbaikan tata letak. Perbaikan tata letak dilakukan menggunakan metode grafis sederhana. Menurut Pardede (2007), pendekatan grafis sederhana digunakan untuk menentukan letak berbagai pusat kerja sehingga jarak pergerakan yang ditempuh bahan-bahan dan pekerja dapat dipersingkat. Pada pendekatan grafis sederhana perlu diperhatikan mengenai pusat kerja dan jumlah kegiatan yang dilakukan. Untuk mengetahui efisiensi waktu setelah dilakukan perbaikan tata letak, dapat digunakan pemetaan fungsi waktu target. Menurut Heizer dan Render (2009), pemetaan fungsi waktu digunakan untuk meminimalisir kompleksitas suatu proses produksi. Pemetaan fungsi waktu target merupakan proses dan waktu yang dilakukan dalam produksi setelah dilakukan penghematan waktu dengan memerhatikan divisi target serta waktu target yang diperlukan.

3_Buku_Integrasi_proses_dan_efisiensi_energi.pdf

ORIGINALITY REPORT

11%	11%	0%	2%
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	santiicuitcuit.blogspot.com	4%
	Internet Source	
2	library.binus.ac.id	4%
	Internet Source	
3	herirustamaji.files.wordpress.com	3%
	Internet Source	

Exclude quotes	On	Exclude matches	< 2%
Exclude bibliography	On		