



PEMETAAN EFISIENSI ENERGI *HEAT EXCHANGERS NETWORKS*
DI PT. PJB UBJ O&M PLTU REMBANG
DENGAN METODE *PINCH*

SKRIPSI

Oleh

AHMAD ROSID
NIM. 121910101060

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016



PEMETAAN EFISIENSI ENERGI *HEAT EXCHANGERS NETWORKS*
DI PT. PJB UBJ O&M PLTU REMBANG
DENGAN METODE *PINCH*

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

AHMAD ROSID
NIM. 121910101060

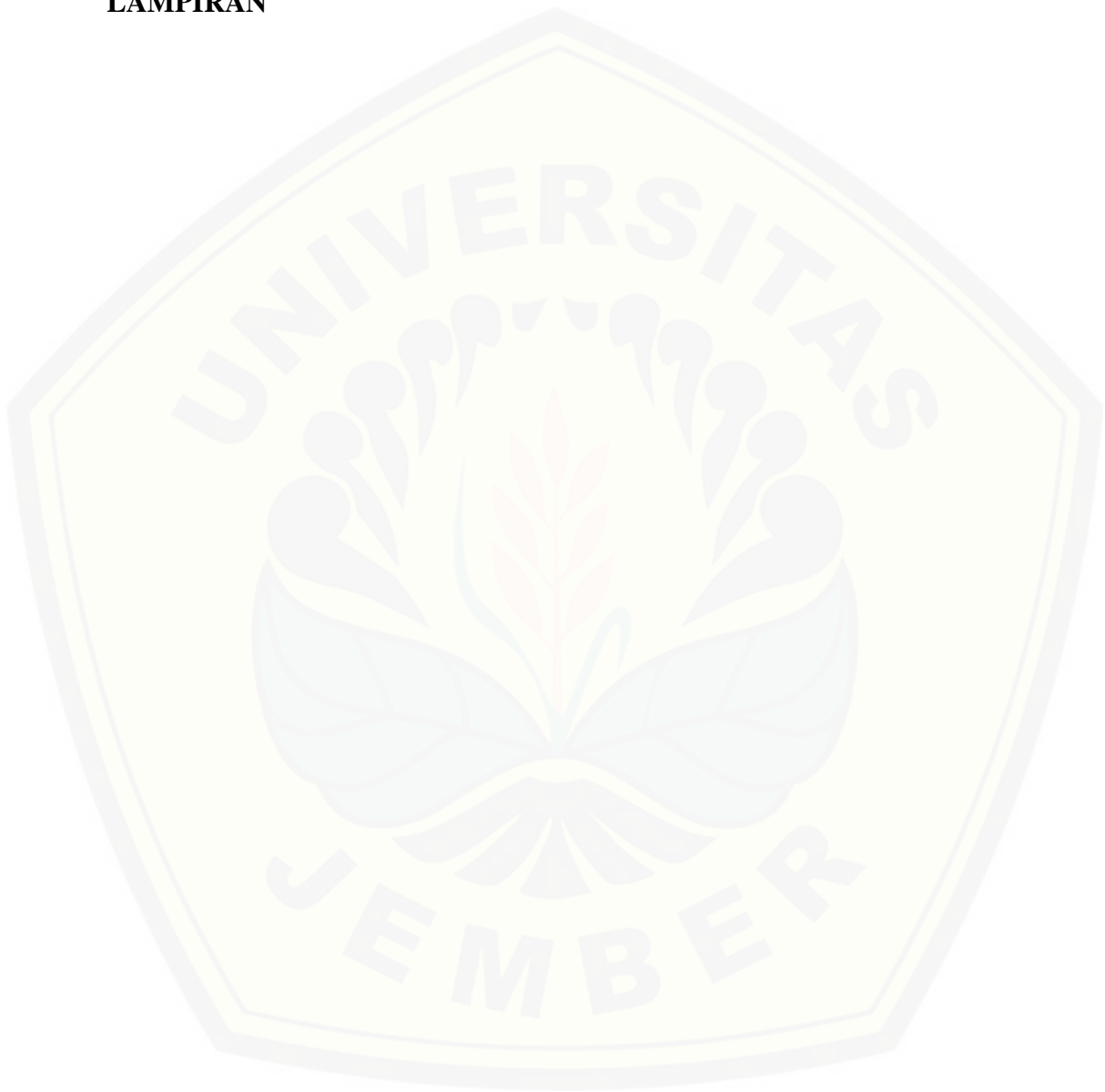
PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
Tujuan	3
Manfaat	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Hipotesis	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	5
2.2 Heat Exchanger	7
2.2.1 Perhitungan Heat Exchanger	8
2.2.2 Efisiensi Thermal Heat Exchange	11
2.3 Heat exchanger Networ (HEN)	12
2.4 Analsis Pinch	13
2.4.1 Proses Analisis	14
2.5 Head Loss	21
2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi	21
2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi	23
2.5.3 Bilangan Reynold	25

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Metodologi Penelitian	26
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.3 Data dan Peralatan	26
3.3.1 Data	26
3.3.2 Peralatan	27
3.4 Variabel Penelitian	27
3.4.1 Variabel Bebas	27
3.4.2 Variabel Terikat	27
3.5 Prosedur Penelitian	27
3.5.1 Pengambilan Data	27
3.5.2 Tahap Pengolahan Data	28
3.5.3 Tahap Analisa Data	29
3.6 Diagram Alur Penelitian	29
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Ekstraksi Data	31
4.1.1 Konservasi massa	31
4.1.2 Perhitungan Temperatur Input	32
4.1.3 Kapasitas Panas	33
4.1.4 <i>Head Load</i>	33
4.1.5 Problem Tabel	34
4.2 Shifted Temperature	35
4.2.1 Problem Tabel	35
4.2.2 <i>Cascade Diagram</i>	41
4.2.3 Kurva Komposit	45
4.2.4 Kurva Grand Komposit	47
4.2.4 Diagram grid/ <i>Retrofit HEN</i>	48
4.3 Analisis Hasil	50
4.3.1 Utilitas Panas dan Utilitas Dingin	50
4.3.2 Efisiensi	51

BAB 5. PENUTUP	53
4.1 Kesimpulan	53
4.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR TABEL

2.1 Konduktivitas beberapa material	23
3.1 Data hasil pengukuran	28
3.2 Problem tabel	29
4.1 Problem tabel	34
4.2 Problem tabel $T_{\min} = 10^{\circ} \text{C}$	35
4.3 Problem tabel $T_{\min} = 15^{\circ} \text{C}$	36
4.4 Problem tabel $T_{\min} = 20^{\circ} \text{C}$	36
4.5 Problem tabel algoritma $T_{\min} = 0^{\circ} \text{C}$ (T_{\min} awala).....	37
4.6 Problem tabel algoritma $T_{\min} = 10^{\circ} \text{C}$	38
4.7 Problem tabel algoritma $T_{\min} = 15^{\circ} \text{C}$	39
4.8 Problem tabel algoritma $T_{\min} = 20^{\circ} \text{C}$	40
4.9 Hasil utilitas panas dan dingin	50
4.10 Efisiensi HEN	51

DAFTAR GAMBAR

2.1 Skema pembangkit listrik tenaga uap dan siklus rankine	5
2.2 Skematik peralatan pembangkit listrik tenaga uap	6
2.3 Tipe Heat Exchanger.....	8
2.4 Variasi temperatur fluida pada HE aliran paralel.....	9
2.5 Variasi temperatur fluida pada HE aliran berlawanan	10
2.6 Kurva komposit dengan MER	11
2.7 HEN dan sumber alirannya pada suatu PLTU	12
2.8 Problem tabel algoritma	16
2.9 Grafik area or cost vs T_{min}	17
2.10 T_{min} optimum pada HEN	17
2.11 Diagram cascade	18
2.12 Kurva komposit.....	19
2.13 Kurva gran komposit.....	20
2.14 Grid diagram	21
2.15 Perpindahan panas konduksi pada dinding	21
2.16 Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat	24
3.1 Diagram alir penelitian	30
4.1 konstruksi aliran masuk HE	32
4.2 Diagram <i>cascade</i> $T_{min} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	41
4.3 Diagram <i>cascade</i> $T_{min} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	42
4.4 Diagram <i>cascade</i> $T_{min} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	43
4.5 Diagram <i>cascade</i> $T_{min} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	44
4.6 Kurva komposit masing-masing T_{min}	45
4.7 <i>Shifted composite curve</i> masing-masing T_{min}	46
4.8 Kurva grand komposit masing-masing T_{min}	47
4.9 Diagram Grid $T_{min} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.10 Diagram Grid $T_{min} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
4.11 Diagram Grid $T_{min} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
4.12 Grafik utilitas panas dan dingin	50
4.12 Grafik utilitas panas dan dingin	51

DAFTAR LAMPIRAN

A. TABEL DAN PERHITUNGAN	55
A.1 P_m dan T_m masukan LPH 7&8	70
A.2 Laju aliran massa panas	75
A.3 <i>Supply Temperature Mixing</i>	78
A.4 Losses Panas	79
A.5 Kapasitas panas pada aliran dingin	85
A.6 Energi atau <i>heat load</i> (H) pada aliran dingin	86
A.7 <i>Heat load</i> pada aliran panas	87
A.8 Kapasitas panas pada aliran panas	88
A.9 Efisiensi.....	108
B. FOTO PENELITIAN.....	109

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

IEA (2008) dalam Fleiter, dkk (2012) mengatakan bahwa Efisiensi energi di indikasikan sebagai elemen kunci dalam melakukan perkembangan secara berkelanjutan. Efisiensi energi menggambarkan kemampuan suatu sistem dalam memanfaatkan sumber energi untuk melakukan kerja. Efisiensi energi secara tidak langsung berkontribusi dalam mengurangi penggunaan sumber energi (bahan bakar) dan mengurangi emisi gas rumah kaca serta dapat meningkatkan daya saing perusahaan.

Energi listrik adalah energi yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat, karena sifatnya yang mudah di pindahkan dan mudah untuk dikonfersi ke bentuk lain. Energi listrik merupakan energi yang siap guna dan tidak diperlukana mekanisme yang rumit untuk memanfaatkannya. Energi listrik juga memiliki tingkat ekonomis yang lebih baik dibandingkan sumber energi lainnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik konvensional yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin (Anggriani dan Effendie, 2012). PT. Pembangkitan Jawa – Bali Unit Bisnis Jasa O&M Rembang merupakan salah satu perusahaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mensuplai energi listrik untuk wilayah Jawa dan Bali dengan kapasitas 2 x 315 MW yang menggunakan batubara sebagai bahan bakarnya. PLTU ini akan memerlukan batubara dalam jumlah besar untuk memenuhi kapasitas produksi listrik yang begitu besar, sehingga diperlukan suatu usaha untuk mengoptimalkan kinerja PLTU Rembang. Optimalisasi penggunaan energi di PT. PJB UBJ O&M PLTU Rembang dapat dilakukan antara lain dengan melakukan modifikasi *heat exchanger networks*

(HEN) pada aliran *feedwater*, sehingga di peroleh optimasi energi yang lebih baik dan salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Pinch* atau *Pinch* teknologi.

Metode *Pinch* adalah suatu metode pendekatan yang tepat dan terstruktur sehingga memungkinkan digunakan untuk menanggulangi berbagai perbaikan yang berkaitan dengan proses dan peralatan. Metode *Pinch* memberikan peluang-peluang seperti mengurangi biaya operasi, memudahkan proses, meningkatkan efisiensi, pengurangan dan perencanaan investasi modal (Natural Resources Canada,2003). Metode *Pinch* pertama kali diperkenalkan oleh Bodo Linhoff pada tahun 1991 untuk menggambarkan suatu metodologi secara termodinamik yang menjamin penggunaan level energi minimum pada desain *heat exchanger networks* (HEN).

Penelitian terdahulu oleh Eskandari dan Behzad (2009) menyatakan bahwa dengan menggunakan metode *Pinch* akan dapat meningkatkan efisiensi PLTU sebesar 0,32% dari sebelumnya sebesar 41,97% menjadi 42,29% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 0,8 kg/s dari sebelumnya sebesar 13,85 kg/s menjadi 13,05 kg/s. Pada penelitian tersebut peningkatan efisiensi serta penurunan konsumsi bahan bakar yang diperoleh tidak terlalu signifikan, namun pada pengoperasian jangka panjang akan diperoleh pengurangan biaya operasional yang relatif besar.

Ple u, dkk (2014) melakukan penelitian untuk mengurangi konsumsi energi pada proses destilisasi biodiesel sintesis menggunakan metode *Pinch*. Ple u dkk menggunakan metode *Pinch* untuk menganalisis kebutuhan energi minimum pada suatu sistem produksi bahan kimi khususnya biodiesel sintetis. Penelitian tersebut menghasilkan penurunan konsumsi energi untuk proses destilisasi biodiesel sintesis dari 813.5 kW pada proses *classic* (proses sebelum menggunakan *Pinch*) menjadi 31.8 kW pada proses *intensified* (proses sebelum menggunakan *Pinch*) dan penurunan energi termodinamika minimum dari 33 kW pada proses *classic* menjadi 10.5 pada proses *intensified* dan tempertur minimum dari 338 °C menjadi 60 °C.

Natural Resources Canada (2003) menyatakan Lebih dari 20 tahun yang lalu, ribuan analisis dengan metode *Pinch* telah berhasil di aplikasikan untuk mengurangi konsumsi energi dalam bidang yang luas. Pengaplikasian analisis *Pinch* (di bidang

industri seperti industri kimia, penyulingan minyak, pulp dan kertas, besi dan baja, petrokimia, industri makanan dan minuman) dapat secara khusus dapat diidentifikasi:

1. Penghematan konsumsi energi, 10% sampai 35%
2. Penghematan konsumsi air, 25% sampai 40%
3. Penghematan konsumsi hidrogen, lebih dari 20%

dan pada penelitian ini, penggunaan analisis *Pinch* diharapkan dapat memberikan peningkatan efisiensi *heat exchanger network* (HEN), gambaran rekonstruksi *heat exchanger networks* (HEN) yang mungkin dilakukan.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis rekonstruksi *heat exchanger network* untuk perbaikan efisiensinya. Adapun rumusan masalah yang dapat di angkat adalah:

1. Bagaimana pengaruh perbedaan T_{min} pada perhitungan dengan metode *Pinch* terhadap *heat exchanger network*?
2. Berapa kebutuhan pendinginan (cooling duty) dan kebutuhan pemanasan (heating duty) pada tiap-tiap T_{min} ?
3. Bagaimana diagram HEN pada tiap-tiap T_{min} setelah di rekonstruksi?
4. Berapa efisiensi HEN yang diperoleh pada tiap-tiap T_{min} ?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh perbedaan T_{min} pada proses perhitungan dengan metode *Pinch*
2. Mengetahui pengaruh perbedaan T_{min} terhadap kebutuhan pendinginan dan kebutuhan pemanasan

3. Mengetahui rekonstruksi baru yang dapat dilakukan dalam rangka perbaikan HEN pada tiap-tiap T_{\min}
4. Mengetahui besar efisiensi yang dapat dicapai dari tiap-tiap T_{\min} yang berbeda.

1.3.2 Manfaat

Adapun manfaat yang akan diperoleh pada penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan gambaran rekonstruksi HEN yang lebih baik
2. Mendapatkan beberapa pilihan susunan HEN yang mungkin digunakan yang sesuai dengan kondisi perusahaan
3. Mendapatkan efisiensi terbaik dari HEN berdasarkan simulasi perhitungan yang telah dilakukan

1.4 Batasan Masalah

Batasan yang diterapkan untuk memudahkan analisis penelitian ini antara lain:

1. Sitem bekerja pada kondisi ideal, Pressure drop diabaikan
2. Sistem bekerja pada kondisi tertutup (*control volume*)
3. Tidak membahas konstruksi *heat exchanger*
4. Rekonstruksi *heat exchanger networks* hanya dilakukan pada diagram grid
5. Tidak membahas mekanisme operasional *heat exchanger*
6. Tidak membahas jumlah penurunan konsumsi bahan bakar

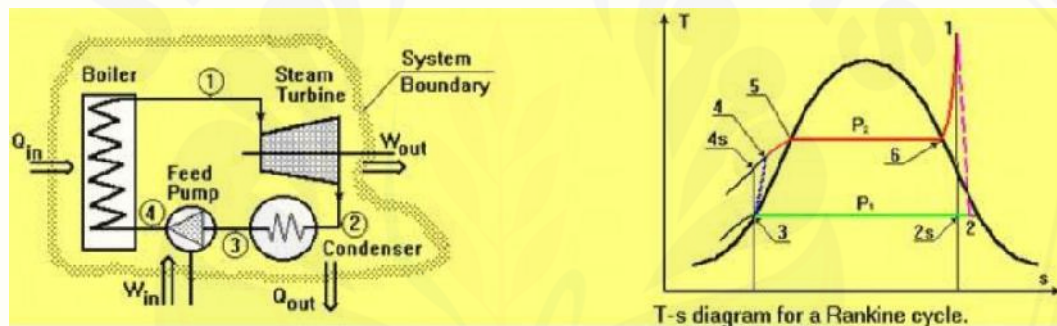
1.5 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah semakin kecil nilai T_{\min} maka akan semakin besar jumlah penurunan kebutuhan energi untuk memanaskan *feedwater*, sehingga efisiensi dari *heat exchanger networks* (HEN) pada PT. Pembangkit Jawa-Bali Unit Bisnis Jasa O & M PLTU Rembang akan semakin baik.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU merupakan sistem pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin (Anggriani dan Effendie, 2012). Energi kinetik dari uap tersebut dikonversikan menjadi energi mekanik oleh turbin, kemudian energi mekanik tersebut didistribusikan untuk memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Siklus kerja PLTU secara dasar, dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Skema pembangkit listrik tenaga uap dan siklus rankine (Sumber: Ataei dan Yoo, 2010)

Adapun penjelasan proses tersebut adalah sebagai berikut:

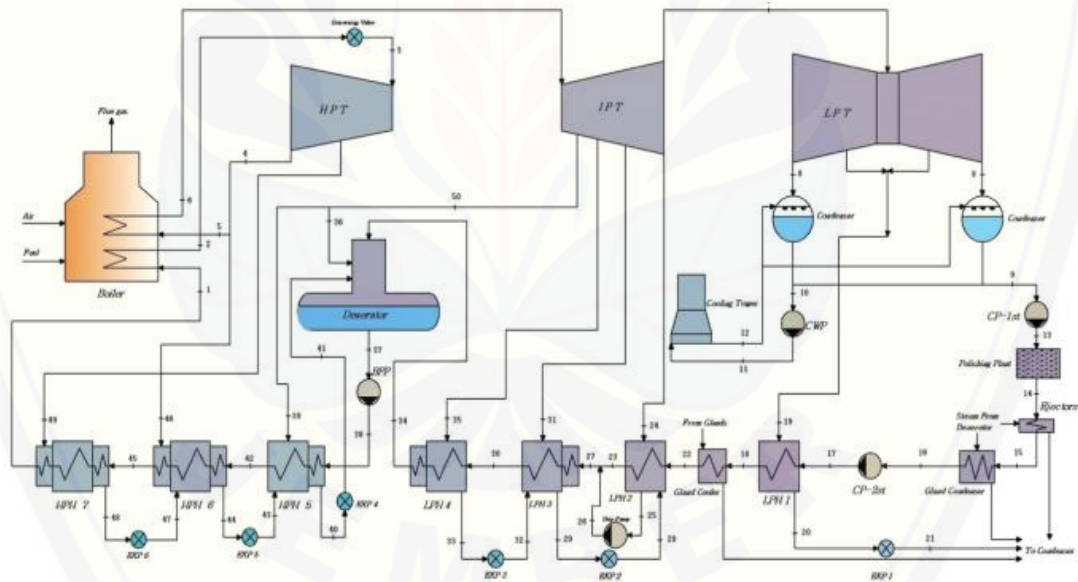
- 1 – 2 Ekspansi isentropis pada turbin
- 2 – 3 Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor
- 3 – 4 Kompresi isentropis pada pompa
- 4 – 1 Penambahan kalor dengan tekanan konstan di boiler

Siklus Rankine atau siklus tenaga uap, merupakan siklus teoritis paling sederhana yang mempergunakan uap sebagai medium kerja sebagaimana dipergunakan pada sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (Sianturi, 2008). Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada gambar 2.1 di atas menunjukkan

komponen dari sebuah pembangkit bertenaaga uap adalah: pompa, boiler, turbin, dan kondensor. Total energi masuk dari bahan bakar melalui boiler adalah E_m , sedangkan energi efektif yang tersedia pada poros turbin adalah energi kerja E_k . energi yang terbuang melalui kondensor adalah sebesar E_b , dengan menganggap semua kerugian lainnya termasuk E_b (Sianturi, 2008), maka dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_m = E_k + E_b \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

Peralatan-peralatan utama dan peralatan pembantu yang terdapat dalam industri pembangkit listrik tenaga uap antara lain: peralatan utama terdiri dari boiler, turbin, kondensor dan pompa *feed water*, sedangkan peralatan pembantu adalah *water heater* (*Low pressure heater* dan *High pressure heater*), *deaerator*, *air preheater*, *steam drum*, dll, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Skematik peralatan pembangkit listrik tenaga uap (Ahmadi dan Tograe, 2016)

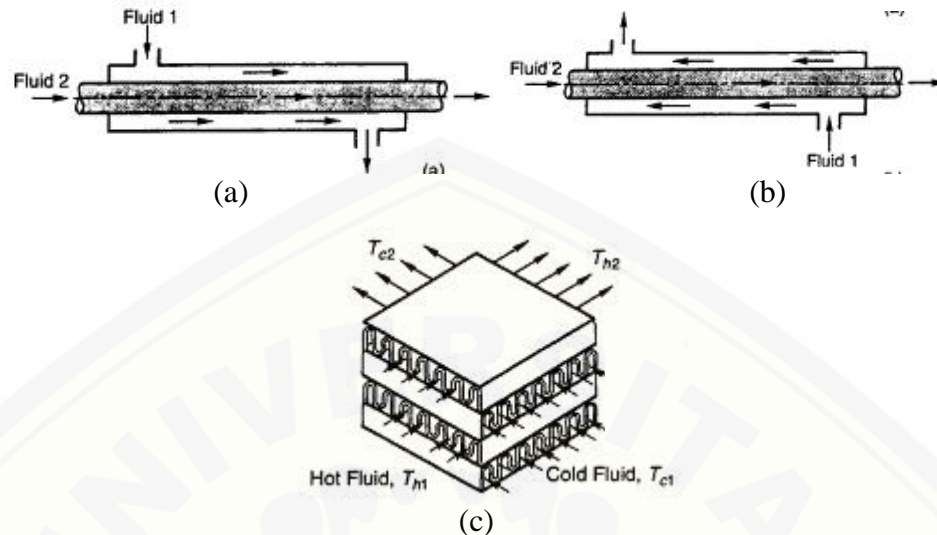
Gambar 2.2 di atas menunjukkan bahwa air sebelum masuk ke dalam boiler, akan mengalami pemanasan di *low pressure heater* dan *high pressure heater*. Kedua *heater* ini berperan penting dalam memanaskan air pengisi lanjut tekanan tinggi sebelum masuk ke *boiler*, sehingga kerja dari *boiler* tidak terlalu berat untuk

menaikkan temperatur air pengisi tersebut (Alfian dan Ichsani, 2013). Prinsip dasar kerja *water heater* ini adalah dengan cara memindahkan energi aliran panas ke aliran dingin, dimana dalam permasalahan ini air dingin sebagai air umpan pada boiler yang akan dipanaskan, sedangkan air panas yang akan didinginkan merupakan keluaran dari turbin yang panasnya dioptimalkan sebagai pemanas air umpan.

2.2 Heat Exchanger (HE)

Heat exchanger atau mesin penukar kalor adalah alat yang memberikan aliran energi termal antara dua atau lebih fluida pada temperatur yang berbeda (Kakaç, 2002) atau *heat exchanger* adalah suatu alat yang berfungsi menukarkan panas/kalor antara aliran panas dan aliran dingin pada suatu proses uap; aliran panas perlu untuk di dinginkan dan aliran panas perlu untuk di panaskan (Linhoff dan Flowe, 1978 dalam Ataei dan Yoo, 2010) atau dengan kata lain aliran panas perlu membuang sejumlah kalor untuk menurunkan temperaturnya, sedangkan aliran dingin memerlukan sejumlah kalor untuk meningkatkan temperaturnya.

Pada umumnya ada tiga tipe HE yang dibedakan berdasarkan arah aliran dari masing-masing fluida: pertama adalah HE tipe paralel, pada HE tipe ini kedua aliran fluida baik yang panas maupun yang dingin mengalir pada arah yang sama, kedua adalah HE tipe cross flow, dimana pada HE tipe ini masing-masing fluida panas dan dingin mengalir dalam arah yang berlawanan, ketiga adalah HE tipe cross flow, dimana pada HE tipe ini masing-masing fluida panas dan dingin mengalir dalam arah yang saling mengeberangi/menyilang (Cengel, 2002). Jenis HE yang berbeda memiliki cara yang berbeda pula dalam menentukan kebutuhan perangkat (peralatan) dan berbeda pula dalam metode perhitungannya.



(a) tipe paralel, (b) tipe counter flow, (c) tipe cross flow
 Gambar 2.3 Tipe *heat exchanger* (Kakaç,2002)

2.2.1 Perhitungan *Heat Exchanger*

Metode perhitungan digunakan untuk menghitung kinerja *heat exchanger* ada dua yaitu: metode LMTD (*Logarithmic Mean Difference Temperature*) dan *effectiveness-NTU*. Perbedaan dari kedua metode tersebut terletak pada penerapan saata perhitungan. Metode LMTD digunakan apabila temperatur masuk dan keluar dari kedua fluida (air dan uap) diketahui atau dapat ditentukan dari kesetimbangan energi, sedangkan metode *effectiveness-NTU* digunakan ketika temperatur keluar dari fluida tidak diketahui (Cengel,2002). Perhitungan *heat exchnager* dengan kedua mtode di atas memiliki sifat yang berbeda pada setiap jenis *heat exchanger* seperti yang akan di jelaskan berikut.

1. Metode LMTD

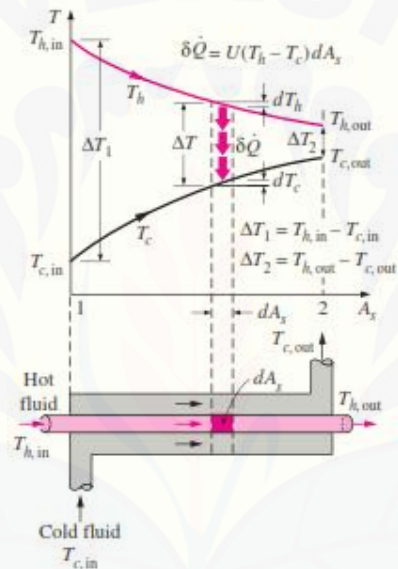
Metode ini dengan membandingkan T pada saluran masuk dan T pada saluran keluar, sehingga didapat persamaan:

$$Q = U \times A_s \times T_{lm} \dots\dots\dots (2-2)$$

dengan

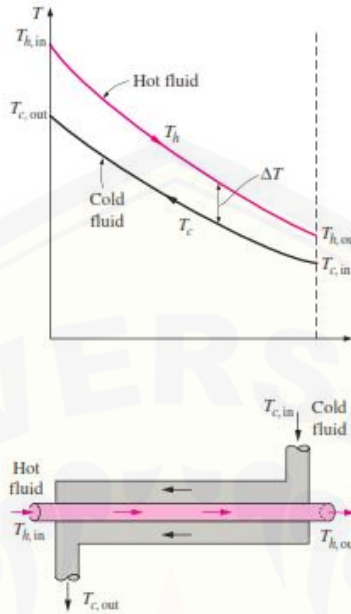
$$T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \dots\dots\dots (2-3)$$

merupakan perbedaan temperatur rata-rata logaritmik yang memenuhi bentuk perbedaan temperatur rata-rata untuk digunakan dalam analisis *heat exchanger*. T_1 dan T_2 adalah merepresentasikan perbedaan temperatur antara kedua fluida pada sisi masuk dan keluar.



Gambar 2.4 Variasi temperatur fluida pada HE aliran paralel (Cengel,2002)

Perhitungan T_{lm} pada HE adengan aliran berlawanan (couter-flow) berbeda dengan HE aliran paralel. Perbedaan temperatur rata-rata logaritmik (T_{lm}) pada aliran berlawanan dianggap sama dengan T_1 dan T_2 , atau $T_{lm} = T_1 = T_2$.



Gambar 2.5 Variasi temperatur fluida pada HE aliran berlawanan (Cengel,2002)

2. Metode NTU

Metode ini digunakan apabila temperatur keluar dan perpindahan panas rata-rata tidak di ketahui, namun laju aliran massa fluida dan jenis *heat exchanger* sudah di ketahui. Metode ini diusulkan oleh Kays dan London pada tahun 1995 (Cengel,2002). Laju perpindahan panas pada *heat exchanger* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$Q = C_{\min} \times (T_{h, \text{in}} - T_{c, \text{in}}) \dots\dots\dots (2-4)$$

sedangkan untuk mengetahui temperatur keluar *heat exchanger* dengan menggunakan persamaan

$$T_{c, \text{out}} = T_{c, \text{in}} + \frac{Q}{C_c} \dots\dots\dots (2-5)$$

$$T_{h, \text{out}} = T_{h, \text{in}} + \frac{Q}{C_h}$$

Dimana $C_c = \dot{m}_c \times C_{p_c}$ dan $C_h = \dot{m}_h \times C_{p_h}$

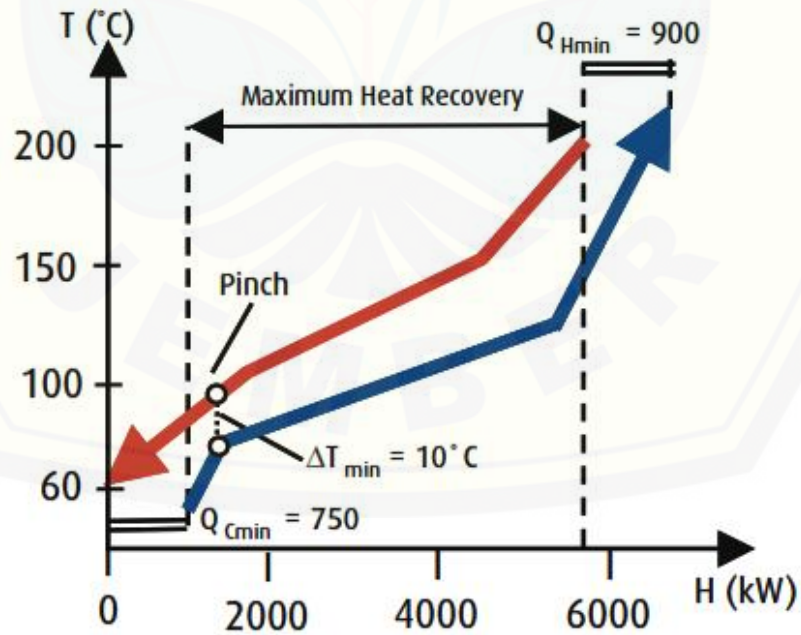
2.2.2 Efisiensi Termal *Heat Exchanger*

Perhitungan efisiensi pada sistem yang bekerja pada kondisi kontrol volum adalah dengan membagi kerja netto (W_{net}) sistem dengan energi pada sisi masuk (Q_{in}). Kerja netto termal merupakan beda antara jumlah energi masuk kedalam sistem dan jumlah energi yang keluar dari sistem. Efisiensi pada penelitian ini adalah efisiensi keseluruhan sistem HEN bukan efisiensi masing-masing *heat exchanger* sehingga persamaannya dapat ditulis sebagai berikut

$$= \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

jika W_{net} = Minimum Energy Recoveri (MER), dimana MER adalah luasan antara kurva pendingin dan kurva panas pada kurva komposit, maka persamaan di atas juga bisa dituliskan sebagai berikut

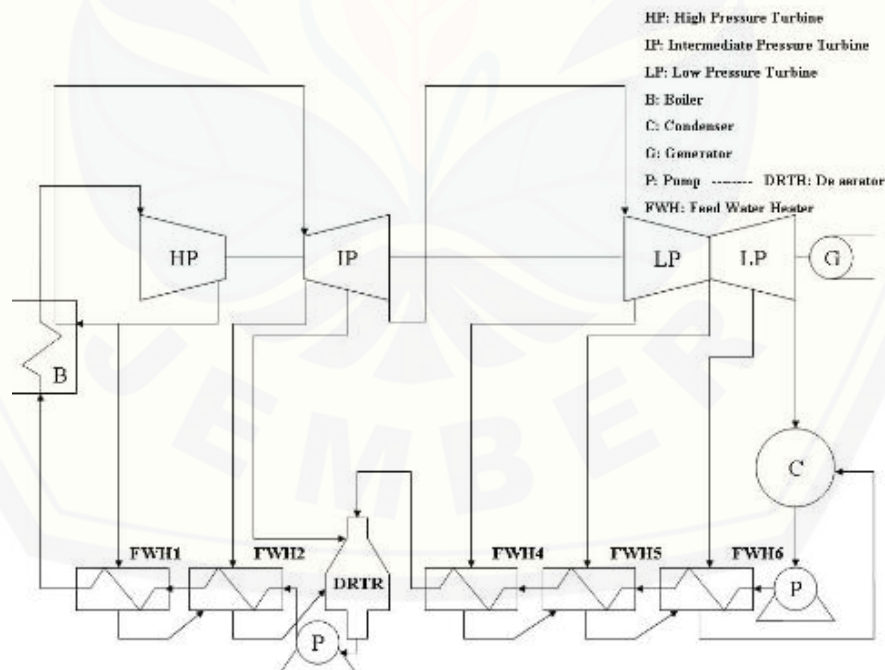
$$= \frac{MER}{Q_{in}}$$



Gambar 2.6 kurva komposit dengan MER (NRC,2003)

2.3 Heat exchanger Networks (HEN)

Heat exchanger network (HEN) adalah susunan beberapa *heat exchanger* yang beroperasi secara terpadu dalam suatu proses. pembentukan HEN diharapkan akan dapat meningkatkan efisiensi sistem. Linhoff dan Turner (1980) dalam Linhoff dan Hindmarsh (1983) menyatakan bahwa “Rancangan *heat exchanger network* merupakan aspek kunci dalam merancang proses kimia, bahkan pada kondisi tertentu, dengan meningkatkan susunan *heat exchanger network* dapat menurunkan konsumsi energi yang selaras dengan penurunan modal sebesar 20-30%”. HEN dirancang berdasarkan nilai T_{\min} optimum yang diestimasi yang tidak selalu merupakan rancangan yang paling tepat. Nilai T_{\min} yang terlalu kecil dapat menimbulkan rancangan HEN yang rumit dengan luas total area yang lebih besar dari seharusnya, sehingga perlu dilakukan pemilihan nilai T_{\min} yang lebih besar, dan apabila penambahan modal relatif kecil maka T_{\min} yang lebih besar tersebut akan digunakan dalam prakteknya.



Gambar 2.7 HEN dan sumber alirannya pada suatu PLTU (Eskandari dan Behzad 2009)

Perancangan HEN berbasis pada keperluan energi minimum (*Minimum Energy Requirement/MER*), maka tidak di izinkan terjadinya perpindahan panas yang menyeberangi *Pinch* dan jumlah minimum HE (U_{\min}) secara umum merupakan jumlah proses stream dan utilitas (Hohman, 1971 dalam Linhoff dan Hindmarsh, 1983). Perhitungan jumlah unit *heat exchanger* minimal (U_{\min}) pada suatu HEN yang disyaratkan berdasarkan keperluan energi minimum atau energi maksimum yang dapat di daur ulang, atau evaluasi desain jaringan *heat exchanger* yang sudah ada bisa dilakukan dengan menggunakan teorema *graph Euler*. Perhitungan ini dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut

$$U_{\min} = N - 1 \quad \dots\dots\dots(2-7)$$

dengan U_{\min} adalah jumlah minimum dan N adalah jumlah proses stream dan utilitas.

2.4 Analisis *Pinch*

Analisis *Pinch* adalah suatu metode pendekatan yang tepat dan terstruktur, sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam menanggulangi berbagai perbaikan yang berkaitan dengan proses dan peralatan. Analisis *Pinch* memberikan peluang-peluang yang baik dalam perancangan HEN ataupun dalam mengevaluasi suatu sistem HEN seperti mengurangi biaya operasi, memudahkan proses, meningkatkan efisiensi, pengurangan dan perencanaan investasi modal (Natural Resources Canada,2003).

Analisis *Pinch* bekerja berdasarkan hukum termodinamika kedua. Hukum termodinamika kedua menjelaskan proses spontan yang terjadi secara irreversibel (non-ideal). Pernyataan Clausius untuk hukum termodinamika kedua menegaskan bahwa “Tidak mungkin bagi sistem apapun yang beroperasi sedemikian rupa sehingga hasil tunggalnya akan berupa suatu perpindahan energi dalam bentuk kalor dari benda yang lebih dingin ke benda yang lebih panas” (Moran dan Shapiro,2000). Aliran panas tidak mungkin dapat memanaskan Aliran dingin sampai temperatur yang lebih tinggi dari reservoir tersebut. Sedangkan pernyataan Kelvin-Plank untuk hukum kedua termodinamika adalah “Tidak mungkin untuk sistem apapun dapat

beroperasi dalam siklus termodinamika dan memberikan sejumlah kerja netto ke sekelilingnya sementara menerima energi melalui perpindahan kalor dari suatu reservoir termal tunggal” (Moran dan Shapiro,2000). Aliran panas tidak dapat memindahkan seluruh energinya untuk memaskan aliran dingin. Hal itu haruslah merupakan total dari buangan panas sebagai hasil dari proses (Barnes,2013).

Pendekatan termodinamika pada Analisis *Pinch* pertamakali diperkenalkan pada akhir tahun 1970 dengan gagasan memberikan target temperatur untuk mendesain suatu HE, dan dikembangkan di Leeds University. Analisis *Pinch* menggambarkan perubahan yang signifikan dalam penghematan energi dan telah sukses diaplikasikan dalam proses di pabrik kimia. Analisis *Pinch* telah dikembangkan dalam bidang industri yang lain termasuk pembangkit listrik dan memperlihatkan hasil yang memuaskan dalam hal penghematan energi dalam beberapa tahun terakhir. Linhoff dan alanis telah melakukan penelitian pada pembangkit listrik yang berbeda. Model penelitian mereka adalah memodifikasi aliran keluar (Eskandari dan Behzad,2009).

Pinch dibagi menjadi dua bagian, yaitu di atas *Pinch* dan di bawah *Pinch*. Bagian atas *Pinch* hanya mengizinkan penambahan utilitas panas , dan bagian bawah *Pinch* hanya mengizinkan penambahan utilitas dingin, oleh sebab itu, untuk desain yang optimum, tidak diizinkan panas berpindah menyeberangi *Pinch*. Sehingga dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Tidak ada penambahan utilitas panas di bawah *Pinch*, tidak boleh terjadi pemanasan di bawah titik *Pinch*.
- 2) Tidak ada penambahan utilitas dingin di atas *Pinch*, tidak boleh terjadi pendinginan di atas titik *Pinch*.
- 3) Tidak ada perpindahan panas yang menyeberangi *Pinch*

2.4.1 Proses Analisis

Tahap awal dalam proses analisis menggunakan metode *Pinch* adalah diketahuinya neraca massa dan neraca panas pada suatu peralatan atau proses,

sehingga dapat ditentukan peluang-peluang utama (target) untuk penghematan energi dan selanjutnya dibuat suatu desain dari suatu *heat exchanger network* (HEN). Data neraca massa dan neraca panas akan memberikan gambaran suatu target untuk konsumsi energi minimum, dengan ditunjukkan dalam suatu *compossite curve* (Bustan,2010). Tahapan proses analisis dengan metode *Pinch* adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi aliran panas, aliran dingin, dan aliran utilitas pada proses

Data awal yang menjadi acuan pada tahapan ini adalah laju aliran masa serta temperatur masuk dan keluar dari tiap-tiap aliran pada tiap-tiap tahapan dalam proses yang di akan di analisis. Sistem yang akan dianalisis dianggap sebagai *control volume* (sistem tertutup), sehingga tidak ada penambahan atau pengurangan massa pada aliran (massa aliran yang masuk kedalam sistem = massa aliran yang keluar sistem).

$$m_{in} - m_{out} = \frac{dm_{cv}}{dt} \dots\dots\dots (2-8)$$

2. Ekstraksi data termal dan aliran utilitas

Bustan (2010) menyatakan bahwa “pada proses analisis dengan menggunakan metode *Pinch* data termal/data termodinamika yang paling penting adalah temperatur (T) dan enthalpi (H). Enthalpi adalah total energi dari sistem yang ditentukan oleh jumlah total energi internal dan produk dari tekanan dan volume. Perbedaan enthalpi antara aliran suplay dan aliran target disebut sebagai *heat load*, yaitu jumlah energi maksimum yang dapat di transfer dari atau ke dalam aliran berdasarkan perbedaan temperatur. Besar dari *head load* dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$H = \dot{m} \times C_p \times (T_{target} - T_{supplay}) \dots\dots\dots (2-9)$$

3. Problem tabel algoritma

Metode problem tabel algoritma adalah metode yang menggambarkan jumlah pertukaran energi panas maksimum pada setiap interval temperatur. Metode ini digunakan untuk menggambarkan sistem sedemikian rupa sehingga aliran panas dan aliran dingin dapat digabungkan secara bersama-

sama. Metode problem tabel algoritma memudahkan dalam analisis aliran, seperti pada gambar berikut

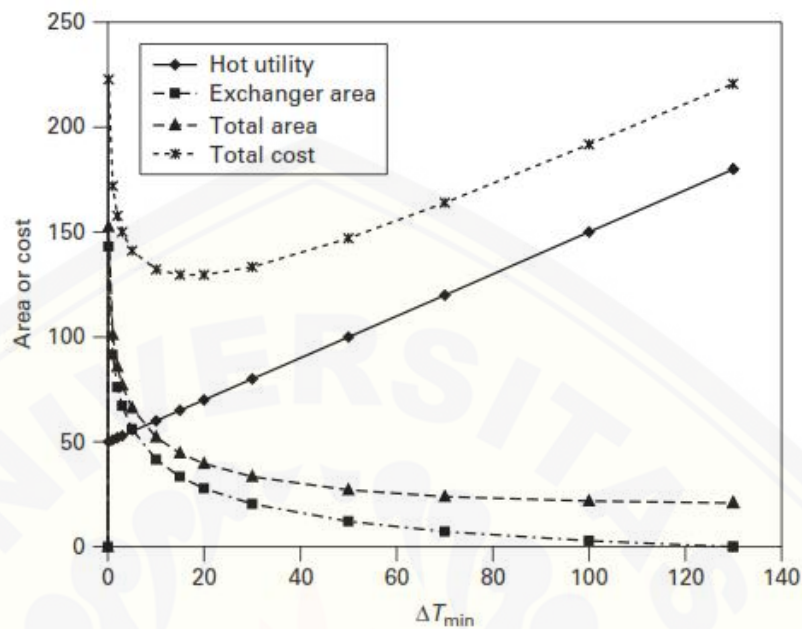
Shifted temperature (°C)	H1 20 kW/°C	H2 40 kW/°C	Heat surplus (kW)	Cummulative surplus (kW)	C1 30 kW/°C	C2 15 kW/°C	Heat surplus (kW)	Cummulative surplus (kW)
25	↑			0				0
			300				0	
40				300				0
			100				150	
45		↑		400				150
			900				450	
60				1300				600
			2700				2025	
105				4000				2625
			540				1215	
132				4540				3840
			460				690	
155				5000				4530
			0				600	
175				5000				5130

Gambar 2.8 Problem tabel algoritma

4. Menentukan nilai T_{min}

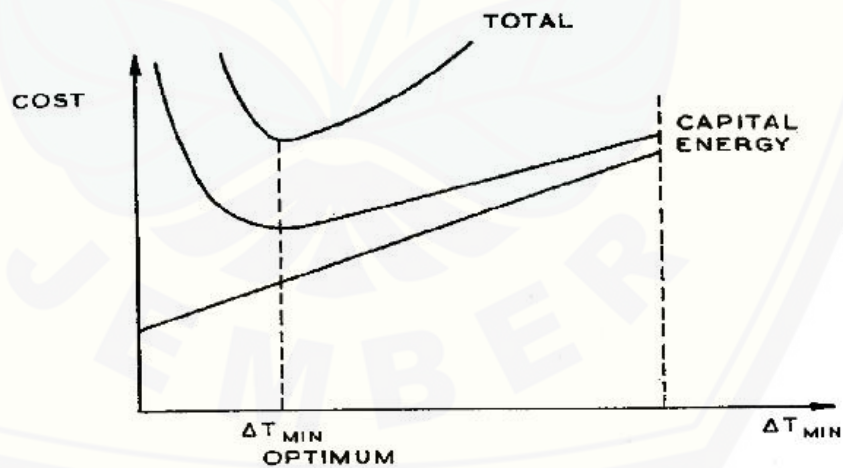
Perbedaan temperatur minimum antara aliran dingin (*feed-water*) dan aliran panas (uap) disebut T_{min} . Nilai T_{min} berpengaruh pada temperatur *Pinch*, kebutuhan external yang disyaratkan, dan dimensi dari *heat exchanger*, walaupun demikian hanya *heat exchanger* pada titik *Pinch* yang perlu dioperasikan pada T_{min} . Kemp (2007) menggambarkan bahwa kenaikan nilai

T_{min} akan menghasilkan kebutuhan energi pemanasan dan pendinginan yang besar, sehingga diperlukan T_{min} yang seminal mungkin untuk mencapai efisiensi energi yang maksimal. Nilai T_{min} tidak hanya berpengaruh pada tingkat kebutuhan energi tetapi juga berpengaruh terhadap total biaya *heat exchanger* dan juga berpengaruh terhadap luasan area *heat exchanger* sebagai mana tampak pada gambar berikut



Gambar 2.9 Grafik area or cost vs T_{min} (Kemp,2007)

sehingga perlu dicari titik T_{min} optimum, dimana total biaya energi tahunan dan biaya permodalannya dapat diminimalkan.

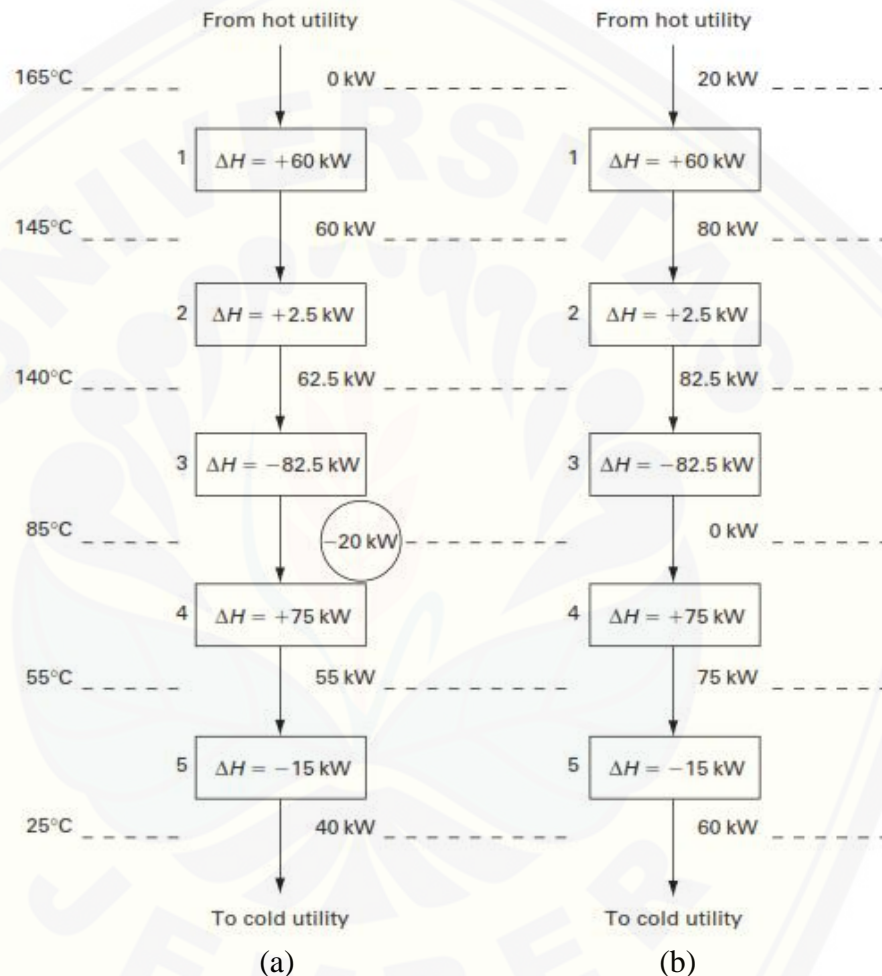


Gambar 2.10 T_{min} optimum pada HEN (Linhoff dan Hindmarsh, 1983)

5. Diagram Cascade

Bustan (2010) menyatakan bahwa diagram *Cascade* terbentuk menggunakan alokasi entalpi pada setiap aliran sehingga menghasilkan

kebutuhan utilitas panas atau utilitas dingin yang ada dalam proses. Digram *Cascade* memberikan informasi mengenai jumlah keperluan panas dan keperluan dingin serta jumlah keperluan aliran panas tambahan untuk mencapai temperatur target yang telah ditentukan.



Gambar 2.11 Diagram cascade (Kemp,2007)

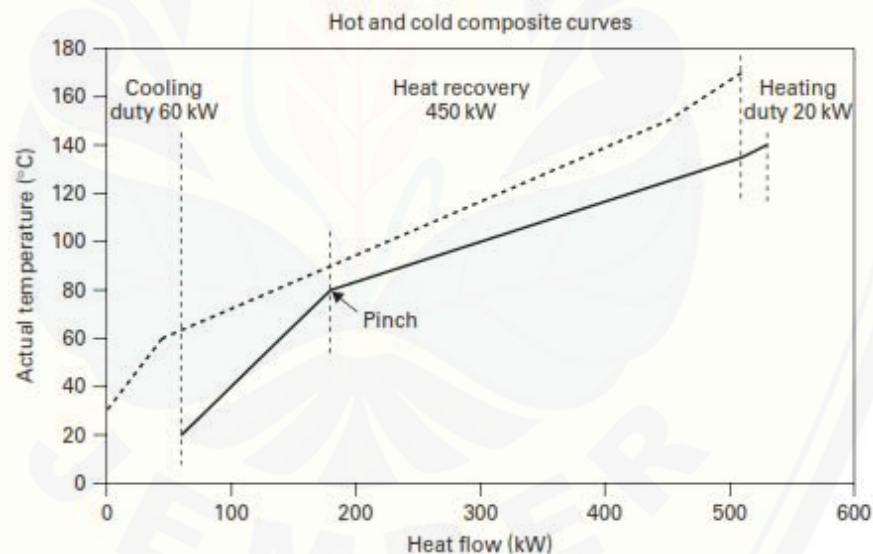
Gambar 2.11 di atas menjelaskan bahwa: gambar sebelah kiri (gambar (a)) menunjukkan konstruksi aliran panas-dingin sebelum dilakukan penambahan aliran, tampak pada gambar tersebut terdapat kekurangan energi sebesar -20 kW, atau dengan kata lain diperlukan energi sejumlah 20 kW untuk mencapai temperatur yang diinginkan seperti tampak pada gambar

sebelah kanan (gambar (b)). Lambang negatif (-) menunjukkan bahwa terjadi kekurangan (surplus) energi pada aliran tersebut.

6. Membuat kurva komposit dan grand komposit

a. Kurva komposit

Kurva komposit adalah kurva antara aliran panas dan aliran dingin pada diagram temperatur dan entalpi. Maksimum energi yang dapat di gunakan kembali dari kelebihan uap turbin dan dari *feed-water* adalah daerah *overlap* antara kurva aliran panas dan kurva aliran dingin pada pada kurva komposit sedangkan celah antara ujung akhir dari kurva panas dan dingin merupakan kebutuhan pemanasan (*heating duty*) dan celah antara ujung awal dari kurva panas dan kurva dingin adalah kebutuhan pendinginan (*cooling duty*) (Hohman,1971 dalam Kemp,2007).



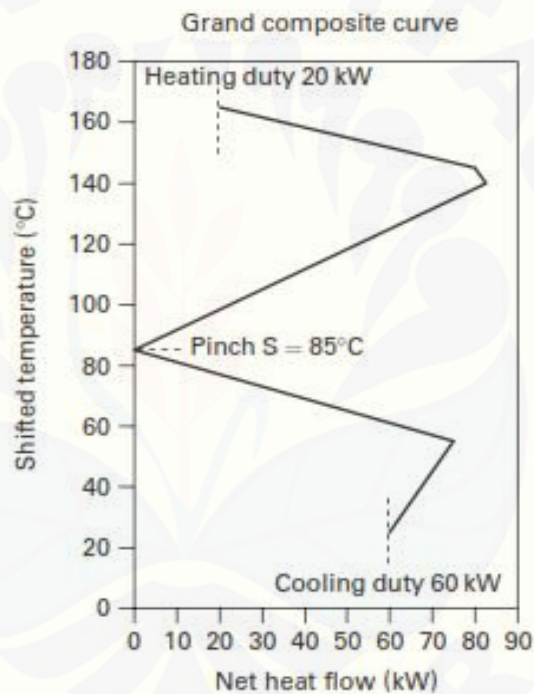
Gambar 2.12 Kurva komposit (Kemp,2007)

Kurva komposit dapat terbentuk menguraikan kembali data temperatur suplai dan temperatur target untuk mendapatkan kesetimbangan entalpi. Winterbone (1997) menyatakan bahwa untuk memperoleh kesetimbangan entalpi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$H = \left(\sum_{i,i+1}^{Hot} (mC)_h - \sum_{i,i+1}^{cold} (mC)_c \right) (T_i - T_{i+1}) \dots\dots (2-10)$$

b. Kurva grand komposit

Kurva grand komposit adalah grafik yang terbentuk dari aliran panas netto dengan temperatur yang sudah di geser. Kurva grand komposit digunakan untuk menetapkan multiple utilitis target. Kurva grand komposit juga menggambarkan perbedaan antara pemanasan yang mungkin dari aliran panas dengan pemanasan yang disyaratkan oleh aliran dingin (Kemp,2007).

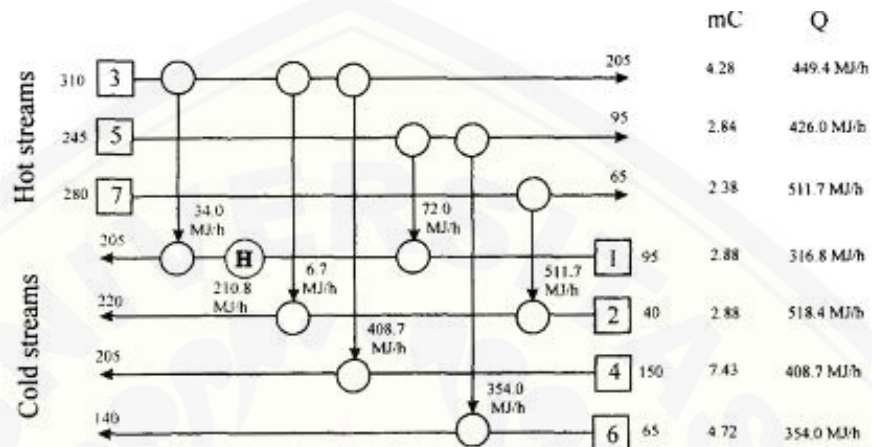


Gambar 2.13 Kurva gran komposit (Kemp,2007)

7. Pembentukan diagram grid

Diagram grid adalah suatu cara untuk memvisualisasikan aliran yang di analisis. Diagram grid merepresentasikan aliran balik alami pada *heat exchnager* (Kemp,2007). Diagram grid bekerja berdasarkan aturan-aturan dari analisis *Pinch* yaitu, tidak ada penambahan utilitas panas di bawah *Pinch*, tidak ada penambahan utilitas dingin di atas *Pinch*, dan tidak ada perpindahan panas yang menyeberangi *Pinch*. Apabila ada perpindahan yang

menyeberangi *Pinch*, maka harus mengatur kembali *Pinch* dengan menambahkan sejumlah panas pada bagian atas *Pinch* dan sejumlah beban dingin pada bagian bawah *Pinch* (National Resource canada,2003).



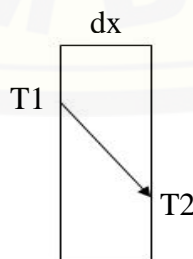
Gambar 2.14 Grid diagram (Winterbone,1997)

Diagram grid memberikan gambaran tentang rekonstruksi aliran *heat exchanger* network dari stream yang memiliki kelebihan panas menuju stream yang memerlukan penambahan panas.

2.5 Head Loss

2.5.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.



Gambar 2.15 Perpindahan panas konduksi pada dinding

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien temperatur normal sesuai dengan persamaan berikut

$$q_k = -k \times A \times \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

Keterangan:

q_k = Laju arilan panas (W)

k = konduktivitas panas (W/mK)

A = Luas area (m²)

dT = Perbedaan temperatur (K)

dx = perubahan jarak (m)

dT/dx adalah gradien temperatur kearah perpindahan kalor. Konstanta positif "k" disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hokum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala temperatur (Holman, 1986). Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradien yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum fourier.

Tetapan kesebandingan (k) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2.11) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat dilakukan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktifitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada temperatur. Mekanisme konduksi termal pada gas cukup sederhana. Energi kinetik molekul ditunjukkan oleh temperature gas tersebut, sehingga molekul-molekul gas mempunyai kecepatan yang lebih tinggi pada bagian yang memiliki temperatur tinggi daripada yang berada pada temperatur rendah. Molekul-moleku tersebut selalu berada pada gerakan acak, saling bertumbukan satu sama lain, sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.

Berikut adalah tabel nilai konduktivitas beberapa material yang umum digunakan

Tabel 2.1 Konduktivitas beberapa material

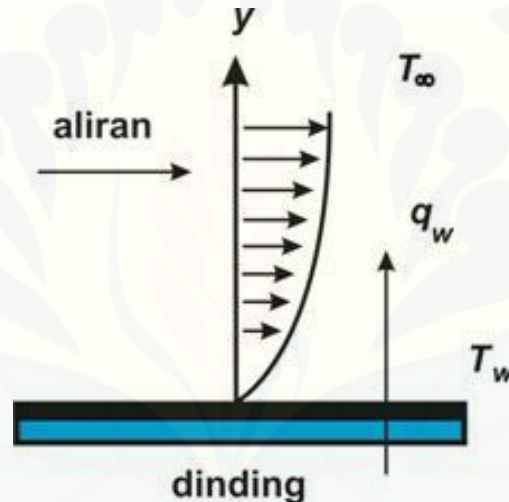
Bahan	W/m.°C	Btu/h.ft.°F
Logam		
Perak (murni)	410	237
Tembaga (murni)	385	223
Aluminium (murni)	202	117
Nikel (murni)	93	54
Besi (murni)	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
Baja krom-nikel (18% Cr, 8% Ni)	16,3	9,4
Bukan Logam		
Kuarsa (sejajar sumbu)	41,6	24
Magnesit	4,15	2,4
Marmar	2,08-2,94	1,2-1,7
Batu pasir	1,83	1,06
Kaca, jendela	0,78	0,45
Kayu maple atau ek	0,17	0,096
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol kaca	0,038	0,022
Zat Cair		
Air-raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
Amonia	0,540	0,312
Minyak lumas SAE 50	0,147	0,085
Freon 12, CCl ₂ F ₂	0,073	0,042
Gas		
Hidrogen	0,175	0,101
Helium	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119
Karbon dioksida	0,0146	0,00844

Sumber: Holman (1986)

2.5.2 Perpindahan Panas Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas yang diikuti dengan perpindahan massa, pada perpindahan panas konveksi harus ada perpindahan massa atau zat yang

mengalir. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection). Konveksi bebas (free / natural convection) adalah gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan temperatur, tanpa adanya hal lain yang memaksa fluida untuk bergerak. Konveksi paksa (forced convection) gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan. Gambar 2.16 merupakan ilustrasi dari perpindahan panas secara konveksi.



Gambar 2.16 Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat (Holman, 1986)

Laju perpindahan panas konveksi pada beda temperatur (dT) tertentu dapat dihitung menggunakan persamaan

$$q_{konv} = -h \times A \times dT \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

keterangan:

q_{konv} = Laju perpindahan panas konveksi (W)

h = koefisien konveksi (W/m^2K)

A = Luas area (m^2)

dT = Perbedaan temperatur (K)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II thermodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+).

2.5.3 Bilangan Reynold

Bilangan reynold adalah bilangan yang digunakan untuk mngklasifikasikan suatu aliran kedalam aliran laminar atau aliran turbulen. Aliran dengan bilangan reynold (Re) < 2.300 dikatakan sebagai aliran laminar dan pada bilangan reynold 2.300 < Re < 4.000 aliran tersebut diklasifikasikan sebagai aliran transisi, sedangkan aliran dengan bilangan reynold (Re) > 4.000 diklasifikasikan sebagai aliran turbulen. Bilangan reynold suatu aliran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Re = \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \text{ atau } \frac{D \times V}{\nu} \dots\dots\dots (2-13)$$

Keterangan:

D = diameter hidrolik pipa (m)

V = kecepatan fluida (m/s)

ρ = massa jenis fluida (kg/m³)

μ = viskositas dinamik (Pa s)

ν = viskositas kinematik (m²/s)

Bilangan reynold juga dapat ditentukan dapam basis massa dengan menghubungkan laju aliran masa terhadap debit.

$$Re = \rho \times Q \dots\dots\dots (2-14)$$

dan debit (Q) juga dapat dituliskan sebagai berikut

$$Q = \pi/4 \times D^2 \times V \dots\dots\dots (2-15)$$

Holman (1986) memberikan persamaan mengenai bilangan Reynold dalam hubungannya dengna kontinuitas

$$Re = \frac{m \times d}{A \times \mu} \dots\dots\dots (2-16)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan 2.14 sampai 2.16 maka diperoleh persamaan

$$Re = \frac{4 \times m}{\pi \times \mu \times d} \dots\dots\dots (2-17)$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menganalisis pengaruh T_{\min} pada peningkatan efisiensi *Heat Exchanger Networks* di PT. Pembangkit Jawa-Bali Unit Bisnis Jasa O&M PLTU Rembang dengan pengaturan pada aliran panas.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Pembangkit Jawa-Bali Unit Bisnis Jasa O&M PLTU Rembang, penelitian guna mendapatkan data yang meliputi tekanan fluida, laju aliran massa fluida, dan temperatur masuk dan keluar *heat exchanger* pada sistem *Heat exchanger Network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)*. Waktu penelitian berlangsung selama 3 bulan yaitu dimulai dari bulan Januari 2016 sampai dengan bulan Maret 2016. Proses pengambilan data di PT. PJB UBJ O&M PLTU Rembang dilakukan pada masa prestudy yakni pada tanggal 1 Februari 2016 sampai 12 Februari 2016.

3.3 Data dan Peralatan

3.3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diambil di PT. PJB UBJ O&M PLTU Rembang. Sampel yang diambil meliputi:

1. Neraca massa sistem *Heat Exchanger Network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)*
2. Neraca panas sistem *Heat Exchanger Network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)*.
3. Data *flowsheet* dari sistem *Heat Exchanger Network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)*.
4. Data proses lain yang terkait pemakaian energi di *Heat Exchanger Network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)* (laju alir massa, temperature dan tekanan).

3.3.2 Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah peralatan kontrol yang sudah terpasang di *High Pressure Heater* dan *Low Pressure Heater* PT. PJB UBJ O&M PLTU Rembang dan sudah terkalibrasi.

1. Termometer, untuk mengamati temperatur *hot stream* dan *cold stream* pada sistem.
2. Manometer, untuk mengamati tekanan *hot stream* dan *cold stream* pada sistem.
3. Flowmeter, untuk mengamati laju alir massa *hot stream* dan *cold stream* pada sistem.

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yakni variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah besar T_{\min} yang dapat diubah-ubah yaitu sebesar 10 °C, 15 °C dan 20 °C.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi nilai dari variabel terikat dipengaruhi oleh variabel bebas. Penelitian ini mempunyai variabel terikat berupa tekanan fluida, laju aliran massa fluida, dan temperatur masuk dan keluar *heat exchanger*, yang data-datanya diperoleh dari sistem *Heat Exchanger Network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)* di PT. Pembangkit Jawa-Bali Unit Bisnis Jasa O&M PLTU Rembang.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pengambilan Data

- 1) Persiapan pengambilan data, ini adalah mempersiapkan tabel-tabel untuk mencatat data-data yang diperoleh dari sistem *heat exchanger network (High Pressure Heater dan Low Pressure Heater)*.

Tabel 3.1 Data hasil pengukuran

No. Heater	Ti (°C)	To (°C)	Pi (MPa)	Pi (MPa)	(kg/s)
LPH 8					
LPH 7					
LPH 6					
LPH 5					
HPH 3					
HPH 2					
HPH 1					

- 2) Mengambil data *flowsheet* dari sistem *heat exchanger network* dikomputer ruang kontrol,
- 3) Mencatat tekanan fluida, laju aliran massa fluida, dan temperatur masuk serta temperatur keluar aliran dingin *heat exchanger* pada sistem *heat exchanger network*
- 4) Mencatat tekanan fluida, laju aliran massa fluida, dan temperatur masuk serta temperatur keluar aliran panas *heat exchanger* pada sistem *heat exchanger network*
- 5) Setelah pengambilan data selesai dilakukan, langkah selanjutnya adalah mengevaluasi data yang telah didapatkan. Evaluasi pada tahap ini dilakukan bertujuan untuk memeriksa kelengkapan data yang didapatkan.

3.5.2 Tahap Pengolahan Data

Data diambil selama 2 hari selama berturut-turut yakni pada tanggal 4-5 februari 2016. Selanjutnya data yang telah diperoleh akan di rata-rata, dan data yang berupa temperatur baik itu temperatur masuk (T_s) maupun temperatur keluar (T_t) dan laju aliran massa () dimasukkan kedalam problem tabel sehingga akan diperoleh beban energi tiap-tiap aliran. Untuk mempermudah dalam melakukan analisa, maka pada penelitian ini berlaku hukum kontinuitas dan untuk melengkapi data temperatur maka digunakan rata-rata aritmatiknya.

Tabel 3.2 Problem tabel

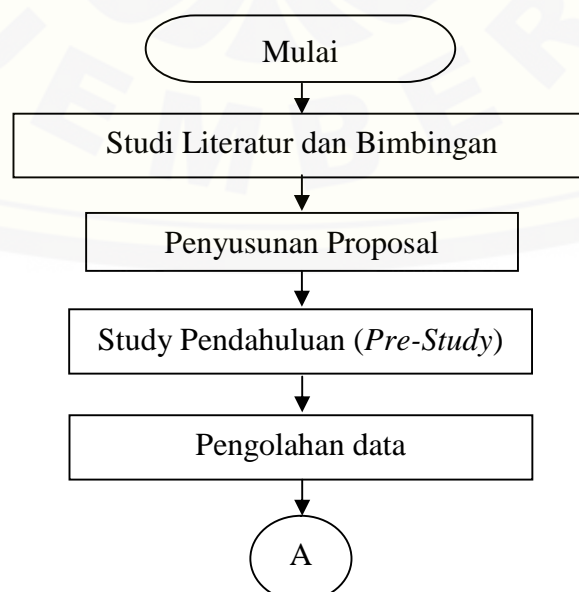
No. Heater	Ts (°C)	Tt (°C)	Cp (kW/°C)	Head load/ H (kW)
LPH 8				
LPH 7				
LPH 6				
LPH 5				
HPH 3				
HPH 2				
HPH 1				

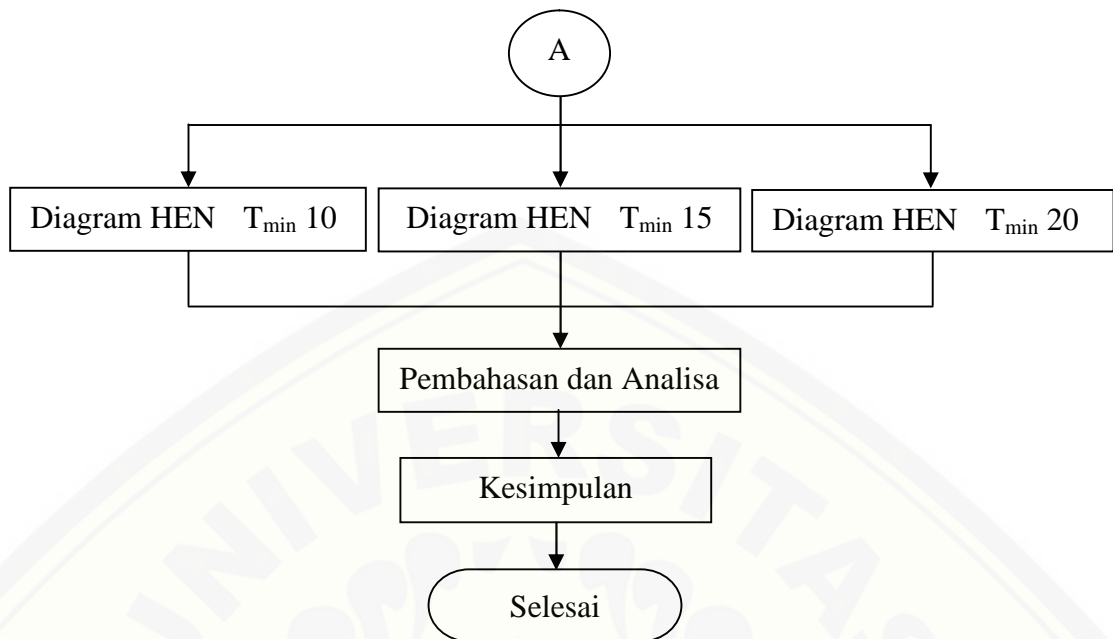
3.5.3 Tahap Analisa Data

Dalam penelitian ini, data dianalisis dengan menggunakan metode deskriptif, yaitu metode di mana data dikumpulkan, disusun dan dianalisa sehingga memberikan keterangan yang lengkap bagi permasalahan yang dihadapi.

Penelitian juga dilakukan dengan menggunakan metode komparatif, hal ini dilakukan untuk membandingkan kinerja *heat exchanger network* sebelum dan setelah dilakukan analisa pinch. Langkah terakhir yang dilakukan adalah memberikan solusi dan saran dari hasil analisa pinch yang telah dilakukan.

3.6 Diagram Alur Penelitian





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan pengaruh T_{\min} terhadap pemetaan efisiensi HEN dengan metode pinch dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai T_{\min} yang berbeda tidak berpengaruh terhadap proses perhitungan dengan menggunakan metode *Pinch*, tahapan perhitungan dengan metode *Pinch* pada setiap T_{\min} adalah sama yaitu:
 - a) Menyusun problem tabel dan problem tabel algoritma
 - b) Menghitung nilai kapasitas panas dan *head load* masing-masing temperatur
 - c) Menyusun kurva komposit dan kurfa grand komposit
 - d) Menyusun diagram grid
2. Nilai T_{\min} berpengaruh terhadap nilai utilitas panas dan utilitas dingin suatu sistem HEN. Nilai T_{\min} yang meningkat akan meningkatkan nilai dari utilitas panas dan utilitas dingin sistem HEN, dan peningkatannya tergantung pada kondisi awal dari sistem HEN tersebut. Nilai utilitas panas dan utilitas dingin terendah pada penelitian ini adalah pada $T_{\min}=0^{\circ}$ C dengan utilitas panas sebesar 0 kW dan utilitas dingin sebesar 1.887,4 kW. Nilai utilitas panas dan utilitas dingin terus meningkat seiring peningkata T_{\min} . Nilai utilitas panas dan utilitas dingin pada masing-masing T_{\min} adalah sebagai berikut:

$T_{\min}=10^{\circ}$ C nilai utilitas panas sebesar 2.160,811 kW dan utilitas dingin sebesar 4.048,211 kW, $T_{\min}=15^{\circ}$ C nilai utilitas panas sebesar 6.377,524 kW dan utilitas dingin sebesar 8.264,429 kW, $T_{\min}=20^{\circ}$ C nilai utilitas panas sebesar 10.594,322 kW dan utilitas dingin sebesar 12.481,722 kW
3. Proses *recovery* nilai utilitas dingin dan utilitas panas pada diagram grid atau konstruksi HEN pada masing-masing T_{\min} dilakukan dengan menambahkan 2 unit *heat exchanger* untuk me-*recovery* energi utilitas dingin dan utilitas

panas. Nilai utilitas panas dan utilitas dingin pada tiap-tiap T_{\min} selalu berubah seiring dengan meningkatnya nilai T_{\min} itu sendiri, sehingga berpengaruh pada kinerja dari *heat exchanger*, namun diagram grid antar T_{\min} relatif sama.

4. Efisiensi yang di capai pada masing-masing T_{\min} menunjukkan peningkatan dengan menurunnya nilai T_{\min} . Efisiensi terendah terjadi pada $T_{\min}=20^{\circ}\text{C}$ dengan efisiensi sebesar 94,27%, dan semakin meningkat pada T_{\min} berikutnya. Nilai efisiensi pada $T_{\min}=15^{\circ}\text{C}$ adalah sebesar 96,21%, pada $T_{\min}=10^{\circ}\text{C}$ adalah sebesar 98,14%, dan pada $T_{\min}=0^{\circ}\text{C}$ adalah sebesar 99,13%. Peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh menurunnya nilai utilitas dingin dan utilitas panas pada T_{\min} yang semakin tinggi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan oleh penulis pada penelitian ini adalah:

1. Data yang diambil dari perusahaan harus lebih rinci menyangkut semua bagian yang berhubungan dengan sistem air-uap, tidak hanya pada bagian HEN saja, sehingga dapat mengevaluasi data secara lebih baik dalam menentukan data yang akan digunakan dalam analisa pinch
2. Analisa yang dilakukan tidak hanya mengenai energi tetapi juga menghitung biaya dan luas area *heat exchanger*, sehingga bisa memberikan solusi yang tepat terhadap permasalahan yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggriani, D.P dan Effendi, R. 2012. *Pengendalian Frekuensi dengan Menggunakan Kontrol Fuzy Prediktif pada Simulator Plant Turbine-Generator pada PLTU*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 1, no.1, ISSN: 2301-9271
- Ahmadi, G.R dan Davood, T. 2016. *Energy and Exergy Analysis of Montazeri Steam Power Plant in Iran*. Renewable and Sustainable Energy Reviews [Jurnal] (56), hal 454-463.
- Alfian, D.G.C. dan Ichsani, D. 2013. *Re-design HighPressure Heater (HPH) 5 pada Perusahaan Pembangkit Tenaga Listrik*. Jurnal Teknik POMITS. Vol 2, no. 2, ISSN: 2337-3539 (2301-9271)
- Ataei. A dan ChangKyoo Yoo. 2010. *Combined Pinch and Exergy Analysis for Energy Efficiency Optimization in A Steam Power Plant*. International Journal of the Phsyscal Sciences [Jurnal] 5(7), hal 1110-1123
- Barnes, S. 2013. *Using Pinch Analysis to Optimize the Heat Exchanger Network of a Regenerative Rankine Cycle for an Exixsting Modern Nuclear Power Plant*. [Thesis]. Mechanical Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute.
- Bustan, M.D. 2010. *Pengaruh Proses Pengintegrasian Panas Terhadap Konversi Amoniak pada Intercooler Reaktor Amoniak deangan Analisis Eksergi dan Pinch*. Reaktor [Jurnal]. Vol. 13 No. 2, hal 117-123
- Cengel, Y.A. 2002. *Heat Transfer: A Practical Approach*. New York: McGraw Hill
- Eskandari, F. dan M. Behzad. 2009. *Higher Efficiency Targeting in A Steam Power Plant By Using Pinch Technology*. U.P.B. Sci. Bull. Series D [Jurnal] Vol 71, hal 29-42
- Fleiter, T dkk. 2012. *Energy Efficiency in The German Pulp and Paper Industry – A Model-based Assesment of Saving Potential*. Energy [jurnal] 40, hal 84-99.
- Holman, J.P. 1986. *Heat Transfer*, 6th Edition. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Kakaç, S dan Hongtan Liu. 2002. *Heat Exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design, Second Edition*. Department of Mechanical Engineering University of Miami Coral Gables, Florida. CRC Press

- Kemp, I.C. 2007. *Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, Second Edition*. Linacre House, Jordan Hill: Elsevier Ltd
- Linhoff, B dan E. Hindmarsh. 1983. *The Pinch Design Methode for Heat Exchanger Networks*. Chemical Engineering science [jurnal] 38, no. 5 hal 745-763
- Moran, M.J dan H.N. Shapiro. 2000. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics 4th Edition*. Hoboken, NJ,200: John Wiley & Sons, Inc
- Natural Resource Canada. 2003. *Pinch Analysis: For The Efficient Use of Energy, Water and Hydrogen*. Canada: Natural Resource Canada
- Ple u, V dkk. 2014. *Process Intensification in Biodiesel Production with Energy Reduction by Pinch Analysis*. Energy xxx [Articles in press], hal. 1-15
- Siantury, R.S. 2008. *Studi Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Aplikasi PT. Musim Mas Kim II Medan*. [Skripsi]. Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara.
- Winterbone, D.E. 1997. *Advance Thermodynamics for Engineers*. New York: John Wiley & Sons, Inc