

MANAJEMEN

ENERGI

MS-6112 – 2 SKS

Oleh:

Dr. Nita C.V. Monintja, ST., MT.

NIP.: 19651119199412201



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SAM RATULANGI

MANADO

MANAJEMEN ENERGI

Rancang Sampul : Art Division Unsrat Press

Judul Buku : ***MANAJEMEN ENERGI***

Penulis : **DR. NITA C.V. MONINTJA, ST., MT.**

Penerbit : **Unsrat Press**

Jl. Kampus Unsrat Bahu Manado 95115

Email : **percetakanunsrat@gmail.com**

ISBN : 978-602-52426-2-5

Cetakan Pertama 2019

Dilarang mengutip dan atau memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apa pun baik cetak, fotoprint, mikrofilm dan sebagainya.

KATA PENGANTAR

Buku Manajemen Energi ini disusun sesuai dengan kurikulum mata kuliah Manajemen Energi di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado. Mata kuliah Manajemen Energi (MS-6112) dengan bobot 2 sks adalah mata kuliah yang diberlakukan pada kurikulum Jurusan Teknik Mesin 2018/2019.

Adapun mata kuliah ini adalah salah satu mata kuliah pilihan wajib pada peminatan teknik konversi energi yang terdapat di semester VI Program Studi S1 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unsrat Manado. Melalui buku ini, diharapkan mahasiswa dapat lebih memahami serta lebih banyak mendapatkan pengetahuan mengenai Manajemen Energi.

Buku Manajemen Energi ini terdiri dari 4 (empat) bab, yaitu: (I). Pendahuluan; (II). Metode Pinch; (III). Trade Off antara Energi Terhadap Biaya Kapital; dan (IV). Strategi Perencanaan.

Penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang sudah terlibat dalam memberi masukan dalam penyelesaian penulisan buku Manajemen Energi ini. Penulis menyadari bahwa isi maupun penyajian buku ini

masih banyak kekurangan serta masih jauh dari sempurna, untuk itu melalui kesempatan ini penulis menginginkan adanya masukan dan kritik dari berbagai pihak yang bersifat membangun untuk penyempurnaan buku Manajemen Energi ini. Semoga buku Manajemen Energi ini akan mencapai tujuan yang diharapkan dan bermanfaat bagi anak didik kita di bidang teknik mesin.

Manado, September 2019



Dr. Nita C.V Monintja, ST, MT
Fakultas Teknik Universitas Sam

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR NOTASI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Pandangan Umum.....	2
1.2. Perkembangan Metode Pinch.....	5
1.3. Pemanfaatan pada Industri.....	7
BAB 2 METODE PINCH.....	11
2.1. Energi Target.....	13
2.1.1. Kurva Komposit	21
2.1.2. Problem Tabel	30
2.2. Maximum Energi Recovery.....	36
2.2.1. Representasi Heat Exchanger Networks.....	37
2.2.2. Desain untuk Maximum Energy Recovery	39

BAB 3	TRADE OFF ANTARA ENERGY TERHADAP	
BIAYA KAPITAL		51
3.1. Jumlah Minimum Unit		52
3.2. Loop dalam Sistem		56
3.3. Trade Off Unit Terhadap Biaya Kapital		58
3.4. Ketentuan ΔT_{min}		67
 BAB 4	 STRATEGI PERENCANAAN	 71
4.1. Pemecahan Aliran (Stream Split)		72
4.2. Perencanaan Untuk Daerah Jauh Dari Pinch		80
4.3. Pemilihan Aliran		85
 SOAL LATIHAN		 91
DAFTAR PUSTAKA		97

DAFTAR NOTASI

CP	<i>Heat Capacity Flowrate</i> [kW/°C]
C_p	<i>Specific Heat</i> [kJ/kg. °C]
$h_{f.g}$	panas laten penguapan [J/Kg]
m	<i>Mass-flow</i> [kg/dtk]
N	Jumlah total aliran
N_{HOT}	Jumlah cabang aliran panas
N_{COLD}	Jumlah cabang aliran dingin
Q_H	<i>Daya Heater</i> [kW]
T_a	temperatur udara luar [°C]
T_0	Temperatur keluar <i>Heat Exchanger</i> [°C]
T_s	Temperatur Suplai [°C]
T_t	Temperatur Target [°C]
U_{min}	Jumlah minimum unit
ΔH	Perubahan Entalpi [kW]
ΔT	Perubahan temperatur [°C]

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1	Data Proses.....	30
-----------	------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gbr 2.1	Kurva Komposit.....	14
Gbr 2.2	Karakteristik Pertukaran panas pada Sistem	16
Gbr 2.3	Konstruksi kurva komposit	22
Gbr 2.4	<i>Pinch</i> dan <i>Energy Target</i> pada kurva Komposit.....	25
Gbr 2.5	Pertukaran panas dua aliran dalam T-H diagram	27
Gbr 2.6	Analisa interval temperatur.....	31
Gbr 2.7	<i>Problem Table</i>	34
Gbr 2.8	<i>Representase Heat Exchanger Network</i>	38
Gbr 2.9	Daftar aliran yang menunjukkan <i>Pinch</i>	39
Gbr. 2.10	Perencanaan Bagian atas <i>Pinch</i>	41
Gbr. 2.11	Desain bagian bawah <i>Pinch</i>	46
Gbr. 2.12	Desain lengkap <i>Heat Exchanger Network</i>	49
Gbr. 3.1	Ilustrasi desain dengan jumlah unit Minimum	52

Gbr. 3.2	Prinsip-prinsip persamaan subset	55
Gbr. 3.3	Prinsip-prinsip <i>Loop</i>	57
Gbr. 3.4	Pemecahan <i>Loop</i>	59
Gbr. 3.5	Desain pengenduran energy	61
Gbr. 3.6	<i>Loop</i> dan <i>Path</i> yang kompleks	65
Gbr. 3.7	Pengaruh nilai ΔT_{min}	68
Gbr. 3.8	<i>Threshold problem</i>	70
Gbr 4.1	Metode pemecahan aliran	73
Gbr 4.2	Diagram alir prosedur pemecahan Aliran.....	75
Gbr 4.3	Pemecahan aliran dengan menggunakan tabel CP	77
Gbr 4.4	Desain setelah pemecahan aliran	79
Gbr 4.5	Perencanaan jauh dari <i>Pinch</i>	82
Gbr 4.6	Pemilihan Aliran	86
Gbr 4.7	Penentuan aliran <i>Mixing</i>	88
Gbr 4.8	Penentuan aliran <i>spliting</i>	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. PANDANGAN UMUM

Manusia sejak awal sejarah tidak pernah terlepas dari pemakaian energi untuk menunjang kelangsungan hidup dalam berbagai bentuk aktivitas kehidupan. Energi tersebut didapatkan dari berbagai macam sumber energi yang terus menerus mengalami peningkatan dalam jumlah dan jenisnya. Manusia pra-sejarah menggunakan kayu sebagai sumber energi yang digunakan untuk keperluan memasak serta pemanasan dalam menahan temperatur yang dingin.

Kemudian pada awal sejarah, manusia mulai dapat memanfaatkan sumber daya alam lainnya antara lain energi angin. Energi angin dimanfaatkan untuk pengangkutan, yaitu sebagai daya dorong pada kapal layar. Kemudian mulailah dimanfaatkan sumber energi air yang digunakan sebagai penggerak kincir untuk keperluan pertukangan dan penggilingan.

Pemanfaatan ketiga sumber energi tersebut terus berlangsung dengan berbagai variasi dan ragam penggunaannya sampai sekitar awal abad ke-13 suatu bentuk sumber energi baru diketemukan yaitu batubara yang memperkaya spektrum jenis-jenis sumber energi yang ada. Pemakaian batubara hanya sebatas keperluan

memasak dan pemanasan dalam rumah. Baru setelah pada awal abad ke-18, setelah diketemukan mesin uap yang menggunakan batubara sebagai sumber energi. Dengan menggunakan mesin uap ini, maka mulailah suatu babak baru yang dikenal dengan nama Revolusi Industri. Dimulai pada saat ini dan pada masa-masa berikutnya bermunculah mesin-mesin industri baru dan mekanisasi dalam banyak bidang kehidupan sehingga benar-benar membuat perkembangan industri melaju dengan cepat.

Keadaan tersebut kemudian disusul dengan munculnya minyak bumi yang banyak digunakan dalam bidang pemanasan serta untuk penerangan. Seiring dengan ditemukannya mesin-mesin dan teknologi baru, maka pada awal abad ke-20 sampai saat ini minyak bumi terus digunakan sebagai sumber energi bagi motor bakar untuk pembangkit tenaga listrik maupun sebagai sarana transportasi. Sedangkan penggunaan batubara semakin terbatas pada stasiun pembangkit tenaga uap atau sebagai bahan bakar untuk ketel uap serta bahan baku pembuatan kokas yang diperlukan dalam pengerjaan logam. Namun demikian yang harus segera disadari

adalah bahwa suatu saat sumber-sumber minyak dan gas bumi akan habis.

Dengan semakin berkembangnya industri dan semua bidang kehidupan, maka kebutuhan akan energi semakin meningkat dengan sangat pesat. Untuk menjawab tuntutan tersebut, maka mulailah dikembangkan penelitian dan uji coba untuk mengembangkan dan meningkatkan performance serta tingkat efisiensi mesin-mesin yang mengkonsumsi bahan bakar minyak bumi, gas bumi maupun batubara atau bahan bakar lainnya. Upaya tersebut semakin ditingkatkan intensitasnya sejak tahun 1974, dimana pada tahun tersebut terjadi apa yang dinamakan dengan krisis energi. Sejak saat itu dunia memasuki babak baru dalam perkembangannya, karena zaman energi murah telah berakhir dan digantikan dengan masa-masa mahal nya energi, serta manusia mulai menyadari bahwa tidak selamanya dapat bergantung pada sumber energi batubara, minyak bumi maupun gas bumi yang pada suatu saat tentunya akan habis, untuk itu tidak ada pilihan lain dalam mencari sumber energi alternatif lainnya, yaitu sumber energi baru yang dapat diperbaharui (*renewable energy*). Tidak kurang dari enam sumber

energi baru yang dapat diperbaharui mulai dikembangkan, yaitu energi radiasi surya, energi pasang surut, energi panas laut, energi gelombang laut, energi hidrogen dan energi fusi nuklir.

Energi-energi tersebut diatas karena sifatnya dapat diperbaharui, maka sumber cadangannya sangat melimpah serta murah, akan tetapi dari segi teknologi sangat mahal.

1.2. PERKEMBANGAN METODE *PINCH*

Pada akhir-akhir ini telah dikembangkan suatu disiplin ilmu yang membahas mengenai upaya penghematan energi. Disiplin ilmu ini tidak hanya memfokuskan bahasan mengenai bagaimana cara memaksimalkan tingkat efisiensi dan unjuk kerja suatu mesin, akan tetapi difokuskan pada usaha bagaimana mencari suatu tindakan yang tepat dan baik dalam rangka menggunakan dan mendistribusikan energi tersebut secara baik dan efisiensi didalam suatu plant industri, atau secara singkat dapat dikatakan, bagaimana manajemen pemakaian energi yang baik, sehingga dalam pemakainnya dapat dihindarkan adanya kehilangan-kehilangan yang sebenarnya tidak perlu terjadi dan dapat pula dihindarkan pemakaian yang boros.

Jadi sistem manajemen energi tersebut dapat dikatakan suatu manajemen yang menganalisis efisiensi plant secara keseluruhan atau pada satu bagian besar dimana proses antara satu peralatan dengan peralatan lainnya saling terkait dan berhubungan. Khususnya pada industri-industri yang dalam prosesnya banyak menggunakan uap dan reaksi-reaksi kimia sebagai produknya.

Sistem manajemen energi yang sudah dikembangkan sampai saat ini meliputi Sistem *Energy Auditing* dan Metode *Pinch* (Metode Linhoff). Metode *Pinch* dalam buku bahan ajar ini adalah metode yang digunakan untuk merencanakan suatu desain aliran proses dan *sistem heat exchanger network* yang dapat menghasilkan suatu desain untuk memaksimalkan *Energy Recovery*, sehingga penghematan energi dalam plant diperoleh. Metode *Pinch* akan mengarah pada bagaimana menyusun dan menempatkan suatu peralatan/unit yang meliputi *air preheater, water preheater, air and water heater, burner, cooling tower, reaktor*.

Metode *Pinch* pada prinsipnya adalah penerapan hukum-hukum termodinamika secara praktis dan simpel. Penerapan Metode *Pinch* untuk menyusun pola suatu

jaringan aliran proses dan *heat exchanger networks* dalam suatu industri plant yang akan menjadi penting, mengingat konsumsi yang demikian besar akan sumber-sumber energi minyak bumi, gas bumi serta batubara, yang sampai saat ini belum dapat digantikan dengan sumber energi alternatif lainnya. Sementara dalam hal efisiensi, suatu industri plant tidak hanya bergantung pada masing-masing alat yang digunakan secara terpisah, akan tetapi suatu industri plant sangat bergantung juga pada efisiensi susunan jaringan dari seluruh unit yang dioperasikan. Efisiensi suatu industri plant dianggap tinggi jika *heat recovery* yang diperoleh maksimum, karena dengan demikian maka kebutuhan akan sumber energi sebagai masukan awal menjadi berjurang.

1.3. PEMANFAATAN PADA INDUSTRI

Salah satu pemanfaatan manajemen energi adalah pada industri baja, yaitu pada *direct reduction plant* yang mengolah bijih besi (*pellet*) menjadi besi spons yang menjadi bahan baku utama bagi proses peleburan yang akan menghasilkan baja batangan berupa *billet* maupun *slab*, yang selanjutnya akan diolah menjadi produk-produk

yang sesuai dengan permintaan pasar seperti *wireroad* maupun baja lembaran.

Didalam proses produksi pengolahan bijih besi menjadi besi spons tersebut, *direct reduction plant* banyak menggunakan peralatan-peralatan penukar kalor serta ketel uap. Peralatan-peralatan tersebut meliputi *air preheater* dan *air heater*, *water preheater* dan *water heater*, *burner*, pemanas uap lanjut *internal cooler*, *cooling tower*, serta *reaktor*, dan prosesnya banyak menggunakan reaksi-reaksi dan perhitungan kimia.

Secara garis besar proses-proses tersebut adalah sebagai berikut: Tujuan utama dari proses sebenarnya adalah reduksi kandungan oksigen (O_2) yang ada pada bijih besi, sehingga pada akhir proses dari besi spons yang dihasilkan diharapkan memiliki prosentase Fe mencapai 98%. Untuk dapat menghasilkan reduksi tersebut, maka diperlukan gas reaktor, gas ini merupakan hasil pembentukan dari reaksi gas alam (CH_4) dengan uap air. Dari hasil reaksi ini didapat gas reduksi yang banyak mengandung CO dan H_2 , sedangkan reaksi itu sendiri terjadi di dalam reformer yang menggunakan Nikel sebagai katalis. Setelah itu gas proses/reduktor ini dipanaskan

hingga mencapai temperatur 800°C . sebelum gas tersebut digunakan untuk mereduksi bijih besi yang ada di dalam reaktor, maka pada saat akan masuk reaktor diinjeksikan udara panas dengan temperatur 720°C . injeksi udara panas ini akan meningkatkan temperatur gas reaktor 1040°C - 1080°C sesuai dengan temperatur yang diinginkan dalam proses reduksi bijih besi agar dicapai metalisasi yang baik, sehingga pada akhir proses reduksi target kandungan Fe didapat 98% dalam besi spons tercapai.

Untuk memanaskan gas reduktor, udara dan air untuk menghasilkan uap dipakai beberapa burner, dimana sebagai bahan bakar burner digunakan gas alam bekas yang telah dipakai untuk proses reduksi. Agar terjadi keseimbangan antara input energi dengan hasil yang diperoleh (output), maka masalah yang benar-benar harus diperhatikan adalah permasalahan efisiensi, terutama efisiensi panas seluruh sistem disamping efisiensi masing-masing mesin dan penukar kalor. Untuk itu akan menjadi sangat bermanfaat jika direncanakan suatu bentuk *heat exchanger network* pada industri plant pengolahan bijih

besi, mengingat aliran proses yang digunakan memerlukan pemanasan dan pendinginan berulang-ulang.

BAB 2

METODE *PINCH*

Dalam perencanaan sebuah industrial-plant terutama untuk industrial plant yang banyak menggunakan reaksi kimia, terdapat dua masalah perencanaan keteknikan. Pertama;

adalah perencanaan masing-masing unit operasi seperti ketel uap, burner, heat exchanger, dan lainnya. Pada perencanaan ini masalah unjuk kerja dan karakteristik tiap-tiap unit merupakan hal pokok yang harus diperhatikan. Kedua; adalah masalah perencanaan sistem secara keseluruhan pada industrial plant tersebut, atau yang lebih dikenal dengan sebuah istilah *networks*.

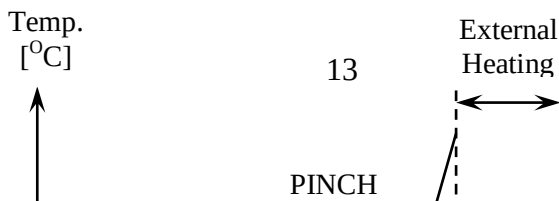
Sebelum dikenal ilmu manajemen energi, seorang insinyur teknik dalam mendesain sistem hanya berdasarkan pengalaman yang diperoleh melalui proses belajar bertahun-tahun di lapangan, kesimpulannya seorang insinyur teknik tidak mempunyai suatu metode atau persamaan yang jelas serta sistematis sehingga desain *networks* dari sistem industrial plant yang optimal sangat sukar didapatkan.

Pada tahun 1982, Prof. B. Linhoff menemukan sebuah konsep "*Pinch*" yang tepat untuk mendesain sistem, dan kemudian dikenal sebagai "*Metoda Pinch*". Karena metoda yang digunakan sangat sistematis serta konsep-konsep yang digunakan sangat jelas, maka dari metoda ini akan didapatkan sebuah desain yang optimum dimana sistem tersebut menggunakan energi minimum. Metoda ini

kemudian berkembang menjadi metoda desain yang mempertimbangkan antara biaya kapital (*capital cost*) terhadap biaya energi (*energy cost*) untuk mencari biaya total yang optimum. Karena metoda ini pada dasarnya merupakan hasil penerapan termodinamika secara simpel, maka bila metoda ini diterapkan akan menghasilkan sebuah desain dengan pencapaian *Energy Recovey* yang maksimum.

2.1. ENERGI TARGET (*TARGETTING ENERGY*)

Salah satu yang perlu diketahui untuk merencanakan sebuah “MER” (*Maximum Energy Recovery*) adalah “*Composite Curve*”, yaitu sebuah kurva yang menggambarkan suatu aliran proses yang membutuhkan pendinginan atau dengan satu istilah “*hot stream*”, dan aliran proses yang membutuhkan pemanasan “*cold stream*”. Kedua aliran proses tersebut adalah dari sistem secara keseluruhan. Dalam suatu proses perubahan energi, dapatlah dibuat sebuah kurva komposit seperti digambarkan pada gambar 2-1.



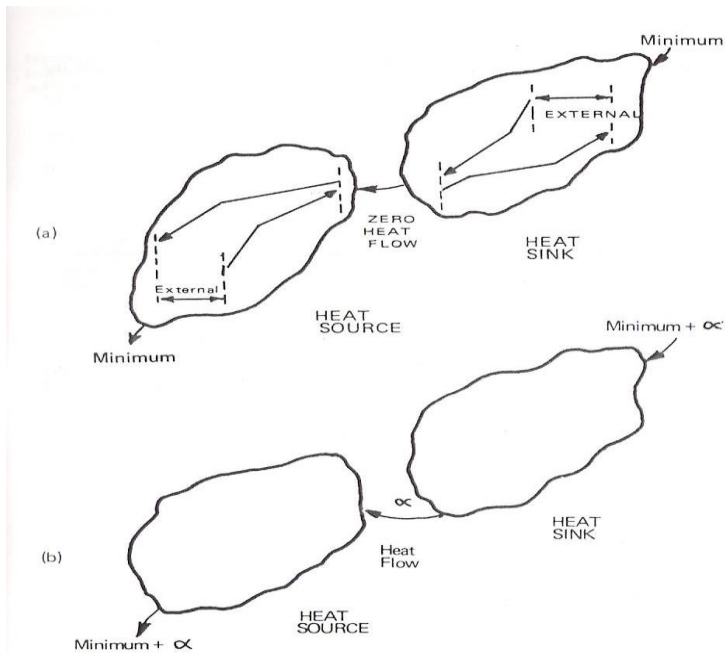
Gambar 2-1: Kurva Komposit

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Pada dasarnya aliran panas dan aliran dingin dalam sebuah proses dapat diwakili oleh sebuah grafik

Temperatur-Entalpi (T-H grafik), dimana temperatur input dan output serta *flowrate* diketahui. Karena sifat alami dari sebuah kurva, maka kedua proses aliran tersebut akan saling mendekat sampai sedekat mungkin pada satu titik. Pada daerah yang mempunyai jarak terdekat dari kurva disebut sebagai "*Pinch*". Temperatur dimana terjadinya *Pinch* ini disebut sebagai temperatur *pinch*, sedangkan beda temperatur minimum antara aliran panas dan aliran dingin dinamakan $\Delta T_{\min}$.

Pinch mempunyai peranan sangat penting dalam sebuah *heat exchanger network*, ini disebabkan karena *pinch* membagi proses menjadi dua bagian yang terpisah secara termodinamika. Pada gambar 2-2a, sistem ditunjukkan secara terpisah pada *pinch*. Pada bagian diatas *pinch*, komposit panas memberikan semua panasnya untuk memenuhi sisa kebutuhan pemanasan oleh komposit dingin, karena itu sistem diatas *pinch* ini merupakan sebuah proses "*heat sink*" (pelepasan panas).



Gambar 2-2: Karakteristik Pertukaran Panas pada Sistem
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Sebaliknya, bagian di bawah *Pinch* adalah merupakan sebuah “*heat source*” (sumber panas), karena panas keluar dari sistem tersebut ke *cold utility* tetapi tidak ada panas masuk ke dalam sistem. Jadi di dalam sebuah desain yang disebut sebagai sebagai target minimum *utility* yaitu *external heating* dan *external cooling* –nya *minimum* tercapai, maka aliran panas yang menyeberangi *Pinch*

adalah “*no!*”. Pada gambar 2-2b, menunjukkan sebuah kasus dimana target minimum *utility* (*external heating* dan *external cooling minimum*) tidak tercapai. Dimana *external heating* lebih dari kemungkinan minimum sebesar α . dengan kesetimbangan panas sekeliling *heat source* dan *heat sink*, didapat bahwa terdapat aliran panas sebesar α yang melewati *Pinch* sehingga terjadi kelebihan pada kebutuhan *external cooling* sebesar α .

Hot overshoot pada gambar 2-1 adalah merupakan jumlah *external cooling minimum* yang diperlukan dan *cold overshoot* merupakan jumlah *minimum external heating* yang diperlukan. Sedangkan overlap antara aliran panas dengan aliran dingin akan merupakan jumlah *maximum heat recovery* yang mungkin terjadi dalam proses.

Dari pembahasan-pembahasan tentang kurva komposit dan *Pinch* diatas, secara sederhana dan efektif dapat diberikan 5 konsep, antara lain:

- ◆ Target;

Setelah kurva komposit tersusun, maka akan diketahui secara tepat berapa jumlah *external heating* yang akan dibutuhkan sehingga proses-proses yang paling mendekati optimum dapat

diperoleh dan proses-proses yang tidak optimum dapat diketahui dengan tepat dan meyakinkan.

♦ *Pinch*;

Pinch membagi sistem (proses) menjadi dua bagian, antara lain: diatas *Pinch*, dimana proses memerlukan *external heating* dan dibawah *Pinch*, dimana proses memerlukan *external cooling*. Hal ini dapat memberitahukan dimana harus meletakkan *furnace*, *steam heater*, *cooler* dan unit-unit lainnya. Hal ini juga memberitahukan bagaimana cara melakukan *heat recovery* dari *exhaust*.

♦ *More in, More out*;

Proses dikatakan efisien adalah proses yang menggunakan *external heating* dan *external cooling* yang minimum. Sebaliknya proses yang tidak efisien membutuhkan *external heating* dan *external cooling* lebih dari minimum. Kalimat *More in, More out* dapat diartikan: bila energi masuk lebih dari yang dibutuhkan, maka kelebihan tersebut akan dikeluarkan kembali sesuai dengan jumlah semula. Perlu dicatat

bahwa untuk setiap unit dari kelebihan *external heat* dalam sebuah proses haruslah disediakan peralatan heat transfer sebanyak dua kali.

◆ *Freedom of choise;*

Dengan adanya konsep *pinch*, maka *heat sink* dan *heat source* dapat dipisahkan, untuk itu seorang perencana dapat bebas dalam memilih *layout plant* atau susunan kontrol. Jika terpaksa dilanggar karena suatu hal, maka perencana dapat memperkirakan kerugian-kerugian apa yang akan terjadi dan menjadi tanggungannya.

◆ *Trade off;*

Trade off dapat dilakukan antara *energy recovery* dengan jumlah unit-unit (*heat exchanger*, *heater* dan *cooler*). Ada sebuah hubungan sederhana antara jumlah aliran (yaitu aliran proses ditambah *utility-utility*) dalam proses dan jumlah minimum unit-unit *heat exchanger* (yaitu *heater*, *cooler*, dan *intercooler*). Jadi jika ingin mendapatkan *energy recovery* yang terbaik, maka haruslah merencanakan bagian-bagian "*heat source* dan *heat sink*" secara terpisah. Keuntungan lainnya

adalah akan tersedianya kebutuhan unit-unit lebih dibandingkan jika *heat source* dan *heat sink* oleh *pinch* diabaikan.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan menyusun kurva komposit, dapat diketahui jumlah *external heating* dan *external cooling minimum* yang dibutuhkan oleh suatu sistem proses. Inilah yang dinamakan *Targetting Energy*.

2.1.1. *Composite Curve*

Untuk membuat *composite curve* (kurva komposit) suatu proses *heat exchanger*, maka data tentang *heat capacity flowrate* (CP) sangat diperlukan. CP didefinisikan sebagai berikut:

$$CP = m \times C_p$$

Dimana:

m = mass-flow [kg/dtk]

C_p = Specific heat [kJ/kg. °C]

Jika CP dianggap konstan sepanjang aliran dan dT adalah perbedaan suhu antara dua titik yang berdekatan sepanjang aliran, maka untuk aliran

dingin yang memerlukan pemanasan dari T_s (temperatur suplai) sampai mencapai T_t (temperatur target), jumlah total panas yang harus diterima akan sama dengan perubahan entalpi-nya (ΔH), yaitu:

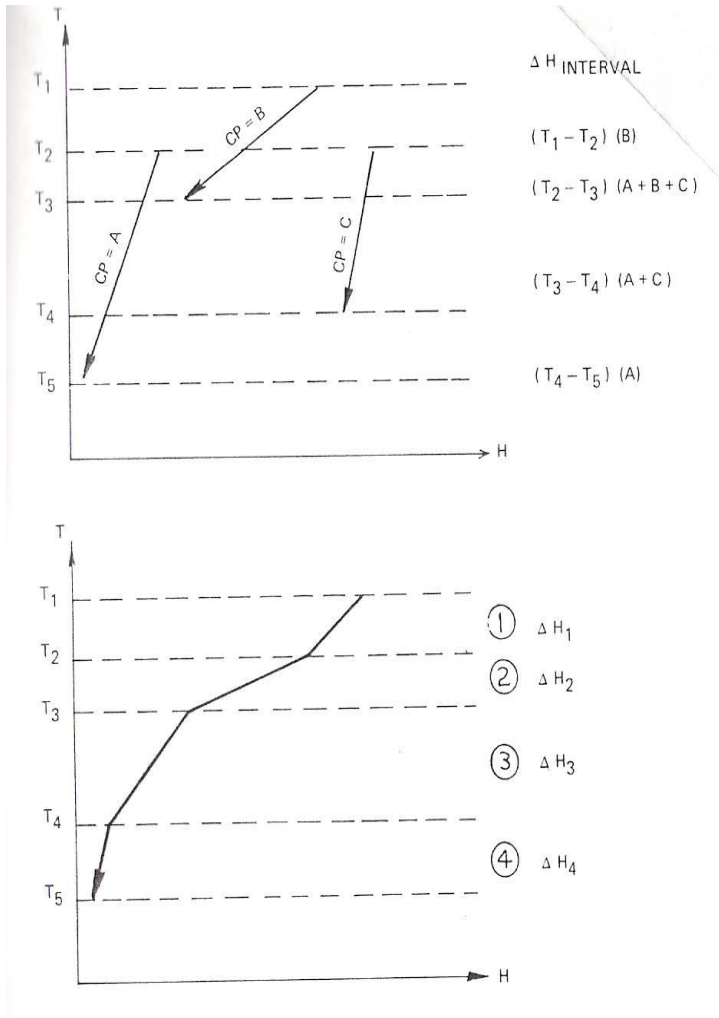
$$Q = CP \cdot dT = CP (T_t - T_s) = \Delta H$$

dan didalam diagram temperatur – entalpi (T-H), aliran dapat digambarkan dengan sebuah garis lurus yang mempunyai slope (gambar 2-4):

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

jadi, diagram (T-H) dapat digunakan untuk menggambarkan proses pertukaran panas yang terjadi dalam suatu aliran .

gambar 2-3a, menggambarkan tiga aliran panas yang digambarkan secara terpisah, dimana temperatur suplai dan temperatur targetnya ditetapkan dalam bentuk interval-interval temperatur dari T_1 sampai T_5 .



Gambar 2-3: Konstruksi Kurva Komposit

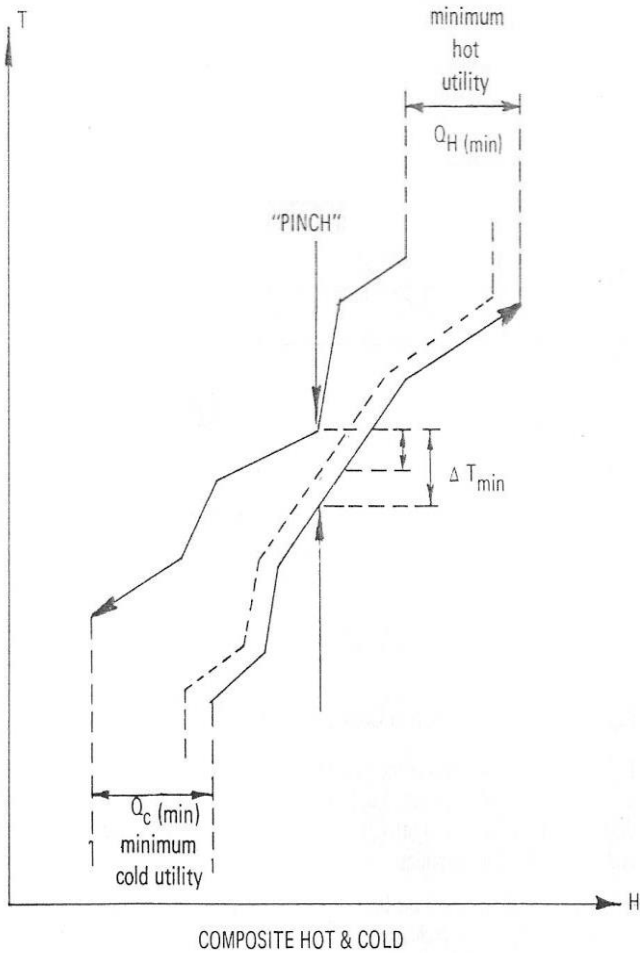
Sumber: B. Linnhoff, 1985

- Antara $T_1 - T_2$ hanya terdapat aliran B, sehingga panas yang ada pada interval ini adalah: $CP_B (T_1 - T_2)$
- Antara $T_2 - T_3$ hanya terdapat aliran A, B, dan C sehingga panas yang tersedia pada interval ini adalah: $(CP_A + CP_B + CP_C).(T_2 - T_3)$
- Antara $T_3 - T_4$ hanya terdapat aliran A, dan C sehingga panas yang tersedia pada interval ini adalah: $(CP_A + CP_C).(T_3 - T_4)$
- Antara $T_4 - T_5$ hanya terdapat aliran A sehingga panas yang tersedia pada interval ini adalah: $CP_A (T_4 - T_5)$

Nilai-nilai ΔH untuk masing-masing interval dapat diperoleh dengan cara seperti diatas, dan hasilnya dapat digambarkan kembali pada masing-masing interval sebagai berikut:

- Slope interval $T_1 - T_2 = 1 : CP_B$
- Slope interval $T_2 - T_3 = 1 : (CP_A + CP_B + CP_C)$
- Slope interval $T_3 - T_4 = 1 : (CP_A + CP_C)$
- Slope interval $T_4 - T_5 = 1 : CP_A$

Hasil penggambaran pada TH diagram tersebut adalah merupakan kurva tunggal yang menggambarkan semua aliran panas yang ada. Prosedur yang sama juga dapat diterapkan untuk aliran dingin, sehingga nantinya akan dapat dihasilkan sebuah kurva komposit seperti pada gambar 2-4 yang menunjukkan tipikal sepasang kurva komposit, dimana terdapat “*interchange*” dan tidak hanya pada satu ujung.

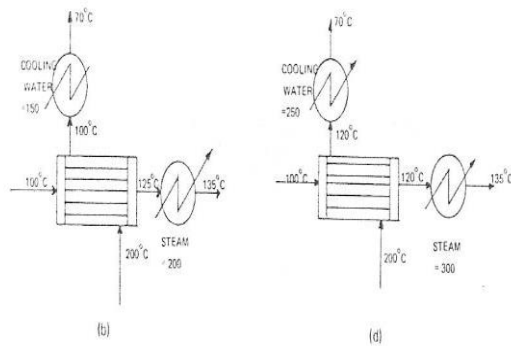
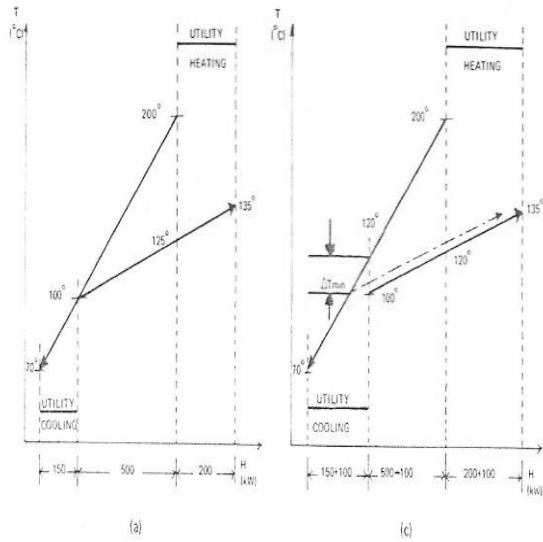


Gambar 2-4: *Pinch* dan *Energy Target* pada Kurva Komposit

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Secara umum $\Delta T_{\min}$ terjadi hanya pada satu titik yang disebut *pinch*, ini berarti memungkinkan untuk merencanakan sebuah *network* yang menggunakan kebutuhan *utility minimum*.

Interprestasi dari kurva komposit ditunjukkan pada gambar 2-5, dimana terdapat dua aliran dalam diagram T-H tersebut, yang terdiri dari satu aliran panas (aliran yang membutuhkan pendinginan) dan aliran dingin(aliran yang membutuhkan pemanasan).



Gambar 2-5: Pertukaran Panas Dua Aliran dalam T-H Diagram

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Agar terjadi pertukaran panas antara keduanya, maka aliran panas harus lebih panas dari pada aliran dingin pada semua titik. Akan tetapi karena temperatur relatif kedua aliran (gambar 2-5a) tersebut mewakili permasalahan yang diilustrasikan oleh diagram alir pada gambar 2-5b, maka pertukaran panas antara aliran panas ke aliran dingin secara *counter current* pada ujung yang dingin adalah nol. Hal ini berarti bahwa dalam contoh tersebut panas yang tersedia pada aliran panas di bawah temperatur 100°C harus dikeluarkan lagi ke *cooling water*, sedangkan aliran dingin harus dipanaskan sampai temperatur 135°C dengan menggunakan pemanasan uap dari *hot utility*.

Dalam gambar 2-5c, aliran dingin ditunjukkan relatif terpisah dengan aliran panas pada axis-H, sehingga *flow* diagramnya berubah seperti pada gambar 2-5d. Jelaslah bahwa pergeseran lebih lanjut salah satu aliran terhadap yang lainnya mengakibatkan, pertama: nilai $\Delta T_{\min}$ dalam *exchanger* dan beban *utility* total pada sistem; kedua: jika beban *hot utility*

naik sebesar α , maka *cold utility* juga akan naik sebesar α , sesuai dengan prinsip *more in, more out*.

2.1.2. *Problem Table*

Targetting energy untuk mencari *external cooling* dan *external heating* yang minimum dengan menggunakan kurva komposit adalah relatif sulit. Karena harus menggeser-geser kurva komposit baik itu aliran panas maupun aliran dingin sampai diperoleh $\Delta T_{\min}$ yang dikehendaki. Untuk mendapatkan harga *external heating* dan *cooling* yang minimum dengan mudah, telah dikembangkan sebuah cara numerik sehingga *targetting energy* dapat di program dalam komputer. Cara numerik tersebut dinamakan *problem table*.

Program table menggambarkan jumlah pertukaran panas maksimum yang mungkin terjadi pada suatu interval temperatur dalam suatu proses. Langkah pertama adalah membuat analysis interval; yaitu membuat interval-interval temperatur yang tertinggi, kemudian aliran panas dan aliran dingin digabung menjadi satu. Satu hal yang diperhatikan adalah dalam satu interval temperatur tertentu, aliran panas

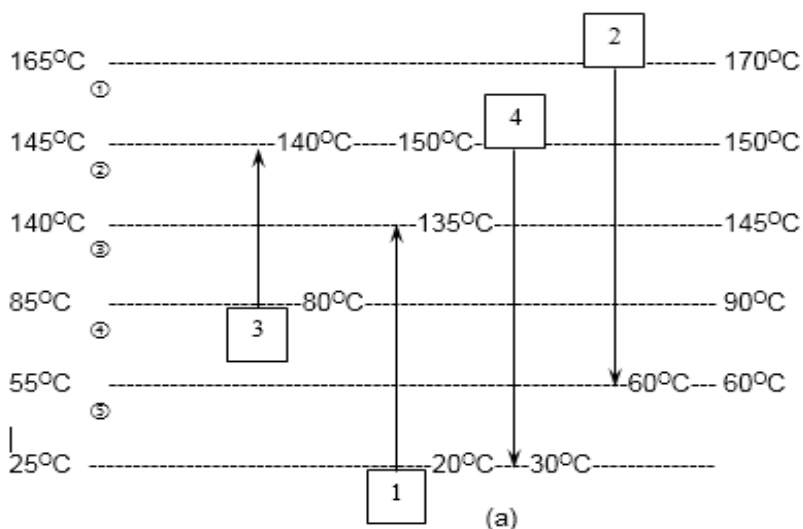
dan aliran dingin akan bergerak paling kecil sebesar $1/2 \Delta T_{\min}$. Untuk itu pada langkah ini adalah membuat interval-interval temperatur yang batas-batasnya ditetapkan adalah sebesar $1/2 \Delta T_{\min}$ dibawah temperatur aliran panas dan sebesar $1/2 \Delta T_{\min}$ diatas temperatur aliran dingin. Aliran panas digambarkan dari atas ke bawah dan pada aliran dingin sebaliknya.

Tabel 2-1: Data Proses

Sumber: B. Linnhoff, 1985

No.	Stream type	CP [kW/°C]	T _s [°C]	T _t [°C]
1	Cold	2	20	135
2	Hot	3	170	60
3	Cold	4	80	140
4	Hot	1.5	150	30

$$1/2 \Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$$



	Interval No.	$T_i - T_{i+1}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$\Sigma \text{CP}_{\text{cold}} - \Sigma \text{CP}_{\text{hot}}$ ($\text{kW}/^{\circ}\text{C}$)	ΔH_i (kW)	Surplus or Deficit
$T_1 = 165^{\circ}\text{C}$	1	20	- 3.0	- 60	Surplus
$T_2 = 145^{\circ}\text{C}$	2	5	- 0.5	- 2.5	Surplus
$T_3 = 140^{\circ}\text{C}$	3	55	+ 1.5	+ 82.5	Defisit
$T_4 = 85^{\circ}\text{C}$	4	30	- 2.5	- 75	Surplus
$T_5 = 55^{\circ}\text{C}$	5	30	+ 0.5	+ 15	Defisit
$T_6 = 25^{\circ}\text{C}$					

(b)

(b)

Gambar 2-6: Analisa Interval Temperatur

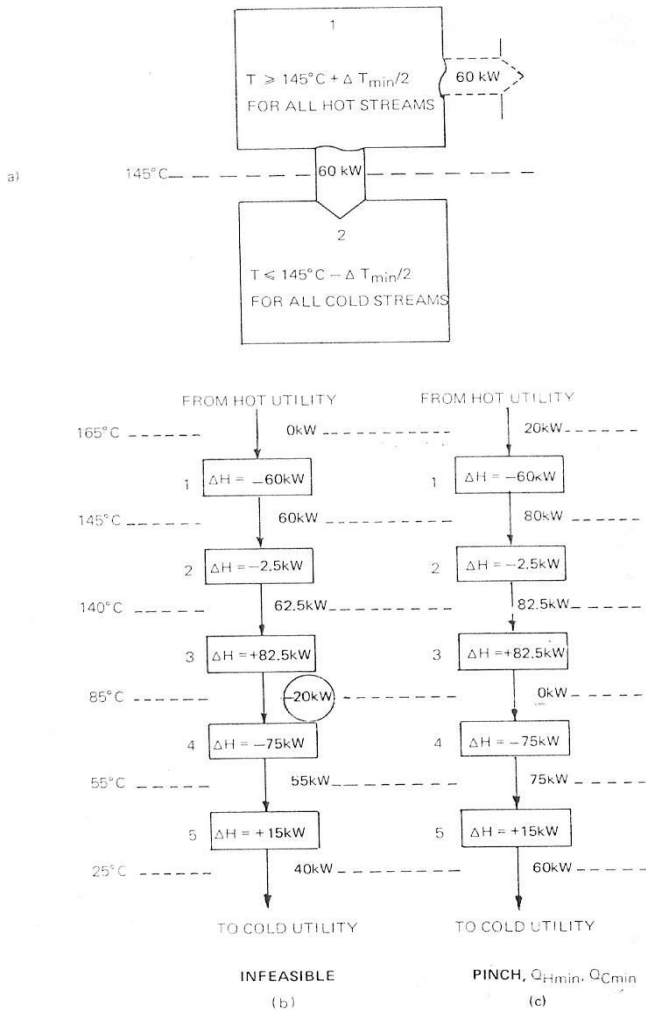
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Tabel 2-1 dengan menetapkan batas-batas interval seperti diatas, maka pertukaran panas pada setiap interval akan selalu mungkin terjadi, pertukaran panas pada tiap interval temperatur tersebut mungkin akan terjadi surplus energi (sistem menerima energi dari luar) atau sebaliknya akan terjadi defisit energi (sistem mengeluarkan energi ke luar). Jika nomor batas-batas interval temperatur diberi nomor urut dari atas ke bawah, seperti pada gambar 2-6, maka kesetimbangan entalpi pada interval no.1 adalah:

$$\Delta H_1 = (T_1 - T_1 + 1)(\Sigma CP_{cold} - \Sigma CP_{hot})_1$$

Sebagai catatan dalam contoh ini diambil harga $1/2 \Delta T_{min} = 10^{\circ}\text{C}$. Jika harga ΔH_1 negatif (-) ini artinya surplus (sistem menerima energi dari luar), dan jika harga ΔH_1 positif (+) ini artinya defisit (sistem mengeluarkan energi ke luar). Untuk mengetahui besarnya surplus atau defisit pada tiap-tiap interval, maka dibuat tabel seperti pada gambar 2-6b.

Panas yang tersedia dalam suatu interval dialirkan ke interval berikutnya ($i+1$). Sebagai ilustrasi (gambar 2-7a), dimana interval 1 mempunyai persediaan panas sebesar 60 kW, maka panas ini akan dialirkan ke interval 2.



Gambar 2-7: Problem Table

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Dengan cara ini seperti ini Gambar 2-6b dapat diubah menjadi blok diagram seperti pada Gambar 2-7b dengan menganggap energi dari *external hot utility (external heater)* yang masuk ke dalam sistem besarnya nol.

Sesuai dengan prinsip termodinamika, maka aliran senergi dari interval yang atas ke interval yang bawah adalah harus positif atau nol. Sedangkan pada Gambar 2-7b aliran energi negatif terjadi dari interval 3 ke interval 4. Aliran energi seperti itu secara termodinamika tidak mungkin, karena itu perlu adanya suplai panas dari *hot utility* sebesar minimum 20 kW agar tidak terjadi aliran antar interval yang negatif.

Dengan adanya penambahan sebesar 20 kW ini, sesuai kesetimbangan entalpi berarti bahwa semua aliran akan bertambah sebesar 20 kW. Sebagai hasilnya kebutuhan minimum utiliti-utiliti dapat ditentukan yaitu sebesar 20 kW untuk *hot utility* dan 60 kW untuk *cold utility*. Aliran antar interval yang harganya nol terjadi pada *pinch* atau dengan kata lain *pinch* ditunjukkan dengan letak aliran yang

besarnya nol, dari gambar 2-7b *pinch* terjadi pada temperatur 85 °C.

Dari problem table tersebut terdapat dua hal yang perlu dicatat, bahwa:

- Kebutuhan minimum utiliti telah diketahui yaitu sebesar 20 kW, *representasi heat* untuk *hot utility* dan 60 kW untuk *cold utility*.
- Letak *pinch* diketahui, yaitu pada aliran energi antar interval nol. Dalam hal ini terjadi pada temperatur 85 °C sehingga pada aliran panas 90 °C ($+1/2 \Delta T_{\min}$) dan pada aliran dingin 80 °C ($-1/2 \Delta T_{\min}$) dimana $1/2 \Delta T_{\min} = 10$ °C.

2.2. MAXIMUM ENERGY RECOVERY

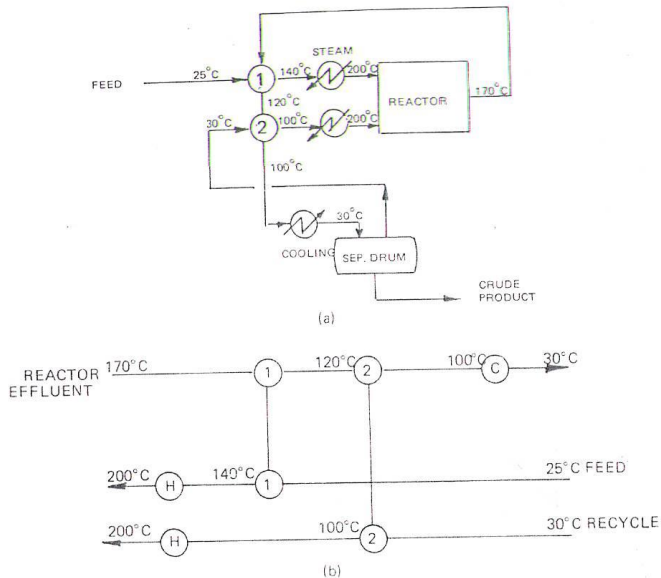
Dari pembahasan tentang metode pinch sejauh ini adalah untuk menghasilkan desain dengan utility minimum, ada beberapa hal yang harus tetap diingat bahwa:

- ♦ Jangan sampai mengalirkan panas melewati pinch
- ♦ Jangan menggunakan cold utility diatas pinch
- ♦ Jangan menggunakan hot utility dibawah pinch

2.2.1. Representasi Heat Exchanger Network

Cara menggambarkan *heat exchanger network* diagram aliran pada gambar 2-8a dapat dilihat pada gambar 2-8b. Adapun ketentuannya adalah sebagai berikut:

- ◆ Aliran panas bergerak dari kiri ke kanan
- ◆ Aliran dingin bergerak dari kanan ke kiri
- ◆ Sebelah kiri temperaturnya lebih tinggi dari sebelah kanan
- ◆ *Heater* atau *cooler* digambarkan dengan satu lingkaran yang masing-masing diberi tanda [H] dan [C]
- ◆ *Heat exchanger* digambar dengan dua lingkaran yang dihubungkan dengan sebuah garis vertikal.

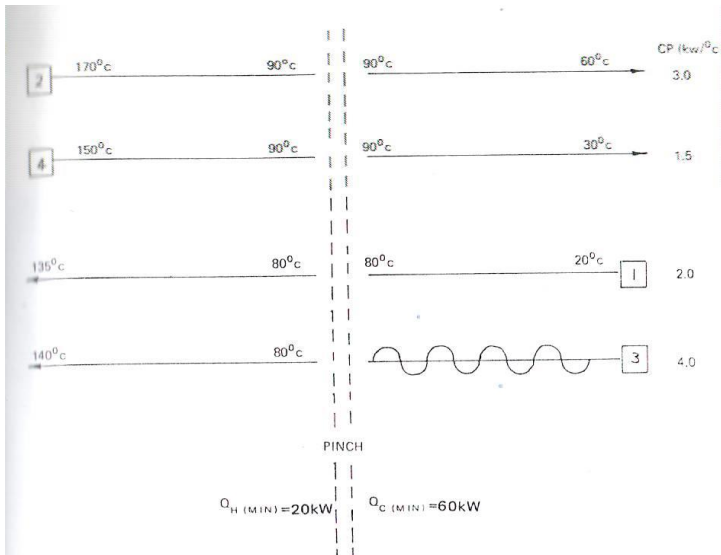


Gambar 2-8: Representase Heat Exchanger Network

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Cara penggambaran demikian dapat digunakan untuk mencari desain *heat exchanger network* dengan kemungkinan *heat recovery* yang terbaik. Disamping itu, *pinch* dapat juga digambarkan dengan mudah, dimana pada diagram alir hal ini tidak dapat dilakukan.

2.2.2. Desain untuk *Maksimum Energy Recovery*

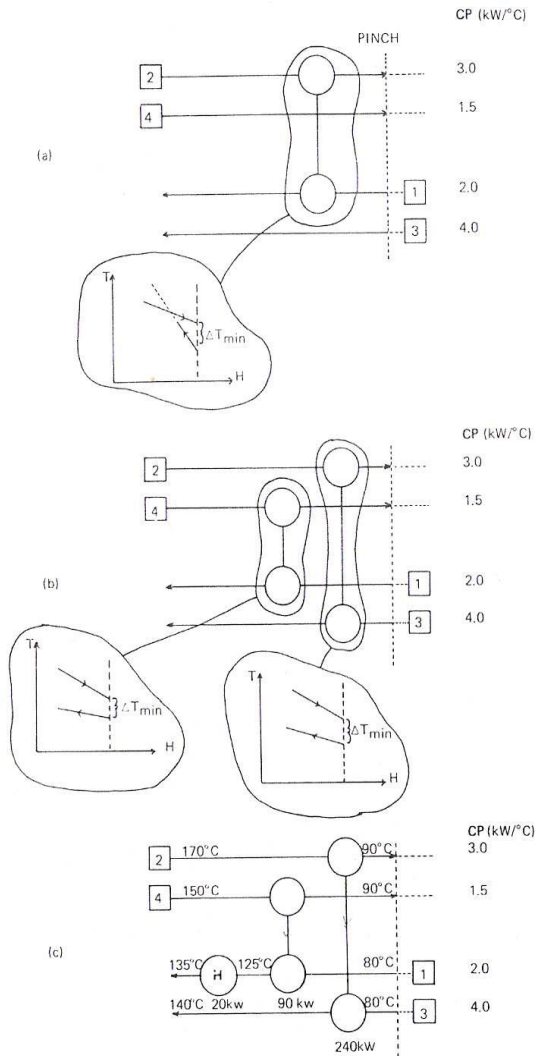


Gambar 2-9: Data Aliran yang Menunjukkan *Pinch*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Untuk lebih memahami cara menggunakan penggambaran diatas guna mencari desain yang optimum, maka dengan meninjau kembali sebuah proses yang datanya ditunjukkan tabel 2-1.

Dalam sub bab sebelumnya telah diketahui bahwa *pinch* terjadi pada temperatur 85 °C dalam *problem table*. Sehingga untuk aliran panas pada temperatur 90 °C dan untuk aliran dingin pada temperatur 80 °C (karena untuk aliran panas di tambah dengan $1/2 \Delta T_{\min}$, sedangkan untuk aliran dingin dikurangi dengan $1/2 \Delta T_{\min}$). Hal ini digambarkan pada Gambar 2-9, dimana pada saat proses aliran ditunjukkan letak *pinch* yang membaginya menjadi dua bagian.



Gambar 2-10: Perencanaan Bagian atas *Pinch*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Untuk merencanakan *Heat Exchanger Networks* yang dapat menghasilkan *recovery energy maximum* (yaitu yang menggunakan *hot utility* dan *cold utility minimum*, maka digunakan langkah dan aturan berikut ini:

- Buat sistem aliran yang terbagi dua oleh *pinch* (gambar 2-9)
- Mulailah perencanaan dari *pinch*
- *Heat exchanger* yang berujung pada *pinch* agar dapat dipertukarkan panasnya, maka masing-masing aliran harus mengikuti aturan berikut::

$CP_{Hot} < CP_{Cold}$: Untuk bagian diatas *pinch*

$CP_{Hot} > CP_{Cold}$: Untuk bagian dibawah *pinch*

- Memaksimalkan beban panas *heat exchanger* dengan cara *tick-off* (menghabiskan) satu aliran
- *External heating* hanya berada diatas *pinch* dan *external cooling* berada dibawah *pinch*

Untuk menerapkan langkah dan aturan tersebut pada proses seperti gambar 2-9, maka dimulai dengan desain bagian diatas *pinch* atau bagian ujung panas yang berada disebelah kiri *pinch* (gambar 2-10).

Pertama adalah memasang aliran-aliran diatas *pinch*. Aliran 2 dipasangkan dengan aliran 1, perhatikan gambar 2-10. Karena CP aliran 2 lebih besar dari CP aliran 1 (3-2), sehingga tidak memenuhi syarat. Sebagaimana yang digambarkan dalam T-H diagram (insert), begitu beban diletakkan pada match maka $\Delta T_{\min}$ dalam *exchanger* menjadi berkurang dari $\Delta T_{\min}$ pada ujung panasnya.

Kemudian dengan mencoba memasang aliran 2 dengan aliran 3 (gambar 2-10b), hal ini memenuhi kriteria CP yaitu $CP_{\text{Hot}} < CP_{\text{Cold}}$ untuk bagian diatas *pinch* ($CP_{\text{Cold}} = 3.0 < CP_3 = 4.0$). Pada kondisi tersebut panas aliran 2 agar maksimal terjadi sebesar:

$$Q = (170^\circ - 90^\circ) \cdot C_{pa}$$

$$Q = (170^\circ - 90^\circ) \cdot 3 = 240 \text{ kW}$$

Seluruh panas pada aliran 2 diatas *pinch* tersebut diserap oleh aliran 3, dengan panas sebesar 240 kW aliran dingin 3 akan berkurang sebesar:

$$T = \frac{Q_2}{CP_3} = \frac{240 \text{ kW}}{4} = 60^{\circ}$$

Dalam hal ini temperatur sebesar 140° kebetulan sama dengan temperatur target. Selanjutnya memasang aliran 4 dengan aliran 1 (gambar 2-10). Besarnya panas yang dimiliki aliran 4 adalah:

$$Q_4 = (T_{4,\text{suplai}} - T_{\text{pinch}}) \cdot CP_4$$

$$Q_4 = (150 - 90) \cdot 1.5 = 90 \text{ kW}$$

Panas ini semuanya diberikan kepada liran 1 sehingga akan habis (*thick-off*), maka aliran 1 temperaturnya akan naik sebesar:

$$\Delta T = \frac{Q_4}{CP_1} = \frac{90 \text{ kW}}{2.0 \text{ kW}/^{\circ} \text{C}} = 45^{\circ} \text{C}$$

Sehingga, temperatur keluar exchanger pada aliran 1 temperaturnya akan menjadi:

$$T_o = 80^{\circ} \text{C} + 45^{\circ} \text{C} = 125^{\circ} \text{C}$$

Karena temperatur target aliran ini adalah sebesar 135°C , maka masih diperlukan *heater* untuk

menaikkan temperatur dari 125°C menjadi 135°C.
Daya *heater* yang diperlukan adalah:

$$Q_H = CP_1 \times \Delta T$$

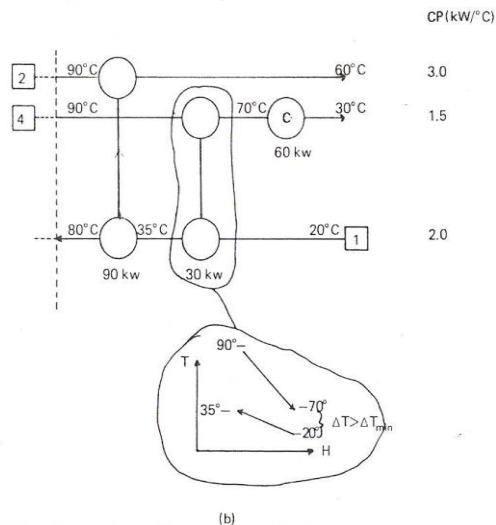
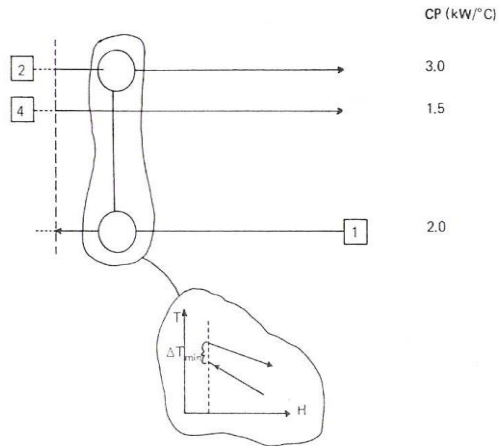
$$Q_H = 2.0 \text{ kW/}^{\circ}\text{C} \times (135^{\circ}\text{C} - 125^{\circ}\text{C}) = 20 \text{ kW}$$

Sehingga didapat desain seperti pada gambar 2-10c. Apabila semuanya digabung akan dihasilkan *network* diatas *pinch* sebagai berikut:

Untuk bagian dibawah *pinch*, pertama dapat dipasangkan aliran2 dengan aliran1 (gambar 2-11a). Panas yang tersedia pada aliran 1 dibawah *pinch* sebesar:

$$Q_2 = (90^{\circ} - 60^{\circ}) \cdot CP_2$$

$$Q_2 = (90^{\circ} - 60^{\circ}) \cdot 3 \text{ Kw/}^{\circ}\text{C} = 90 \text{ kW}$$



Gambar 2-11: Desain bagian dibawah *Pinch*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Pasangan ini memenuhi kriteria $CP_{\text{Hot}} > CP_{\text{Cold}}$:
Untuk bagian dibawah *pinch* ($CP_2 = 3.0 > CP_1 = 2.0$). Panas sebesar 90 kW ini akan dialirkan seluruhnya menuju aliran 1, sehingga aliran 1 akan mempunyai kenaikan temperatur sebesar:

$$\Delta T = \frac{Q_2}{CP_1} = \frac{90 \text{ kW}}{2.0 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}} = 45^{\circ}\text{C}$$

Artinya temperatur yang masuk aliran 1 pada *heat exchanger* ini sama dengan : $T = 80^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C}$

Ternyata dari temperatur suplai 20°C aliran 1 masuk memerlukan panas agar dapat mencapai 35°C , sebesar:

$$Q_2 = (35^{\circ} - 20^{\circ}) \cdot CP_1$$

$$Q_2 = (35^{\circ} - 20^{\circ}) \cdot 2 \text{ Kw}/^{\circ}\text{C} = 30 \text{ kW}$$

Keperluan panas ini dapat dipenuhi dengan memasang kembali aliran 1 dengan aliran 4 (gambar 2-11), berarti panas yang tersedia pada aliran 4 diambil sebesar 30 kW oleh aliran 1, sehingga temperatur aliran 4 keluar *exchanger* ini mempunyai beda temperatur sebesar:

$$\Delta T = \frac{30 \text{ kW}}{CP_4} = \frac{30 \text{ kW}}{1.5 \text{ kW}/^{\circ}\text{C}} = 20^{\circ}\text{C}$$

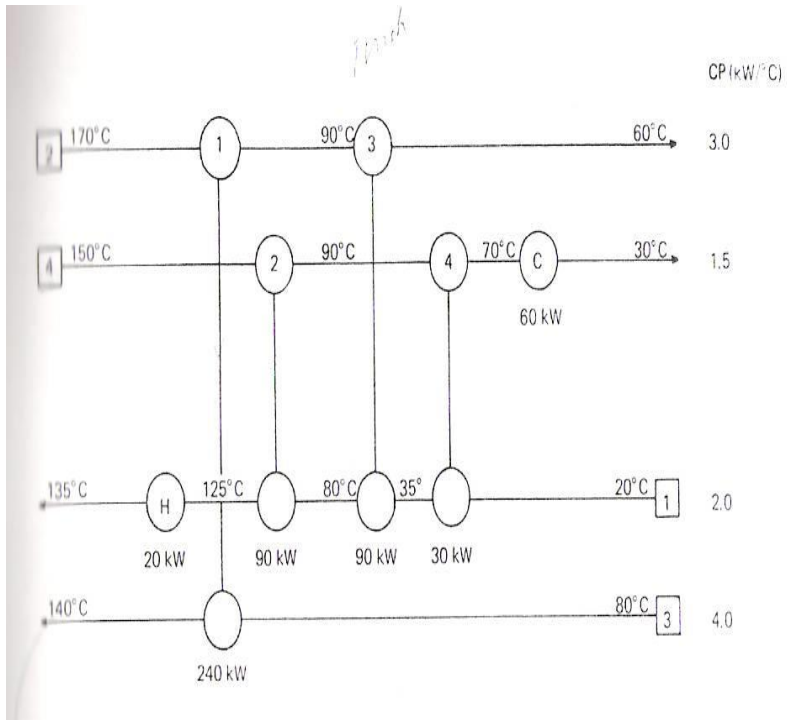
Oleh karena itu temperatur keluar *exchanger* adalah:

$$T = 90^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$$

karena temperatur target adalah 30°C , untuk itu diperlukan *cooling utility* sebesar:

$$Q = (30^{\circ} - 70^{\circ}) \times 1.5 = -60 \text{ kW (membuang panas)}$$

Apabila desain bagian diatas *pinch* dan bagian dibawah *pinch* digabung dan letak *pinch* dihilangkan, maka akan didapatkan desain-desain *heat exchanger network* lengkap seperti pada gambar 2-12.



Gambar 2-12: Desain lengkap *Heat Exchanger Network*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

BAB 3

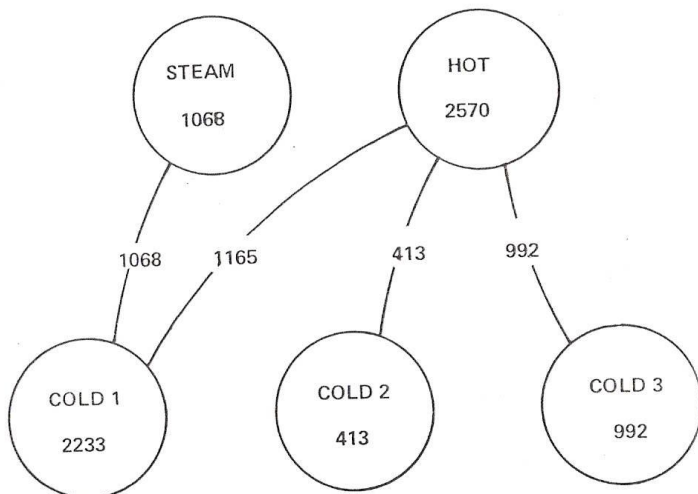
TRADE OFF ANTARA ENERGY RECOVERY TERHADAP BIAYA KAPITASI

Biaya kapital dari proses-proses kimia cenderung didominasi oleh jumlah unit peralatan dalam aliran proses. Sehingga menimbulkan dorongan kuat untuk berusaha

mengurangi jumlah “*match*” antara aliran panas dan aliran dingin.

3.1. JUMLAH MINIMUM UNIT

Untuk menentukan berapa jumlah minimum dari unit yang diperlukan (gambar 3-1) menunjukkan beban panas pada satu aliran panas dan tiga aliran dingin yang digambarkan dengan lingkaran.



Gambar 3-1: Ilustrasi Desain Dengan Jumlah Unit Minimum

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Demikian juga dengan beban pada *hot utility*, dengan mengasumsikan bahwa batas-batas temperatur akan

mengikuti setiap *match* yang akan dibuat, maka dapat dimulai dengan membuat *match-match* sebagai berikut:

- *Matching* antara (*Steam*) dengan (*Cold 1*); Jika beban (*Steam*) dihabiskan (*thicking-off*) maka terdapat sisa 1165 unit pemanasan yang masih dibutuhkan (*Cold 1*).
- *Matching* antara (*Cold 1*) dengan (*Hot*) dan beban pada *match* ini dimaksimumkan sehingga menghabiskan sisa kebutuhan pemanasan pada (*Cold 1*), sementara itu (*Hot*) masih sisa 1405 unit panas.
- *Matching* antara (*Hot*) dengan (*Cold 2*) dan (*Cold 3*) sekaligus, kemudian beban sisa pada (*Hot*) dimaksimumkan sehingga habis untuk memenuhi kebutuhan pemanasan pada (*Cold 2*) dan (*Cold 3*).

Langkah-langkah tersebut akan mengarahkan pada sebuah perencanaan dengan total jumlah *match* empat yang pada kenyataannya merupakan jumlah minimum pada sistem tersebut. Perlu diperhatikan bahwa jumlah minimum unit kurang satu dibanding dengan jumlah total

aliran ditambah utiliti. Sehingga didapatkan suatu persamaan:

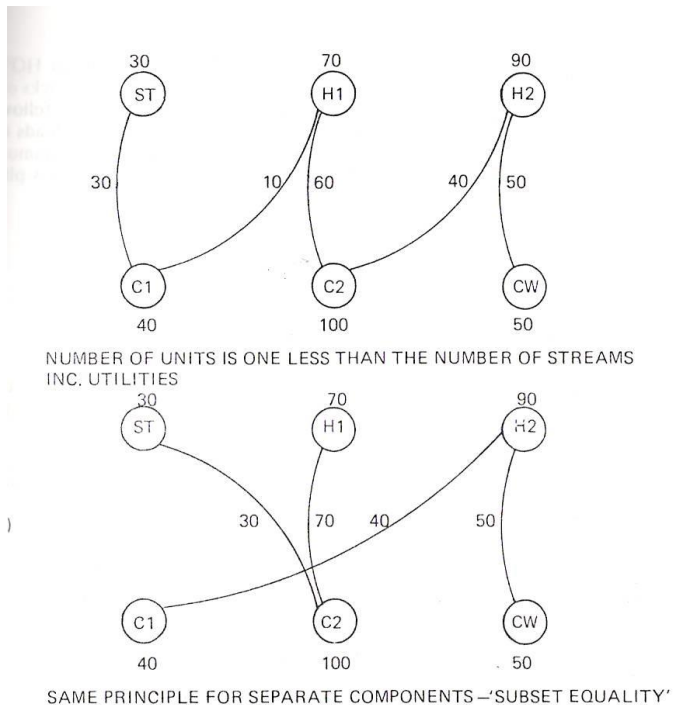
$$U_{\min} = N - 1$$

dimana: $U_{\min}$ = Jumlah minimum unit
(termasuk *heater, cooler*)

N = Jumlah total aliran (termasuk
utiliti)

Sehingga dalam kenyataannya, adalah sangat mungkin dalam perencanaan *heat exchanger network* untuk mendapatkan $U_{\min}$ seperti yang akan ditunjukkan berikut ini.

Gambar 3-2a, sistem mempunyai dua aliran panas dan dua aliran dingin, pada kasus ini *utility heating* dan *utility cooling* keduanya sangat dibutuhkan. *Match-match* yang ada menghabiskan semua beban panas maupun beban dingin, ataupun sisa-sisa beban tersebut, sehingga mengarah kepada desain dengan jumlah unit $n-1$, ditunjukkan mempunyai jumlah unit yang kurang satu dari sebelumnya.



Gambar 3-2: Prinsip-prinsip Persamaan Subset

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Hal ini dapat terjadi karena secara keseluruhan sistem tersebut berada dalam kesetimbangan entalpi, yaitu $[H_2]$, $[C_1]$, dan $[CW]$ berada dalam kesetimbangan sendiri, begitu juga dengan $[ST]$, $[H_1]$, dan $[C_2]$, ini berarti untuk sistem tersebut dapat direncanakan dua network terpisah secara lengkap untuk masing-masing kondisi kesetimbangan

entalpi dengan menggunakan persamaan $U_{\min} = N - 1$ diterapkan pada masing-masing, jadi total unit yang dipakai untuk keseluruhan sistem menjadi:

$$(3 - 1) + (3 - 1) = 4 \text{ unit}$$

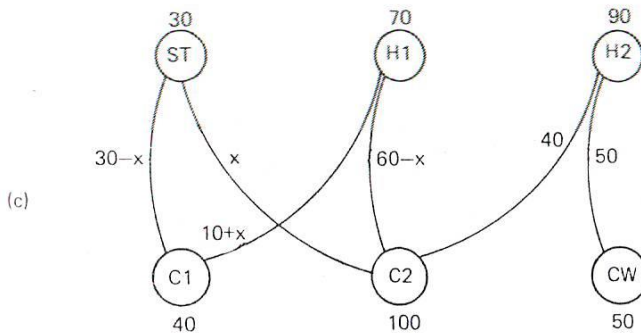
dengan demikian kurang satu dibandingkan jumlah unit pada gambar 3-2a. Keadaan ini dinamakan “*subset equality*” (persamaan subset), dimana untuk sistem yang telah ada adalah mungkin untuk diidentifikasi adanya dua subset yang masing-masing berada dalam kesetimbangan entalpi sehingga dapat disusun *network* secara terpisah. Atau kadang-kadang mungkin dengan sengaja mengubah beban tetap pada tiap unit sehingga sesuai dengan persamaan subset dan kemudian dapat menghemat sebuah unit.

3.2. LOOP DALAM SISTIM

Desain yang ditunjukkan pada gambar mempunyai satu unit lebih dari perencanaan dalam gambar 3-3a, unit baru tersebut adalah *match* antara [ST] dengan [C₂]. Unit tambahan ini ternyata memasukkan apa yang dikenal sebagai sebuah *loop* kedalam sistem. *Loop* inilah yang memungkinkan adanya “benang merah” yang

menghubungkan *network*. Yaitu: katakanlah dimulai dari [ST] maka *loop*-nya adalah:

$$[ST] - [C_1] - [H_1] - [C_2] - [ST]$$



ONE UNIT MORE FOR EVERY LOOP

Gambar 3-3: Prinsip-prinsip *Loop*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

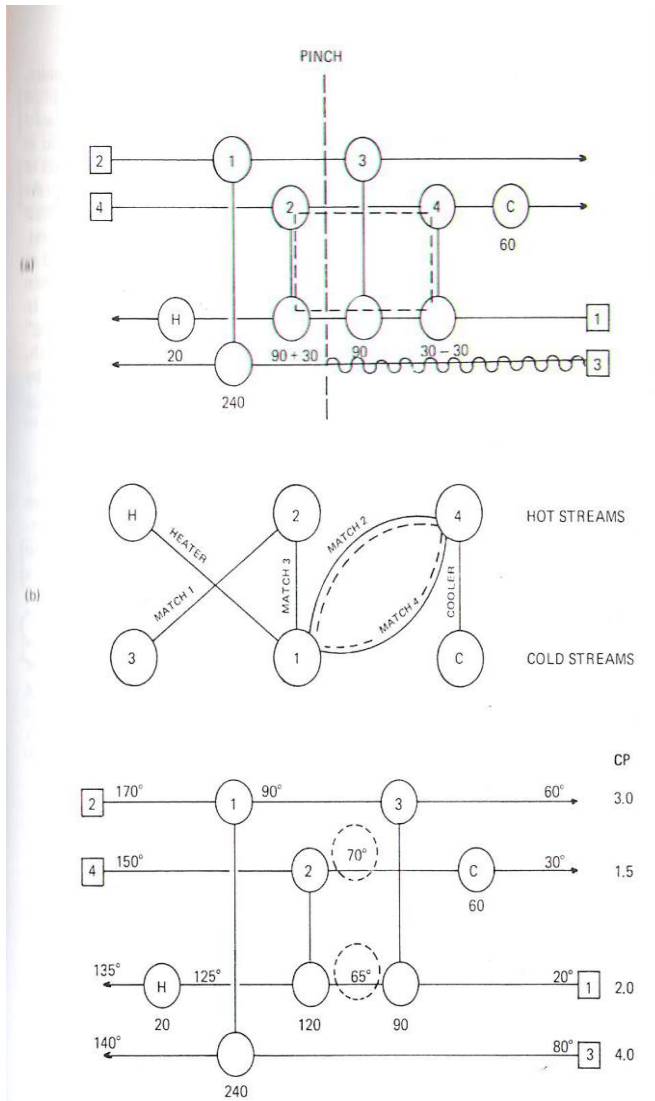
Adanya *loop* dalam sistem ini memasukkan sebuah unsur kefleksibelan (*fleksibility*) kedalam perencanaan.

Andaikan bahwa *match* baru antara [ST] dan [C₂] tersebut diberikan sebuah beban sebesar x unit, dengan kesetimbangan entalpi beban pada *match* [ST] – [C₁] berkurang menjadi $30 - x$; antara [C₁] – [H₁] menjadi $10 + x$ dan antara [H₁] – [C₂] menjadi $60 - x$, misalnya $x = 30$ maka *match* [ST] dan [C₁] menjadi hilang. Kefleksibelan

dalam perencanaan yang timbul dengan adanya *loop* kadang-kadang bermanfaat.

3.3. *TRADE OF UNIT* TERHADAP BIAYA KAPITAL

Ketika terdapat sebuah *loop* didalam sistem seperti pada gambar 3-4, beban pada salah satu *match* dalam *loop* tersebut dapat dipilih salah satu untuk di-nol-kan. Beban tersebut lalu dibawa oleh *match* yang satunya lagi. Jika dipilih *match* 4 menjadi nol, maka beban 30 kW berkurang dari nilai perencanaan, kemudian *match* 4 dieliminasi dan beban 30 kW tersebut harus dibawa oleh *match-match* lain dalam *loop* tersebut. Sehingga beban berubah dan temperatur dalam *network* dapat dihitung kembali seperti pada gambar 3-4.



Gambar 3-4: Pemecahan Loop

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Nilai ΔT pada ujung dingin match 2 kurang dari nilai yang diijinkan ($\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$). Temperatur sementara (yang salah) ditunjukkan dengan lingkaran putus-putus. Jadi akan terjadi penyimpangan $\Delta T_{\min}$ kemudian yang menjadi permasalahan adalah bagaimana $\Delta T_{\min}$ dapat dipulihkan kembali. Jawabannya ditunjukkan dalam gambar 3-5, yaitu dengan memanfaatkan “*Path*” melewati *network*.

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Path adalah sebuah sistem penghubung didalam *heat exchanger network* yang melewati aliran dan *exchanger* yang berada diantara *hot utility* dan *cold utility*. *Path* yang melewati *network* dalam gambar 3-5a tersebut digambarkan dalam bentuk titik-titik mulai dari *heater* sepanjang aliran 1 ke *match* 2 menembus *match* 2 menuju aliran 4 dan melintas sepanjang aliran 4 ke *cooler*.

Dengan menambah sebuah beban panas sebagai “X” ke *heater* kemudian dengan kesetimbangan entalpi beban pada *match* 2 harus dikurangi dengan “X” dan beban pada *cooler* bertambah sebesar “X”. Dengan cara ini secara efektif telah memasukkan panas ekstra sebesar “X” menembus *network*. Dengan demikian beban pada *match* 2 harus dikurangkan dengan “X”, sedang *match* 3 tidak berada dalam hubungan, sehingga bebannya tidak berubah dengan operasi ini. Oleh karena itu temperatur pada cairan 1 pada sisi panas *match* 3 sisa 65°C, bagaimanapun juga pengurangan beban pada *match* 2 harus menaikkan temperatur T_2 . Inilah sesungguhnya yang diinginkan untuk memulihkan ΔT_{min} . Jadi jelas terdapat hubungan sederhana antara “X” dan T_2 adalah $(120 - X)$ dibagi dengan CP aliran 4, sehingga didapat:

$$150^{\circ}\text{C} - \frac{(120 - X)}{1.5} = T_2$$

Logika yang sama juga dapat pula diterapkan untuk *cooler*:

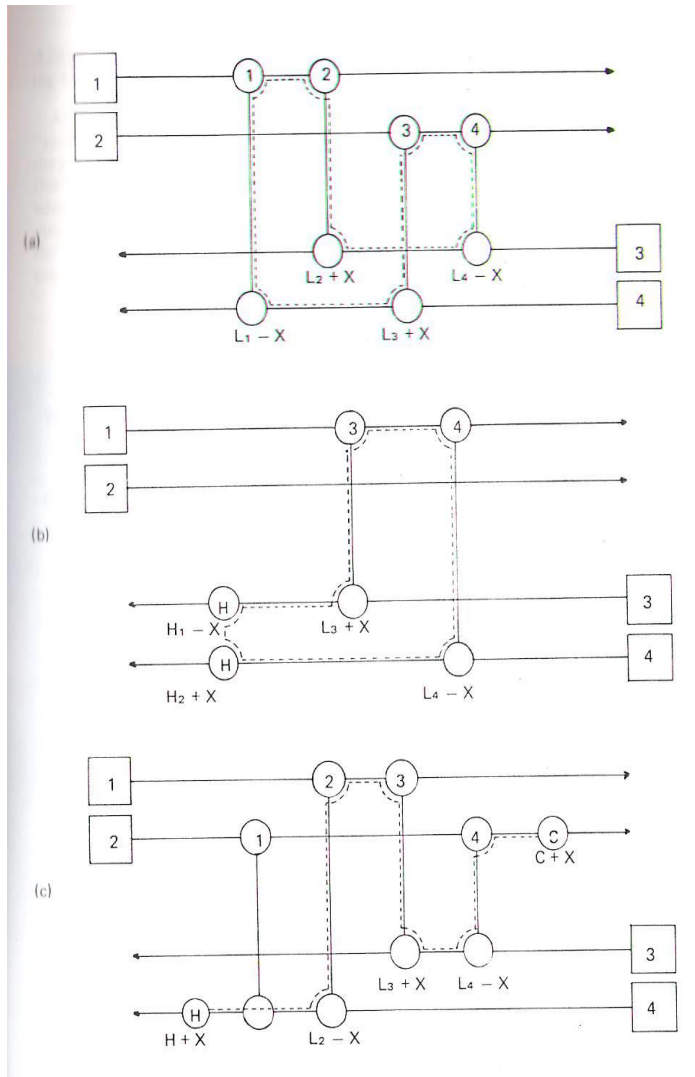
$$30^{\circ}\text{C} + \frac{(60 + X)}{1.5} = T_2$$

Pada saat $\Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$, T_2 akan dipulihkan sampai 75°C . Penyelesaian salah satu dari persamaan diatas dengan $T_2 = 75^{\circ}\text{C}$ akan menghasilkan $X = 7.5 \text{ kW}$, dengan pulihnya $\Delta T_{\min}$, 7.5 kW harus menjadi minimum energi yang dikorbankan untuk menghasilkan sebuah penyelesaian $U_{\min}$ dari penyelesaian $U_{\min}$, MER. Penyelesaian desain dengan jumlah unit yang lebih sedikit ditunjukkan pada gambar 3-5b dimana temperatur antara *heater* dan *match 2* pada aliran1 telah dihitung. Sebagai kesimpulan dari bahasan ini adalah prosedur untuk mengurangi unit dengan penambahan energi yang minimum antara lain:

- ◆ Identifikasi *loop* (yang menyeberangi *pinch*)
- ◆ Pecah *loop* tersebut dengan mengurangi dan menambahkan beban
- ◆ Hitung kembali temperatur *network* dan identifikasi penyimpangan $\Delta T_{\min}$
- ◆ Temukan garis relaksasi dan rumuskan $T = f(X)$

- ◆ Pulihkan $\Delta T_{\min}$
- ◆ Jika terjadi lebih dari satu *loop* dalam sistem, maka ulangi prosedur yang sama untuk *loop-loop* yang lain.

Gambar 3-6 mengilustrasikan beberapa aspek lain dari *loop*. *Loop* dalam gambar 3-6b adalah contoh sederhana yang hanya meliputi dua unit. Pada gambar 3-6c ditunjukkan salah satu *loop* yang lebih kompleks, meliputi empat unit. Akan tetapi bagaimanapun juga *loop* tersebut dapat dipecah dengan cara yang sama seperti sebelumnya, yaitu dengan menambahkan dan mengurangi beban sejumlah “X” pada *match* yang menjadi alternatif disepanjang *loop*.



Gambar 3-6: Loop dan Path yang kompleks

Sumber: B. Linnhoff, 1985

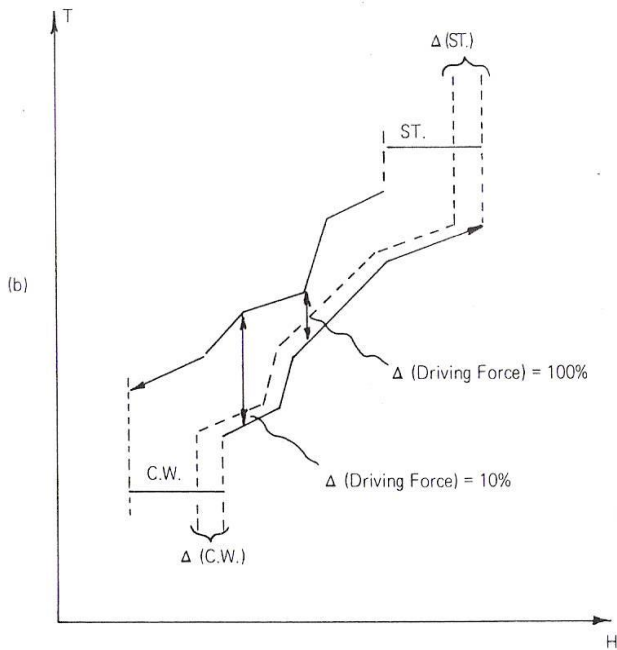
Pada gambar 3-6a, *loop* pecah ketika “X” menyamakan salah satu dari L_1 dan L_4 . Perlu diperhatikan bahwa penambahan dan pengurangan dapat dilakukan dalam berbagai cara, dimana dalam sistem ini *loop* juga akan pecah ketika “X” menyamakan salah satu dari L_2 atau L_3 .

Path yang kompleks ditunjukkan pada gambar 3-6c dan sekali lagi alternatif penambahan dan pengurangan beban “X” dioperasikan dengan cara yang persis sama seperti pada *path* yang sederhana. Catat bahwa walaupun *path* melewati *match1* pada contoh ini, namun *match 1* bukan merupakan bagian dari *path* tersebut. Beban pada *match 1* ini tidak berubah dengan adanya “*energy relaxation*” (yaitu proses pengurangan *energy recovery* dalam *heat exchanger network* dengan maksud penyederhanaan desain). Tetapi temperatur aliran 4 pada salah satu sisi berubah, ketika sebuah keadaan yang sama terjadi tanpa sebuah *loop* maka untuk *exchanger* yang tidak mengalami perubahan beban bisa saja terpengaruh. Oleh karena itu diperlukan perhitungan kembali semua temperatur setelah pemecahan *loop*.

3.4. KETENTUAN ΔT_{min}

Sejauh ini dapatlah dengan mudah dikatakan bahwa terdapat korelasi antara ΔT_{min} dan kebutuhan utiliti, serta dapat dengan mudah pula menentukan nilai ΔT_{min} . Masalahnya sekarang adalah menemukan nilai ekonomis dari ΔT_{min} dengan *trade off* antara energi terhadap biaya kapital.

Pengaruh ΔT_{min} terhadap pemakaian energi diilustrasikan pada gambar 3-7 dimana sistem mempunyai sebuah *pinch* yang ramping. Merubah ΔT_{min} akan mempunyai sejumlah besar efek yang dapat ditandai pada biaya kapital. Jika ΔT_{min} ditingkatkan dua kali lipat dari 10OC menjadi 20OC, maka perubahan dalam *driving force* (tenaga penggerak) pada pinch 100%. Bagaimanapun juga pada bagian yang jauh dari pinch dimana terdapat *driving force* kenaikan hanya sebesar 100%.



Gambar 3-7: Pengaruh Nilai ΔT_{min}

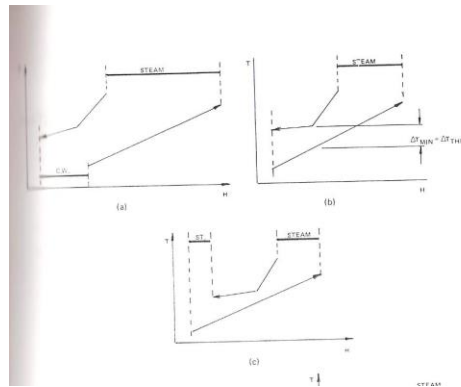
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Hal ini mengahruskan adanya sebuah metode yang cepat untuk menemukan nilai ΔT_{min} optimum. Dengan hanya memperhatikan desain dalam bagian *pinch* saja, maka dapat dihasilkan dengan metode desain *pinch*, dan diasumsikan bahwa perubahan dalam ΔT_{min} mempengaruhi biaya desain *pinch* saja, sehingga biaya kapital dapat dioptimalkan terhadap biaya utiliti tanpa memperhatikan *network* secara lengkap.

Nilai $\Delta T_{\min}$ dapat dicari dengan menggunakan komposit kurva, tetapi dapat dicatat bahwa penggunaan *experience value* (nilai yang didapat dari pengalaman) dari $\Delta T_{\min}$ kadang-kadang cukup baik untuk *targetting* dan perencanaan pertama.

Dalam pembahasan *targetting energy* dan *composite curve* (gambar 3-8a) sepasang kurva komposit digambarkan relatif satu sama lain pada T-H diagram. Dimana *steam* dan *cooling water* keduanya dibutuhkan. Jika nilai $\Delta T_{\min}$ dikurangi dengan menggeser kurva secara bersamaan yang akan mencapai pada sebuah titik dimana salah satu utiliti hilang seperti pada gambar 3-8b.

Dalam kasus tersebut, kebutuhan *cooling* hilang, nilai $\Delta T_{\min}$ dalam keadaan ini dinamakan " $\Delta T_{\text{threshold}}$ ". Dimana *threshold problem* itu sendiri adalah problem *heat recovey* yang menunjukkan karakteristik dari kebutuhan salah satu *hot utility* saja atau hanya *cold utility* diatas range nilai $\Delta T_{\min}$ mulai dari nol meningkat sampai pada sebuah *threshold*.



Gambar 3-8: *Threshold problem*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Hal ini tidak menyebabkan perubahan lebih baik dalam kebutuhan utiliti. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya untuk maksud praktis dapat digunakan “*experience value*” ΔT_{min} , dimana untuk *boiller house* dapat mencapai 50°C , untuk proses *heavy chemical* umumnya adalah 20°C , dan untuk sistem *refrigerasi* adalah 5°C .

BAB 4

STRATEGI PERENCANAAN

4.1. PEMECAHAN ALIRAN (*STREAM SPLITTING*)

Pada gambar 4-1, ditunjukkan sebuah set aliran bagian diatas *pinch*. Untuk desain MER, *utility cooling* tidak boleh

digunakan diatas *pinch* yang berarti bahwa semua aliran panas harus didinginkan sampai pada temperatur *pinch*. Pada gambar 4-1a, terdapat tiga aliran panas dan dua aliran dingin, tanpa melihat CP masing-masing aliran dapat diketahui bahwa salah satu dari aliran panas tidak dapat didinginkan dengan jalan *interchange*.

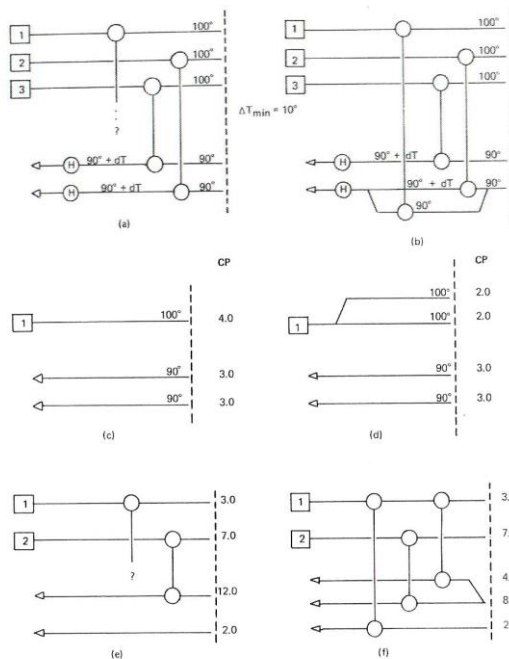
Jalan keluar satu-satunya dari keadaan ini adalah memecah sebuah aliran dingin menjadi dua sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4-1b, dalam bentuk dua cabang paralel. Sekarang jumlah aliran dingin ditambah dengan aliran cabang sama dengan jumlah aliran panas. Sehingga semua aliran panas sekarang dapat didinginkan sampai pada temperatur *pinch* dengan menggunakan *interchange*. Oleh karena itu, dalam penjumlahan ke kriteria CP seperti yang dijelaskan sebelumnya, maka didapatkan kriteria *feasibility* “*number count*” (jumlah hitungan) dimana untuk bagian diatas *pinch* berlaku:

$$N_{HOT} < N_{COLD}$$

dimana:

N_{HOT} = Jumlah cabang-cabang aliran panas pada *pinch* (termasuk *split stream*)

N_{COLD} = Jumlah cabang-cabang aliran dingin pada *pinch* (termasuk *split stream*)



Gambar 4-1: Metode Pemecahan Aliran

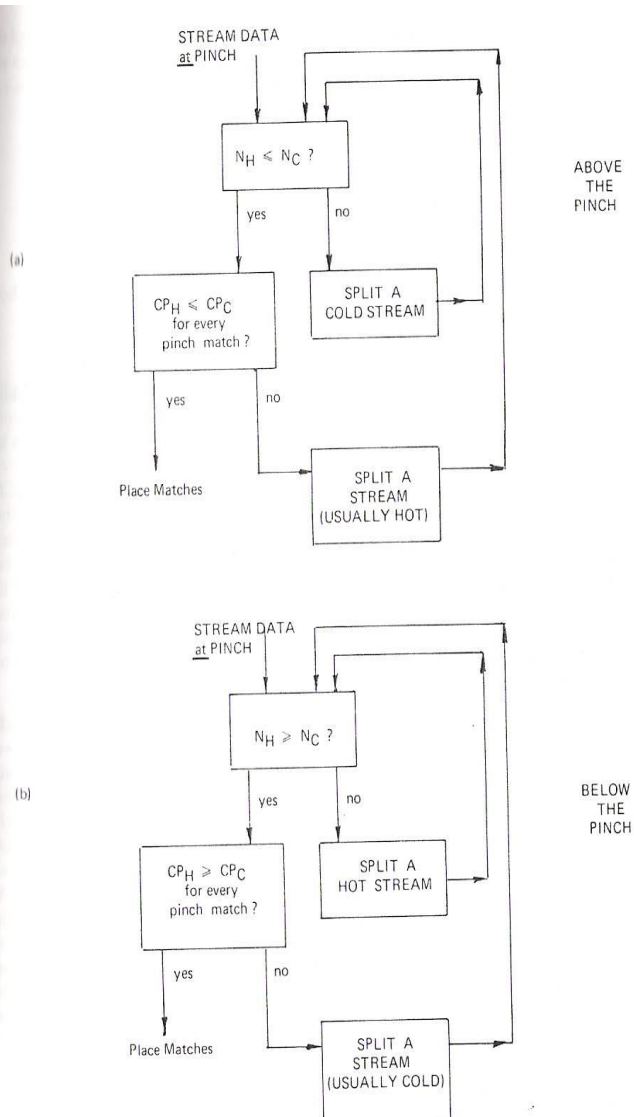
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Pada gambar 4-1, kriteria *number count* terpenuhi dimana satu aliran panas terhadap dua aliran dingin, tetapi untuk kriteria CP diatas *pinch* adalah:

$$CP_{HOT} < CP_{COLD}$$

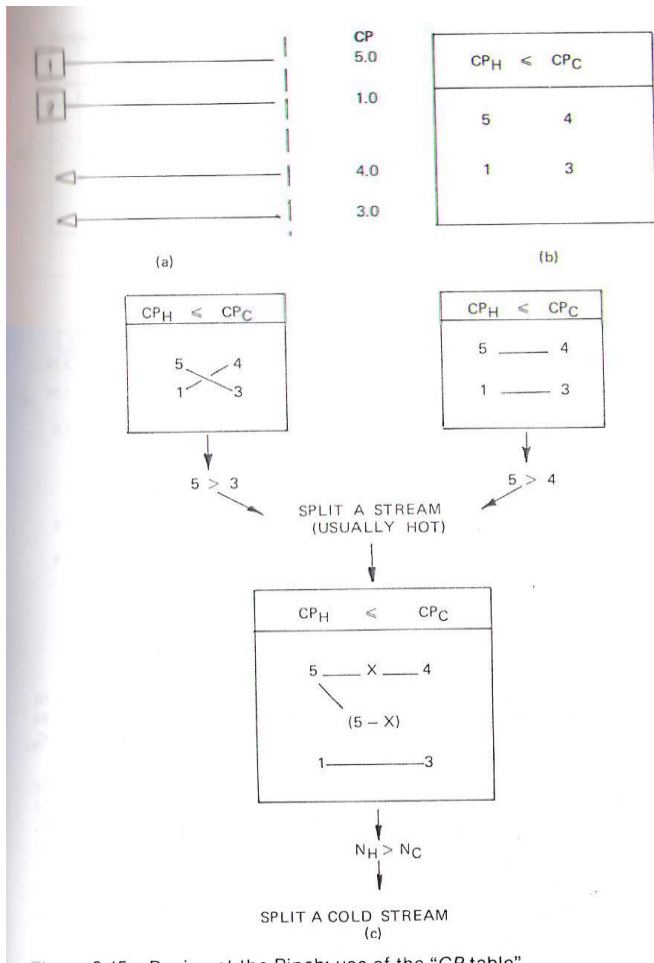
Dalam contoh ini penyelesaiannya adalah dengan membagi aliran panas sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4-1d, tetapi kadang-kadang lebih baik memecah aliran dingin seperti pada gambar 4-1e dan 4-1f. Untuk gambar 4-1e, kriteria jumlah hitungan memenuhi, tetapi setelah diterapkan kriteria CP, *match* antara aliran panas dengan CP=7 dan aliran dingin dengan CP=2 memenuhi, sedangkan sisa aliran panas dengan CP=3.0 tidak bisa dibuat *match* dengan aliran dingin yang mempunyai CP=2.

Jika sekarang sebuah aliran panas akan dipecah, kriteria “*number count*” tidak akan memenuhi, sehingga sebuah aliran dinginlah yang harus dipecah, dan lebih baik memecah aliran dingin yang mempunyai CP besar (gambar 4-1f) yang menghasilkan penyelesaian dengan hanya satu pecahan.



Gambar 4-2: Diagram Alir Prosedur Pemecahan Aliran
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Prosedur secara bertahap untuk melakukan pemecahan aliran ditunjukkan pada gambar 4-2b untuk bagian dibawah *pinch*. Prosedur dalam gambar 4-2 diilustrasikan dalam contoh pada gambar 4-3. data aliran diatas *pinch* ditunjukkan dalam gambar 4-3a dan data CP ditabelkan dalam gambar 4-3b yang disebut *CP-Table*. CP aliran panas ditabulasikan pada kolom sebelah kiri dan CP aliran dingin pada kolom kanan, sementara itu kriteria CP yang relevan dicatatkan dalam kotak diatas tabel.

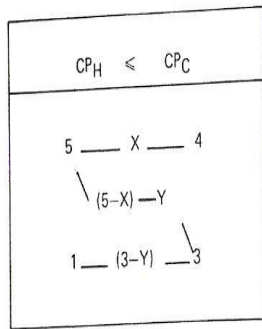


Gambar 4-3: Pemecahan Aliran Dengan Menggunakan Tabel CP

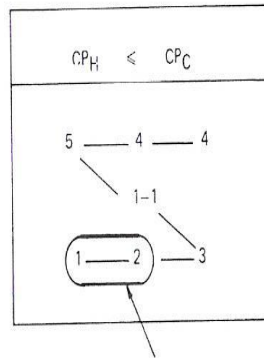
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Terdapat dua kemungkinan cara untuk meletakkan aliran-aliran dalam dua match seperti pada bagian atas gambar 4-3c.

Match dengan aliran panas $CP=5$ adalah tidak mungkin, oleh karena itu aliran ini harus dipecah kedalam cabang-cabang dengan $CP=X$ dan $CP=5 - X$ seperti dalam tabel bagian bawah gambar 4-4c. Sekarang aliran panas dengan $CP=X$ dan $CP = 5 - X$ dapat pasangan, yaitu tidak memenuhi kriteria jumlah hitungan.

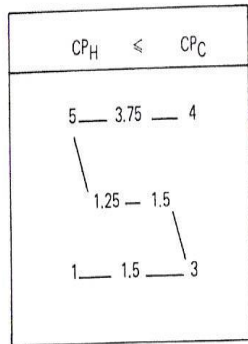


(a)

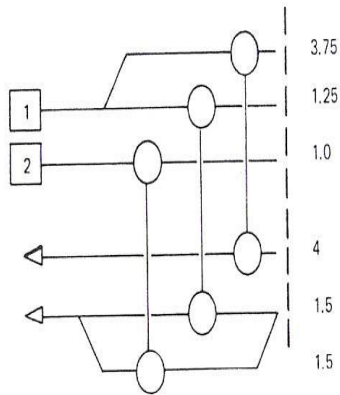


All available "slack"
concentrated in this match

(b)



(c)



(d)

Gambar 4-4: Desain Setelah Pemecahan Aliran

Sumber: B. Linnhoff, 1985

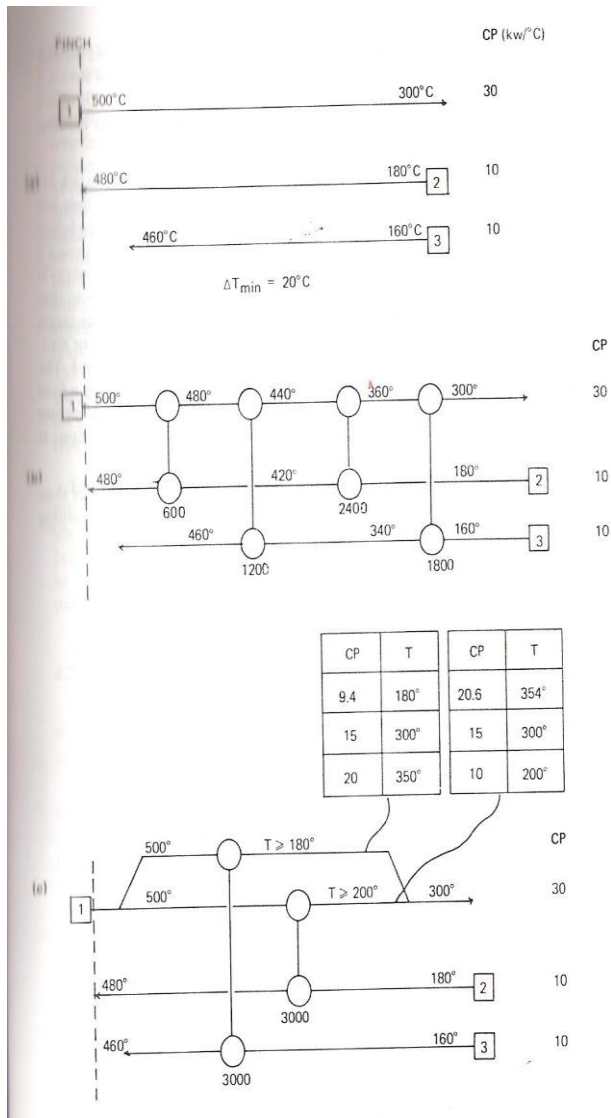
Oleh karena itu sebuah aliran dingin harus dipecah, salah satu dari yang mempunyai $CP=4$ atau $CP=3$. $CP_C= 3$ di pecah kedalam dua cabang dengan $CP=Y$, dan $CP_C= 3-Y$. Untuk mendapatkan nilai X dan Y , maka harus didapatkan persamaan CP dari semua *match*, sehingga pada gambar 4-4b didapatkan nilai $X=4$ dan $Y=1$, maka diperoleh desain akhir seperti pada gambar 4-4d.

4.2. PERENCANAAN UNTUK DAERAH JAUH DARI *PINCH*

Perhatikan contoh yang ditunjukkan pada gambar 4-5a, analisa data aliran menunjukkan sebuah *pinch* terjadi pada temperatur suplai aliran 1 dan temperatur target aliran 2, serta tidak ada kebutuhan *hot utility* maupun *cold utility*. Jadi sistem tersebut sepenuhnya berada dibawah *pinch* dengan hanya satu *match pinch* yang memungkinkan, yaitu antara aliran 1 dan aliran 2. Ini merupakan *match* yang mungkin ($CP_{Hot} > CP_{Cold}$) tetapi jika beban dimaksimalkan untuk memanaskan aliran2 sampai temperatur target (dengan beban 3000 unit panas), maka setelah itu aliran 1 temperatur akan turun menjadi 400°C . Dengan demikian sisa panas yang masih tersedia tidak lagi cukup panas

untuk alirkan pada aliran 3 sampai pada temperatur target yaitu 460°C . Sedangkan proses pemanasan dengan *heater* dibawah *pinch* tidak diijinkan untuk penyelesaian sebuah desain MER.

Sebuah strategi alternatif ditunjukkan dalam gambar 405b, beban pada *match pinch* terbatas sampai 6000 kW, maka aliran1 masih meninggalkan cukup panas pada temperatur 480°C untuk diberikan pada aliran 3 sampai pada temperatur target. Bagaimanapun juga *match* berikutnya antara aliran 1 dan aliran 3 juga tidak bisa dimaksimalkan bebannya, karena pada kondisi tersebut aliran 2 harus dinaikkan sampai 420°C oleh aliran 1. Beban pada *match* kedua antara aliran 1 dan 2 harus dibatasi sehingga memungkinkan adanya *match* terakhir, yaitu antara aliran 1 dan aliran 3 untuk menyelesaikan desain MER ini.



Gambar 4-5: Perencanaan Jauh dari *Pinch*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Fenomena ini menyebabkan pengulangan *match* pada pasangan aliran yang sama, ini dikenal dengan nama *Cycling Matching*. *Cycling Matching* selalu mengarah pada struktur-struktur yang mengandung *loop* dan oleh karena itu menyebabkan pemakaian unit yang melebihi jumlah minimum. Satu-satunya cara untuk menghindari *Cycling Matching* adalah menggunakan pemecahan aliran jauh dari *pinch*. Pada gambar 4-5c, aliran 1 yang termasuk besar dipecah kedalam dua cabang yang paralel dan masing-masing cabang dibuat *match* secara terpisah kesebuah aliran dingin. Dengan cara ini dapat mencegah fenomena pengulangan dari *match* tersebut sekarang dapat dimaksimalkan dan sebuah desain MER dapat dihasilkan. Sebagai catatan, bahwa desain dengan pemecahan aliran memberikan unsur ke-fleksibelan pada perencanaan *network*.

Laju massa aliran cabang dapat dipilih dengan penentuan-penentuan yang terbatas oleh temperatur suplai aliran dingin. Maka jika aliran cabang dibuat *match* terhadap aliran 3, maka aliran 3 didinginkan sampai 180°C (minimum yang diijinkan) dan akan mempunyai $\text{CP} = 9,4$ dan dengan keseimbangan massa CP dari cabang yang

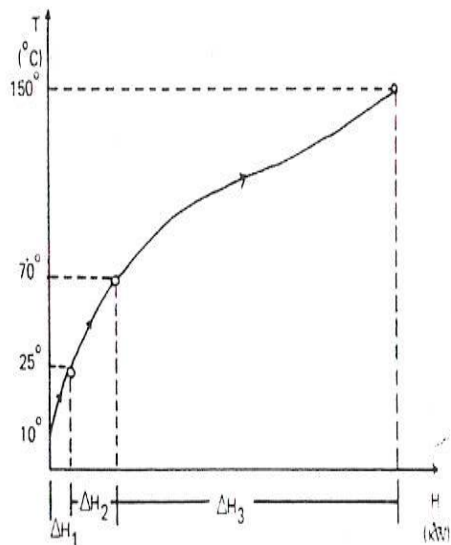
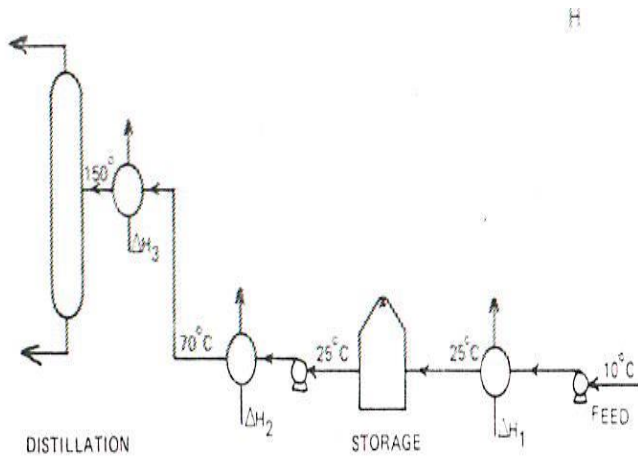
lain akan menjadi 20,6. CP = 20,6 dalam cabang tersebut dibuatkan *match* terhadap aliran 2 yang mengakibatkan temperatur keluaran pada cabang ini 354°C yang lebih tinggi dibandingkan dengan minimum yang digunakan (200°C). Argumen yang sama dapat diterapkan untuk menetapkan set yang lain dari limit-limit yang didasarkan pada temperatur suplai aliran 2. Cabang tersebut dibuat *match* dengan aliran 2 sehingga mempunyai CP = 20 dan temperatur keluaran 350°C. CP dari cabang dibuat *match* dengan aliran 3, oleh karenanya dapat bervariasi antara 9 – 4 dan 20 dengan batas-batas paralel pada cabang yang lain menjadi 20,8 dan 10. Hasil ini disimpulkan pada gambar 4-5c. Tipe ke-fleksibelan dalam desain *stream split* ini sangat berguna.

Sebagai kesimpulan, sewaktu-waktu desainer terjebak dalam kesulitan untuk menerapkan aturan *ticking-off*, untuk itu desainer harus berusaha menemukan sebuah desain *stream split* sebelum terpaksa menggunakan *cycling matching*. Bagaimanapun juga, *stream split* akan menambah ke-komplekkan pada *network* tetapi juga ke-fleksibelan, oleh karena itu jika dengan *non-stream split*, penyelesaian $U_{\min}$ dapat ditemukan. Catatan, bahwa

stream splitting tidak dapat mengurangi jumlah dari unit dibawah nilai target.

4.3. PEMILIHAN ALIRAN

Perhatikan aliran destilasi pada gambar 4-6, permasalahannya adalah berapa aliran yang harus digunakan untuk menggambarkannya. Andaikan tiga aliran diambil untuk menggambarkan yaitu satu dari 10°C ke 25°C , atau dari 25°C ke 70°C , dan satu lagi dari 70°C ke 150°C , maka tidak ada sesuatu yang baru untuk dapat memperbaiki desain tersebut.

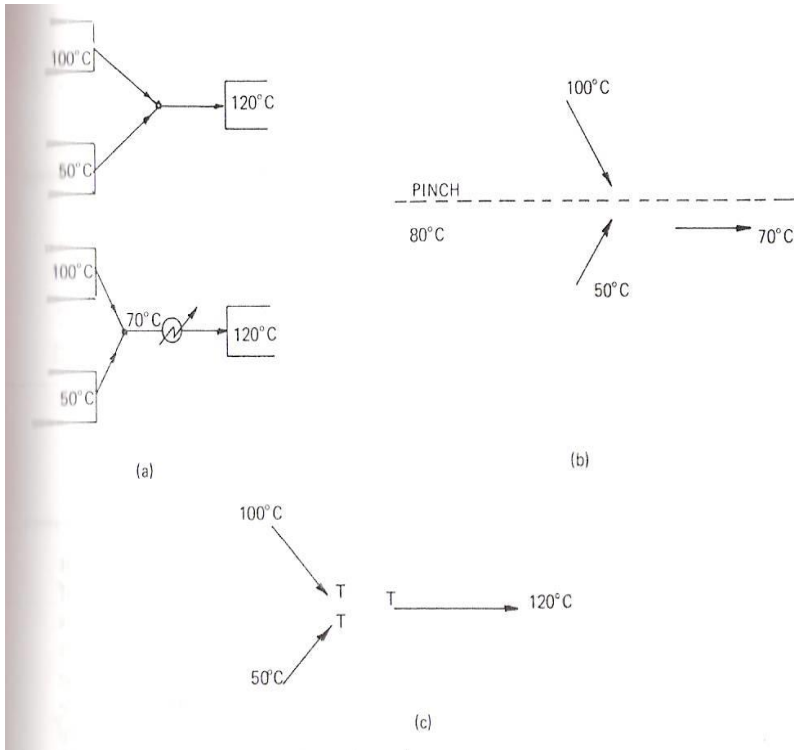


Gambar 4-6: Pemilihan Aliran
Sumber: B. Linnhoff, 1985

Andaikan diambil dua aliran, dari 10°C ke 25°C , *temperature storage* dan dari 25°C ke 150°C yaitu temperatur masukan *destilater*, sekarang terdapat kesempatan untuk menemukan *match* yang berbeda dari desain semula dan memperbaiki desain, atau bahkan dapat hanya diambil satu aliran saja, yaitu dari temperatur 10°C ke temperatur 150°C , karena bagaimanapun juga *temperature storage* 25°C adalah mungkin bukan temperatur kritis sehingga dapat dilewati. Jadi untuk dapat mulai mengidentifikasi *energy recovery*, maka diperlukan pula pemilihan aliran proses. Karena dengan begitu, maka akan terbuka kesempatan untuk memperbaiki desain, tetapi bagaimanapun juga dalam menentukan aliran perlu diperhatikan reaksi-reaksi yang terjadi didalam proses aliran, misalnya proses yang terjadi di dapur atau yang lainnya, untuk itu hal ini tidak dapat dilewati begitu saja.

Kesulitan lain adalah untuk menentukan aliran yang terjadi pada *mixing* dan *splitting*. Gambar 4-6a menunjukkan dua aliran dingin yang keluar dari unit terpisah pada temperatur suplai berbeda kemudian bercampur (*mixing*) dan membutuhkan pemanasan sampai pada temperatur target. Sistem tersebut sebenarnya hanya satu aliran seperti pada

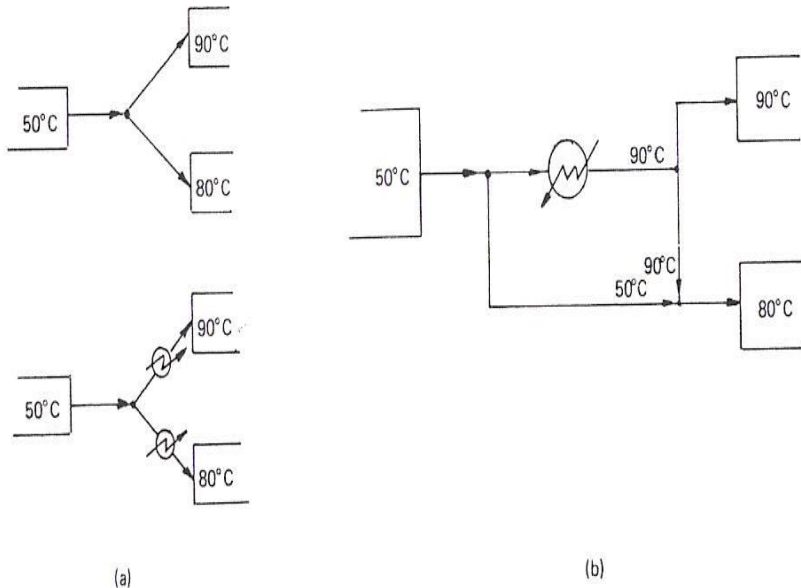
gambar 4-7a, oleh karenanya aliran tersebut dapat dipenuhi hanya oleh satu unit, maka *mixing* harus diasumsikan isothermal seperti pada gambar 4-7c.



Gambar 4-7: Penentuan Aliran *Mixing*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Untuk pemecahan aliran dimana aliran cabangnya mempunyai temperatur target yang berbeda dan keduanya tidak akan bergabung lagi, diilustrasikan pada gambar 4-8.



Gambar 4-8: Penentuan Aliran *Splitting*

Sumber: B. Linnhoff, 1985

Dalam sistem seperti itu, dua unit dibutuhkan karena adanya perbedaan temperatur target, karena itu targetting biaya kapital sistem digambarkan oleh dua aliran. Begitu juga untuk targetting energi, dua temperatur target yang berbeda berarti dua aliran. Bagaimanapun juga hal tersebut dapat dihindarkan dengan jalan *by passing* dan *mixing* seperti digambarkan pada gambar 4-8b, dimana desain unit kedua diganti dengan *by mixing junction*.

SOAL LATIHAN

Soal 1:

Suatu PLTU mempunyai konfigurasi Penukar Kalor dengan jaringan aliran-aliran sebagai berikut :

Nomor Aliran	Jenis Aliran	T_{suplai} T_s ($^{\circ}\text{C}$)	T_{target} T_t ($^{\circ}\text{C}$)	m (Kj/Kg)	cp (Kj/Kg $^{\circ}\text{C}$)	CP (Kw/ $^{\circ}\text{C}$)
1	Panas	538	180	189	1,996	377,244
2	Dingin	283	317	189	5,021	948,969
3	Dingin	249	283	189	4,296	811,944
4	Panas	498	41	138	1,985	274,500
5	Dingin	142	276	138	4,295	592,700

Diketahui, $\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow \frac{1}{2} \Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$

1. Tentukan Temperatur Pinch dengan cara Problem Table
2. Rencanakan MER (Maksimum Energy recovery) untuk jaringan tersebut diatas.

Soal 2:

Suatu PLTU mempunyai konfigurasi Penukar Kalor dengan jaringan aliran-aliran sebagai berikut :

Nomor Aliran	Jenis Aliran	T _{suplai} T _s (°C)	T _{target} T _t (°C)	m (Kj/Kg)	cp (Kj/Kg °C)	CP (Kw/°C)
1	Panas	538	180	189	1,996	377,244
2	Dingin	283	317	189	5,021	948,969
3	Dingin	249	283	189	4,296	811,944
4	Dingin	218	249	189	4,231	799,659
5	Dingin	317	538	189	5,705	1.078,245
6	Dingin	280	538	145	5,023	728,000
7	Panas	498	41	138	1,985	274,500
8	Dingin	142	276	138	4,295	592,700
9	Dingin	108	142	138	4,216	581,800
10	Dingin	74	108	138	4,192	578,500
11	Dingin	41	74	108	4,208	454,500

Diketahui, $\Delta T_{\min} = 20^{\circ}\text{C} \Rightarrow \frac{1}{2} \Delta T_{\min} = 10^{\circ}\text{C}$

1. Tentukan Temperatur Pinch dengan cara Problem Table
2. Rencanakan MER (Maksimum Energy recovery) untuk jaringan tersebut diatas.

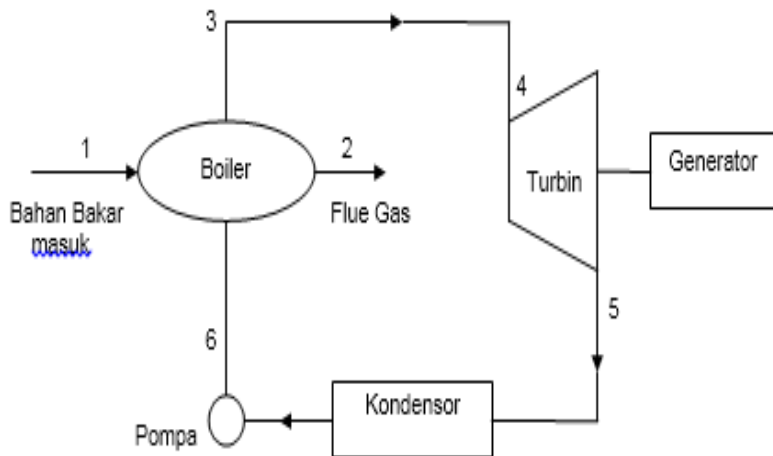
3. Rencanakan MER dengan jumlah Minimum Unit dengan cara Looping/Pathing.

Soal 3:

Suatu instalasi uap PLTU dengan siklus tertutup mempunyai data-data sbb:

- Nilai pembakaran bahan bakar
= 10.500 BTU/lb
- Temperatur pembakaran adiabatik
= 3600 °F
- Kerugian panas pada furnace
= 15 %
- Perbandingan massa Flue Gas : Bahan Bakar
= 18 : 1
- Perbandingan massa Uap : massa Bahan Bakar
= 9 : 1
- Steam Pressure (tekanan uap)
= 1.500 Psia
- Pressure Drop Boiler ke Turbin
= 150 Psia
- Efisiensi Turbin
= 85 %
- Kondisi pembangkit adalah cairan dengan temperatur 70 °F dan tekanan 0,36 Psia dengan

enthalpy = 38 BTU/lb dan entropy = 0,0745 BTU/lb^oR



Tabel kondisi Operasi dari instalasi :

Titik	Temp. (°F)	Tekanan (Psia)	Enthalpy (BTU/lb)	Entropy (BTU/lb°F)	Exergy (BTU/lb BB)
1	3.600	15,2	10.500		10.500
2					9.100
3	950	1.500	1.562	1,7112	5.230
4	935	1.350	1.553	1,6212	5.150
5	92	0,7	985	1,850	200
6	92	0,7	60	0,15	10

Buatlah :

- 1) Analisis Neraca Panas Konvensional Instalasi Tab.
- 2) Analisa Exergy selengkap-lengkapnnya Instalasi Tab.

DAFTAR PUSTAKA

Ahern, John E., 1980. "*The Exergy Method of Energy System Analysis*", New York: John Wiley and Sons Inc.

B. Linnhoff., 1985. "*A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy*", England: The Institution of Chemical Engineers.

Rao, Y.V.C., 1993. "*An Introduction to Thermodynamics*", New Delhi: Wiley Eastern Limited.