

HEAT EXCHANGER EVAPORATOR CONDENSER PADA DESALINATION PLANT

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh:

**JUNI PERANGIN-ANGIN
NIM : 02.813.0015**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2006**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 27/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

ABSTRAK

Pengoperasian suatu pembangkit tenaga listrik, masalah efisiensi merupakan hal yang harus diperhatikan dan diutamakan, karena dengan efisiensi yang tinggi maka listrik yang dihasilkanpun dapat dinikmati konsumen dengan harga murah. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah merupakan jawaban untuk mengatasi masalah efisiensi tersebut, karena gas buang yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dimanfaatkan kembali untuk memanaskan air di HRSG sehingga dapat memproduksi uap (steam) yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin uap (steam turbine). Daya yang dihasilkan turbin uap digunakan untuk memutar generator sehingga dapat menghasilkan tenaga listrik.

Masalah yang timbul dalam pengoperasian turbin uap ialah dimana memerlukan supply air yang tidak sedikit dan terus menerus, akibat dari pada losses dalam bentuk uap dan air pada siklus tertutup PLTU. Oleh karena itu diperlukan pula seperangkat peralatan dan sumber air yang dapat memenuhi kebutuhan air secara terus menerus selama turbin uap tersebut beroperasi.

Pada umumnya sumber air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air pada PLTU ada beberapa sumber antara lain :

1. Air laut melalui proses pengolahan destilasi pada desalination plant.
2. Air tanah dengan menggunakan pompa sumur dalam (deep well pump)

Untuk memenuhi kebutuhan air pada PLTGU Belawan, diambil dari air laut yang kemudian diolah menjadi air tawar (baku) pada Desalination Plant. Kemudian air baku tersebut diproses lagi pada peralatan pemurnian air (Water Treatment Plant) hingga menjadi air murni (demin water), dan air murni inilah yang akan digunakan sebagai air umpan pada Heat Recovery Steam Generator (HRSG) untuk diproses

menjadi uap. Uap yang dihasilkan HRSG inilah yang kemudian digunakan untuk memutar turbine uap (steam turbine).

Pada Desalination Plant air laut dipanaskan dalam dua tahap antara lain :

1. Pertama air laut mengambil panas latent (latent heat) yang terkandung pada vapour (uap) pada heat exchanger condenser dari stage 13 sampai stage 1.
2. Setelah itu air laut dipanaskan pada brine heater dengan steam (uap) sebagai pemanas, setelah itu air laut diuapkan di evaporator.

Maka dalam hal ini penulis mencoba meneliti kembali proses perpindahan panas (heat transfer) yang terjadi pada evaporator condenser Desalination Plant. Keuntungan yang diperoleh perusahaan dengan beroperasinya Desalination Plant dengan baik adalah :

1. Turbin uap di PLTGU Belawan dapat beroperasi.
2. Seluruh kebutuhan air pada peralatan-peralatan lain dapat disupply.
3. Efisiensi akan semakin baik/tinggi dengan dimanfaatkannya kembali gas buang PLTG yang masih bertemperatur tinggi (500°C).

ABSTRACT

The operating of electrical power, problem of efficiency will be two factors in main consideration, because in high efficiency the relatively inexpensive price of electricity can be enjoyed by customer. Gass and steam electrical power are solutions to overcome the problem of efficiency, because exhaustive gas produce by Gas Electrical Power can be utilized again to heat the water in HRSG for next steam production to be use in rotating the steam turbine. The power produce by steam turbine is used to rotate the generator to produce the electrical power.

The resulting problem in operating of steam turbine is that it will require high quantity and continous supply of water mainly due to the losses in from of steam and water in closed cycle of Steam Turbine Power Plant. Therefore it will also need a set of devices and water supply to meet the water requirements continuously during the operation of steam turbine.

Generally the water supply used to meet the water requirement in steam turbine power plant includes :

1. The sea water through distillation process in desalination plant.
2. The waterground by using the deep well pump.

To meet the water requirement in Steam Turbine Power Plant of Belawan, it is taken from the sea water and process to be(raw)fresh water in Desalination Plant. And then the raw water is processed again in Water Treatment Plant to produce the pure water(demin water), and it is this demin water(pure water)to be used as feeding water to Heat Recovery Steam Generator for processing to steam. The

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Maksud dan Tujuan.....	4
1.3. Pembatasan Masalah.....	4
1.4. Metodologi.....	5
1.5. Sistem Penulisan.....	5
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Pengertian Tentang Perpindahan Panas.....	7
2.2. Tinjauan Tentang Alat Penukar Kalor.....	9
2.2.1. Aliran dan Distribusi Temperatur Alat Penukar Kalor Yang Tidak Langsung.....	9
2.3. Tipe-Tipe Dasar Alat Penukar Kalor.....	12
2.3.1. Alat Penukar Kalor 1 – 2 Pass.....	12
2.4. Konstruksi Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger).....	13

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 27/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)27/12/23

2.5. Diagram Alir Air Laut Sampai Menjadi Air Tawar/Baku.....	18
2.6. Alat Pengolah Air Laut Menjadi Air Baku (Desilantation Plant)	20
2.6.1. Komponen Utama Desalination Plant	20
2.6.2. Lintasan Alir (Flow Path) Air Laut/Distilate.....	22
2.6.3. Desalination Plant Evaporator (Sisi Brine).....	26
2.6.4. Desalination Plant Evaporator (Sisi Distilate).....	27
2.6.5. Brine Heater	29
2.6.6. Aliran Uap dan Kondensat.....	30
2.6.7. Sistem Ejector Pada Desalination Plant.....	32
2.6.8. Kontrol Temperatur Brine.....	35
2.6.9. Kontrol Aliran Air Laut.....	35
2.6.10. Data Pemanding	37
BAB III : METODE PENELITIAN	40
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	40
3.2. Bahan dan Konstruksi Alat Penukar Kalor	40
3.2.1. Tube Pada Alat Penukar Kalor	41
3.2.2. Bahan dan Ukuran Tube.....	42
3.2.3. Konstruksi Penukar Kalor Yang Digunakan	43
3.3. Jenis-Jenis Evaporator Air Laut	44
3.3.1. Tipe Susunan Tube	45
3.4. Penelitian Cara Perpindahan Panas Pada Penukar Kalor	48

3.4.1. Perpindahan Kalor Konveksi	48
3.4.2. Perpindahan Kalor Konveksi Bebas.....	50
3.4.3. Gabungan Konveksi Bebas dan Konveksi Paksa	52
3.4.4. Konveksi Paksa di dalam Pipa dan Saluran	54
3.5. Variabel Yang Diamati Pada Heat Exchanger Evaporator	57

BAB IV : PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN ALAT PENUKAR KALOR EVAPORATOR

4.1. Data-Data Keadaa Fisik Alat Penukar Kalor	61
4.1.1. Kecepatan Aliran Fluida di dalam Tube (V).....	61
4.1.2. Temperatur Air Laut Dalam Tube (Fluida Dingin) t_c	62
4.1.3. Bilangan Reynolds (R_c).....	63
4.1.4. Bilangan Nusselt (Nu) Untuk Aliran Fluida Dalam Tube.....	63
4.1.5. Perpindahan Kalor Total (q).....	64
4.1.6. Laju Aliran Massa (m).....	65
4.1.7. Faktor Gesek (f) Aliran Turbulen Dalam Tabung.....	65
4.1.8. Nilai Faktor Koreksi (F)	66
4.2. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Bagian Luar Tube (h_o)	67
4.2.1. Faktor pengotoran (Fouling Factor).....	70
4.2.2. Beda Suhu Rata-Rata Log (LMTD).....	70

4.3. Tegangan Tekan Pada Tube (Sc).....	72
4.4. Penurunan Tekanan Pada Sisi Pipa (Tube), ΔP_t	73
4.4.1. Penurunan Tekanan Saat Kembali (Return) Terhadap Pass Aliran, $\Delta P_{\text{Perusahaan}}$	75
4.5. Perhitungan Produksi Air Baku (Distilate Water).....	76
4.6. Pengoperasian Desalination Plant	77
4.6.1. Diagram Operasi (Start) Desalination Plant	78
4.6.2. Diagram Stop (Shut Down) Desalination Plant	80
BAB V : KESIMPULAN	82
LITERATUR	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan terhadap tersedianya energi listrik yang cukup sekarang ini sangat erat kaitannya dengan laju pembangunan suatu bangsa, tak terkecuali bangsa Indonesia pada saat ini. Energi listrik sangat dibutuhkan untuk menunjang laju pembangunan, terlebih lagi pada dunia industri maupun masyarakat luas, oleh karena tingginya angka pertumbuhan konsumen sekarang ini sudah tidak sebanding dengan penambahan mesin-mesin pembangkit listrik yang baru karena terbatasnya sumber energi listrik sekarang ini, maka pembangkit tenaga listrik yang ada di Sumatera Utara khususnya, dituntut kehandalan dan efisiensi yang tinggi di dalam pengoperasian mesin pembangkit, agar kebutuhan akan energi listrik untuk industri dan rumah tangga dapat terpenuhi.

Effisiensi merupakan hal yang sangat penting pada pengoperasian pembangkit tenaga listrik, agar listrik yang dihasilkan dapat dijangkau seluruh lapisan masyarakat, karena listrik sudah merupakan kebutuhan mendasar bagi seluruh lapisan masyarakat dan terlebih bagi dunia industri. Teknologi mesin pembangkit tenaga listrik yang berkembang sekarangpun yakni teknologi yang memiliki efisiensi yang tinggi seperti pembangkit listrik tenaga gas dan uap ((PLTGU). PLTG bila beroperasi dan gas buangnya langsung dibuang (open cycle) setelah memutar/melewati sudu turbin, temperaturnya masih sangat tinggi yakni sekitar 500°C , maka efisiensi PLTG itu sendiri menjadi rendah dan untuk menaikkan efisiensi PLTG tersebut maka gas buang yang temperaturnya masih tinggi tersebut dimanfaatkan parfasnya untuk memanaskan air di Heat Recovery

Steam Generator (HRSG). Selanjutnya uap yang dihasilkan pada pemanasan air di HRSG tersebut digunakan untuk memutar/menggerakkan turbin uap (steam turbine) sehingga efisiensi dari PLTGU akan semakin baik. Untuk dapat beroperasinya turbin uap pada pembangkit tenaga listrik, maka akan membutuhkan sumber air penambah (make up water) yang dapat memenuhi kebutuhan air secara kontinu pada siklus tertutup PLTU tersebut. Sebagai acuan data diambil dari pembangkit listrik PLTGU Belawan dengan kapasitas :

- a) Steam Turbine (ST) 10 : 149 MW
- b) Steam Turbine (ST) 10 : 162 MW

Uap yang digunakan untuk menggerakkan Steam Turbine (ST) 10 adalah yang berasal dari HRSG 11 dan 12, sedangkan untuk menggerakkan Steam Turbine (ST) 20 adalah uap yang berasal dari HRSG 21 dan 22. Untuk memenuhi kebutuhan air umpan (penambah) pada HRSG tersebut maka dibutuhkan peralatan bantu yang dapat menyediakan kebutuhan air penambah secara kontinu agar HRSG dapat beroperasi terus menerus. Sumber air yang pada umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan air pada pembangkit listrik tenaga uap antara lain :

- a. Air tanah dengan menggunakan pompa sumber dalam (deep well pump)
- b. Air laut yang diolah menjadi air tawar melalui proses penguapan (destilasi)
- c. Air sungai dengan menggunakan pompa transfer

Untuk PLTGU Belawan sumber air yang digunakan adalah air laut yang kemudian diolah menjadi air tawar pada Desalination Plant. Tahapan pengolahan air laut menjadi air baku adalah sebagai berikut :

- a. Pertama air laut dilewatkan melalui saringan sampah kasar dan halus lalu dipompakan ke bak pengendap lumpur air laut
- b. Pada bak pengendap lumpur diharapkan lumpur yang terkandung dalam air laut dapat mengendap dengan baik dan selanjutnya air dipompakan ke Desalination Plant
- c. Pada desalination plant air laut melalui beberapa tahap pemanasan, antara lain pada heat exchanger evaporator condensor dan di brine heater
- d. Selanjutnya air laut diuapkan pada evaporator dan vapour (uap) akan menyentuh tube-tube heat exchanger sehingga terkondensasi dan air distilate (hasil kondensasi uap) dikumpulkan dari stage 1 sampai dengan stage 13 pada destilate box, selanjutnya dipompakan ke raw water tank.

Air inilah nantinya yang akan diolah pada proses pemurnian air (water treatment) untuk dijadikan air penambah pada HRSG dan kebutuhan air lainnya. Alat penukar kalor/heat exchanger adalah merupakan peralatan yang sangat menentukan jumlah produksi destilate water yang dapat dihasilkan pada proses pengolahan air laut menjadi air tawar/baku pada desalination plant. Perkembangan ilmu tentang teknik perpindahan panas dewasa ini juga sangat banyak mengalami kemajuan oleh karena luasnya penerapannya di dunia industri, terlebih lagi pada pembangkit listrik yang banyak menggunakan alat penukar kalor.

Hal-hal tersebut di ataslah yang melatarbelakangi penulis untuk memilih judul "Heat Exchanger Evaporator Condenser Pada Desalination Plant", sebagai tugas akhir. (Dikutip dari majalah dwi bulanan PLN Kitsu, POTENSI)

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari hasil penelitian ini adalah untuk mengetahui berbagai metode heat transfer yang banyak dijumpai di lapangan pada dunia industridan dapat pula sebagai masukan bagi perusahaan tempat dimana melakukan penelitian, sekaligus dapat diambil perbandingan dengan yang dijumpai di dunia pendidikan. Kesimpulan dari penulisan hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat untuk lancarnya operasi desalination plant, dengan demikian dapat memenuhi kebutuhan air penambah untuk HRSG.

Tujuan utama dari penulisan ini adalah :

- a. Untuk mengetahui faktor-faktor utama penyebab turunnya produksi desalination plant dari sisi laju perpindahan panas pada alat penukar kalor.

1.3. Pembatasan Masalah

Masalah yang akan diteliti pada penelitian ini adalah khusus mengenai prinsip-prinsip perpindahan panas pada heat exchanger evaporator condenser pada desalination plant serta pengaruhnya terhadap produksi air baku yang dihasilkan demi lancarnya pasokan air penambah untuk PLTGU. Hasil penelitian ini nantinya akan dititik beratkan pada :

- a. Laju perpindahan kalor (q) pada heat exchanger evaporator condenser (kw)
- b. Luas permukaan perpindahan panas konveksi dan konduksi (m^2)
- c. Jumlah produksi air distilate/baku tiap jam (t/h)
- d. Koefisien perpindahan kalor konveksi ($w/m^2 \text{ } ^\circ C$)

Serta beberapa parameter lain seperti tekanan dalam bar, temperatur dalam derajat celcius.

1.4. Metodologi

Penulisan hasil penelitian ini berdasarkan pada :

- a. Penelitian kepustakaan (library research) merupakan cara pengumpulan data teoritis atau literatur yang khusus membahas tentang masalah perpindahan panas dan alat penukar kalor
- b. Penelitian lapangan, yang merupakan cara penelitian langsung dan telah dilakukan di PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan.

1.5. Sistem Penulisan

- Bab I : Dalam penulisan ini menguraikan tentang tinjauan umum, maksud dan tujuan, pembatasan masalah, dan metodologi.
- Bab II : Berisikan pengertian tentang perpindahan panas, tinjauan tentang alat penukar kalor dan sistem kondensasi yang baik pada condenser.
- Bab III : Metode penelitian bahan tube-tube alat penukar kalor yang meliputi tentang konstruksi alat penukar kalor, panas yang diserap air laut pada proses kondensasi vapour, koefisien perpindahan panas menyeluruh dan faktor pengotoran oleh air laut
- Bab IV : Perhitungan-perhitungan ukuran alat penukar kalor dan sistem pengoperasian desalination plant secara keseluruhan hingga operasi normal menghasilkan air distilate.
- BAB V : Kesimpulan sebagai penutup serta beberapa lampiran.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Tentang Perpindahan Panas

Panas dapat berpindah dari tempat atau benda, bilamana terdapat beda temperatur diantara tempat ataupun benda tersebut. Panas dapat berpindah dari suatu zat yang memiliki temperatur lebih tinggi ke zat yang memiliki temperatur yang lebih rendah, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa perbedaan temperatur merupakan potensial pendorong untuk terjadinya proses perpindahan panas.

Proses perpindahan panas dapat terjadi dengan tiga proses antara lain adalah :

- a. Konduksi (conduction)
- b. Konveksi (convection)
- c. Radiasi (radiation)

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Dalam aliran panas konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar. Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dengan mana panas mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi, dan dalam beberapa hal juga dengan radiasi.

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpangan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung beberapa tahap. Pertama panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya.

Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (free convection) dan konveksi paksa (forced convection) menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan bercampur berlangsung semata-mata akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu, maka kita berbicara tentang konveksi bebas atau alamiah (natural). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa, kipas, atau peralatan bantu lainnya maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Proses perpindahan panas yang terjadi di dalam evaporator condenser pada desalination plant dalam bahasan berikut adalah proses perpindahan panas secara konduksi, konveksi paksa. Fluidanya adalah dimana air laut di dalam tube-tube dan uap (vapour) pada shell. (Kreith, 1994)

2.2. Tinjauan Tentang Alat Penukar Kalor

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida lainnya atau dengan kata lain dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas dapat terjadi secara langsung dan secara tidak langsung.

1. Alat penukar kalor langsung ialah dimana fluida panas akan bercampur secara langsung dengan fluida yang dingin tanpa adanya pemisah dalam satu bejana atau ruang tertentu, seperti desuperheater pada ketel yang berfungsi untuk menurunkan temperatur uap sebelum masuk turbin.
2. Alat penukar kalor tidak langsung ialah fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida yang dingin, oleh karena itu proses perpindahan panas yang terjadi memiliki media perantara seperti : tube, pelat/elemen-elemen dan peralatan lainnya seperti evaporator condenser dan brine heater pada desalination plant.

2.2.1. Aliran dan Distribusi Temperatur Alat Penukar Kalor Yang Tidak Langsung

Pada jenis alat penukar kalor ini tube berfungsi sebagai pemisah antara fluida panas dengan fluida dingin. Untuk itu perlu pertimbangan yang matang, menentukan fluida mana yang mengalir melalui pipa, apakah fluida panas atau fluida dingin.

Ditinjau dari perubahan fase yang terjadi pada alat penukar kalor ini, maka jenis ini dapat dikelompokkan dalam dua kelompok, yaitu :

1. Alat penukar kalor yang mengakibatkan perubahan fase, seperti condensor, evaporator reboiler dan lain-lain

2. Alat penukar kalor tanpa perubahan fase

a. Alat Penukar Yang Mengakibatkan Perubahan Fase

Dalam hal ini akan dibahas dua perubahan yang terjadi pada kondensor dan evaporator yaitu :

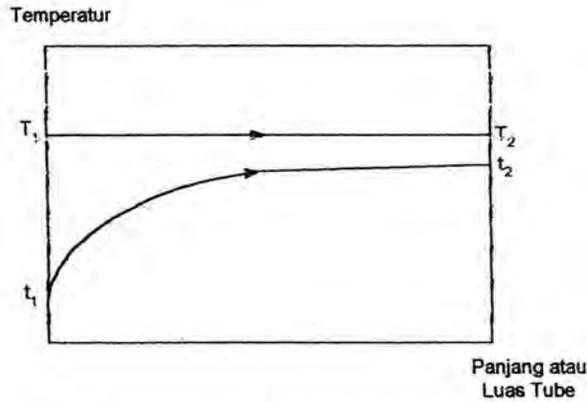
1. Kondensasi uap di dalam kondensor

2. Penguapan larutan di dalam evaporator

a) Aliran dan Distribusi Temperatur Pada Condensor

Untuk dapat menggambarkan aliran dan distribusi temperatur pada kondensor maka harus diketahui proses apa yang terjadi dalam kondensor itu. Dalam kondensor terjadi perubahan fase uap menjadi fase air (air kondensat). Proses ini terjadi karena uap basah (saturated vapour) itu memberikan panas yang dikandung (latent heat) kepada sea water. Temperatur air laut yang masuk sama dengan temperatur udara luar, karena air yang akan diolah pada desalination plant adalah air laut.

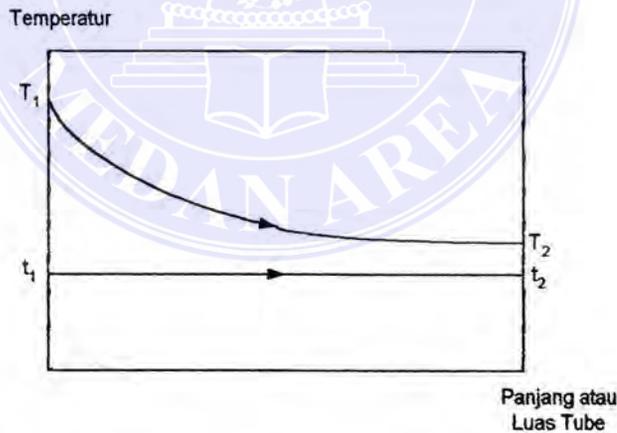
Proses kondensasi yang merupakan lepasnya latent-heat vapour terjadi pada temperatur uap, maka diagram distribusi temperatur panjang atau luas tube digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Distribusi temperatur panjang (luas) tube pada kondensor

b) Distribusi Temperatur Pada Evaporator

Kalau pada kondensor terjadi perubahan fase uap menjadi air kondensat, maka pada evaporator terjadi sebaliknya. Di sini terjadi perubahan fase cairan menjadi uap dengan mempergunakan panas media lain. Penguapan terjadi pada temperatur tetap, maka distribusi temperatur dan panjang atau luas tube evaporator dapat digambarkan sebagai berikut¹ :



Gambar 2.2. Distribusi Temperatur – Panjang (Luas) tube pada evaporator

(Sitompul,1993)

2.3. Tipe-Tipe Dasar Alat Penukar Kalor

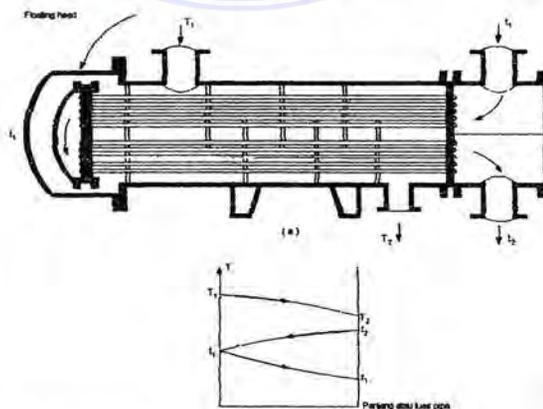
Walaupun dewasa ini sangat banyak jenis alat penukar kalor yang dikembangkan oleh industri-industri, namun alat penukar kalor jenis shell dan tubes ini masih jauh lebih banyak digunakan, dibandingkan dengan jenis lainnya. Tipe alat penukar kalor shell dan tubes adalah tipe paling sederhana, karena di dalam alat penukar kalor ini disusun tube-tube yang letaknya sesumbu dengan cangkang (shell).

Dalam alat penukar kalor yang dimaksud dengan pass adalah lintasan yang dilalui oleh fluida dalam shell dan fluida dalam tube-tube. Dikenal dua jenis lintasan alat penukar kalor, yaitu :

2. Shell pass atau lintasan shell
3. Tube pass atau lintasan tube

2.3.1. Alat penukar kalor 1 – 2 pass

Yang dimaksud dengan alat penukar kalor 1-2 pass adalah aliran di dalam shell (cangkang) satu pass, dan aliran fluida pada sisi tube dua pass. Untuk memperoleh dua pass aliran pada sisi tube, dipergunakan floating head.



Gambar 2.3. Alat penukar kalor 1 – 2 pass dengan counter – paralel flow

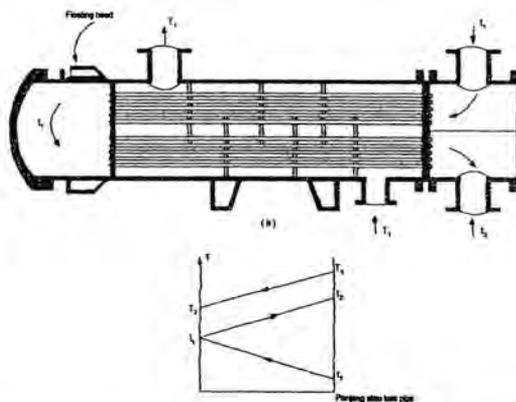
2.4. Kontruksi Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)

Ditinjau dari segi kontruksi alat penukar kalor jenis shell and tubes, maka secara umum kontruksinya dapat dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu :

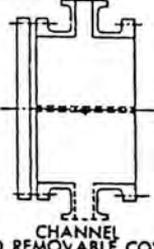
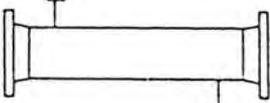
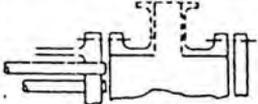
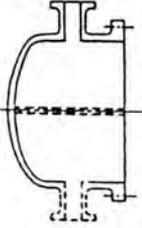
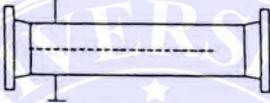
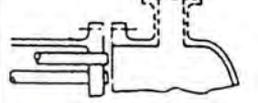
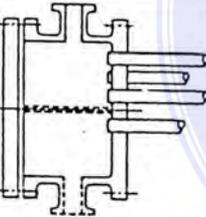
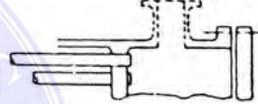
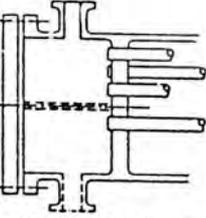
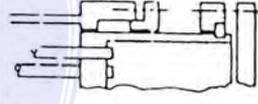
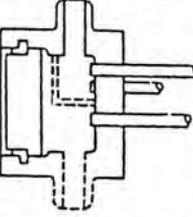
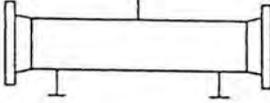
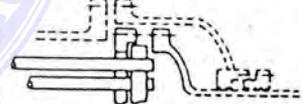
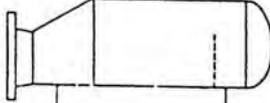
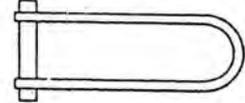
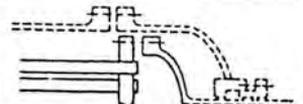
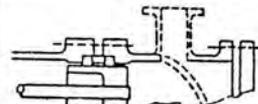
1. Bagian depan yang tetap atau front head stationary head (dalam praktek hanya disingkat dengan stationary head)
2. Shell atau badan alat penukar kalor itu
3. Bagian ujung belakang atau rear end head (dalam praktek lebih sering disebut rear head)
4. Berkas tube atau tubes – bundle, kumpulan tube yang dimasukkan ke dalam tube alat penukar kalor

Dalam standar TEMA, masing-masing bagian tersebut di atas, terkecuali nomor tiga telah diberikan kode masing-masing dengan mempergunakan huruf. Bagian depan yang tetap (front head stationary) terdiri dari 4 tipe yaitu : tipe A, B, C, dan D. Shell alat penukar kalor terdiri dari 6 tipe yaitu : tipe E, F, G, H, , J dan K.

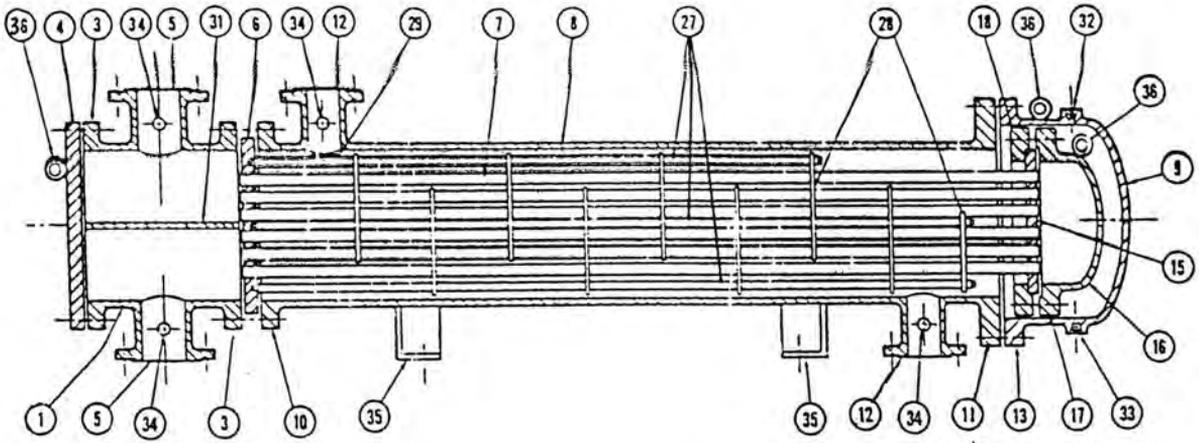
Bagian ujung belakang (rear end head) alat penukar kalor dibuat 8 tipe yaitu tipe L, M, N, P, S, T, U dan W. Ketiga bagian alat penukar kalor tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



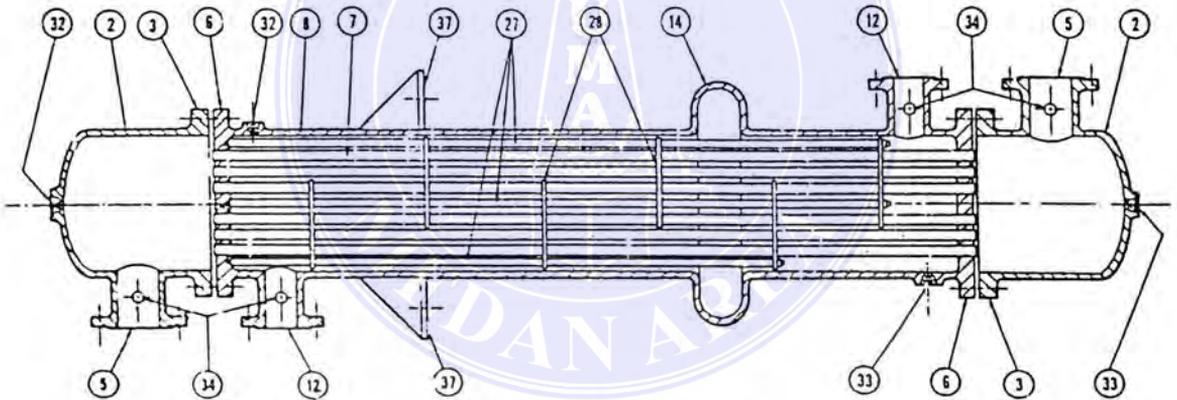
Gambar 2.4. Alat penukar kalor 1 – 2 pass dengan paralel – counter flow

	FRONT END STATIONARY HEAD TYPES	SHELL TYPES			REAR END HEAD TYPES
A	 <p>CHANNEL AND REMOVABLE COVER</p>	 <p>ONE PASS SHELL</p>	L	 <p>FIXED TUBESHEET LIKE "A" STATIONARY HEAD</p>	
B	 <p>BONNET (INTEGRAL COVER)</p>	 <p>TWO PASS SHELL WITH LONGITUDINAL BAFFLE</p>	M	 <p>FIXED TUBESHEET LIKE "B" STATIONARY HEAD</p>	
C	 <p>REMOVABLE TUBE BUNDLE ONLY</p>	 <p>SPLIT FLOW</p>	N	 <p>FIXED TUBESHEET LIKE "C" STATIONARY HEAD</p>	
	 <p>FIXED TUBESHEET ONLY</p> <p>CHANNEL INTEGRAL WITH TUBESHEET AND REMOVABLE COVER</p>	 <p>DOUBLE SPLIT FLOW</p>	P	 <p>OUTSIDE PACKED FLOATING HEAD</p>	
D	 <p>SPECIAL HIGH PRESSURE CLOSURE</p>	 <p>DIVIDED FLOW</p>	S	 <p>FLOATING HEAD WITH BACKING DEVICE</p>	
	 <p>KETTLE TYPE REBOILER</p>	 <p>U-TUBE BUNDLE</p>	T	 <p>PULL THROUGH FLOATING HEAD</p>	
		 <p>PACKED FLOATING TUBESHEET WITH LANTERN RING</p>	U	W	

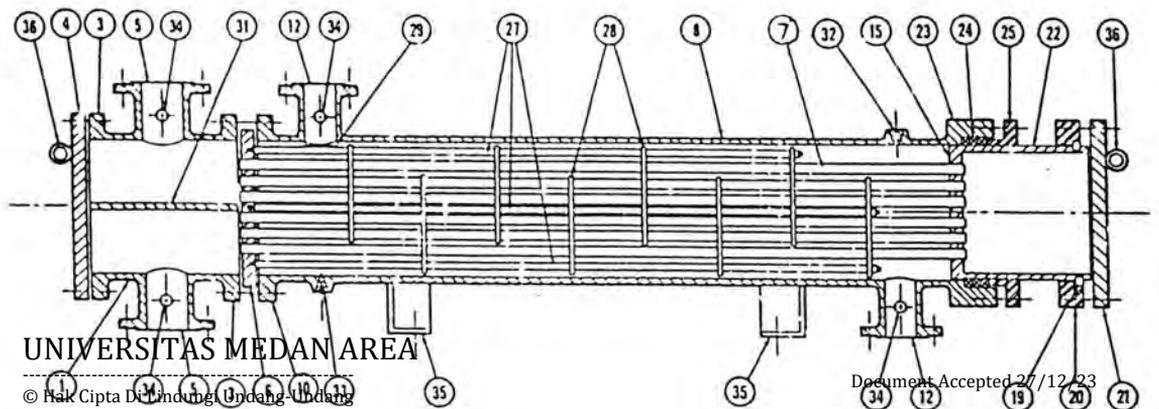
Gambar 2.5. Bagian-Bagian dari Alat Penukar Kalor (Berdasarkan standart TEMA)



Gambar 2.6. Penukar Kalor tipe AES (standar TEMA)



Gambar 2.7. Penukar Kalor tipe BEM (standar TEMA)

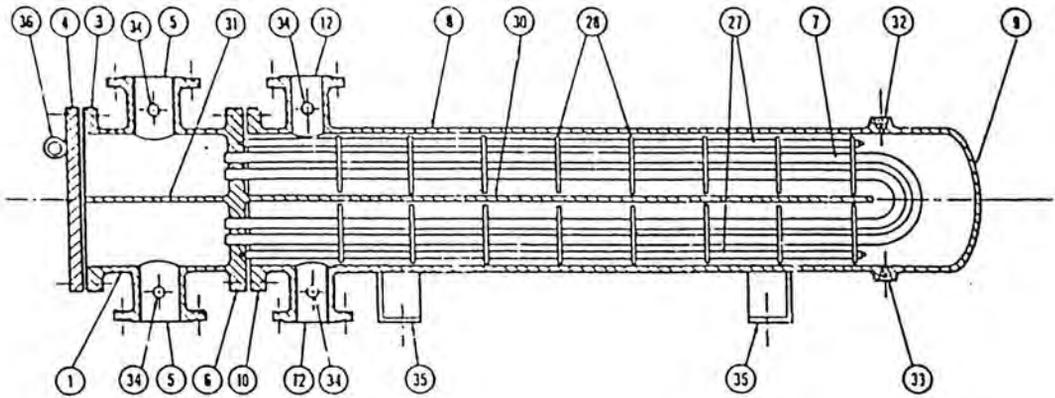


Gambar 2.8. Penukar Kalor tipe AEP (standar TEMA)

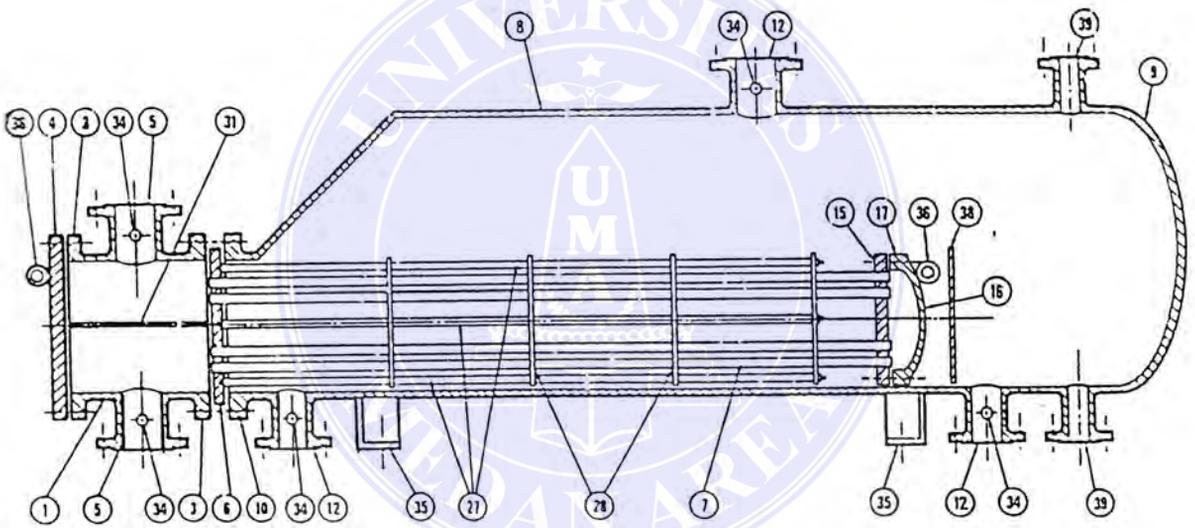
UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

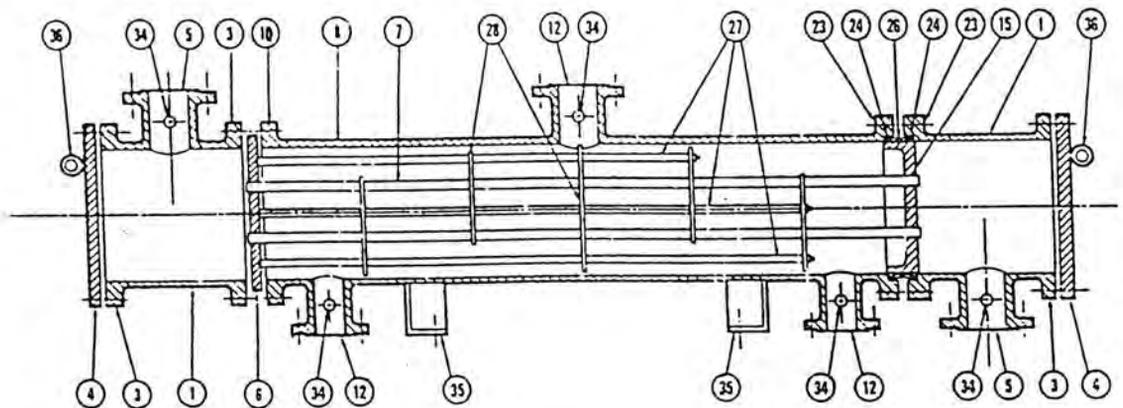
Document Accepted 27/12/23



Gambar 2.9. Penukar kalor tipe CFU (standar TEMA)



Gambar 2.10. Penukar kalor tipe AKT (standar TEMA)



Gambar 2.11. Penukar kalor tipe AJW (standar TEMA)

Keterangan Gambar 2.6 sampai dengan Gambar 2.11 :

1. Saluran ujung yang tetap, stationary Head-Channel
2. Topi ujung yang tetap, stationary head – Bonnet
3. Saluran atau topi ujung yang tetap, stationary head flange – Channel or Bonnet
4. Tutup saluran – channel cover
5. Nossel ujung yang stationer – Stationary Nozzle Head
6. Pelat tube stationer – Stationary tube sheet
7. Tube
8. Shell atau bejana
9. Tutup shell – shell cover
10. Flens shell pada ujung yang stationer, shell flange stationary nead end
11. Flens shell ujung yang di belakang, shell flange – Rear head end
12. Nossel shell
13. Flens penutup shell – shell cover flange
14. Sambungan eksnpanasi – Expanation joint
15. Pelat tube yang mengambang – Floating head cover
16. Tutup kepala yang mengambang – Floating head cover
17. Flens kepala yang mengambang – Floating head flange
18. Penahan kepala yang mengambang – Floating head backing device
19. Cincin pemisah – Split shear ring
20. Flens penahan dengan slip-on-slip-on Backing service
21. Tutup kepala yang mengambang sebelah luar, floating head cover
22. Pelat tube yang mengambang yang menyusur, floating tube sheet skirt

23. Flens packing – Packing follower ring
24. Packing
25. Cincin penekan packing – Packing follower ring
26. Cincin latern – Latern ring
27. Batang pengikat dan spasi – Tie rods and spacer
28. Pelat penahan atau sekat transverse – Transverse baffles of support plate
29. Sekat yang disentuh langsung – impingement Baffles
30. Sekat yang longitudinal (paralel dengan tubes) – Longitudinal Baffles
31. Pemisah aliran pass – Pass partition
32. Sambungan untuk venting
33. Sambungan untuk buangan (drain)
34. Sambungan untuk instrument
35. Penahan bejana ke pondasi atau sadel – Support saddle
36. Tahanan untuk mengangkat – Lifting lug
37. Penahan gantungan (bracket)
38. Weir
39. Saluran untuk cairan – Liquid level connection

(Sitompul,1993:17-22)

2.5. Diagram Alir Air Laut Sampai Menjadi Air Tawar/Baku

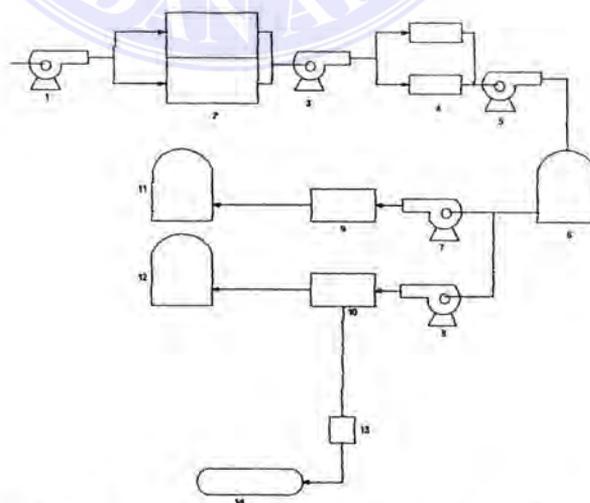
Air dari sungai Belawan setelah melewati saringan halus yang disebut Travelling Band Screen (TBS), air laut dipompakan menuju bak pengendap lumpur air laut. Fungsi daripada bak pengendap lumpur air laut ialah untuk mengendapkan kandungan lumpur air laut, agar air laut bebas dari kandungan lumpur sebelum dimasukkan ke desalination plant. Pompa yang memompakan air

laut menuju baik pengendap lumpur (sedimentation basin) adalah sea water transfer pump (SWTP).

Konstruksi bak dibuat luas supaya aliran air kecepataannya kecil, sehingga proses pengendapan diharapkan berjalan dengan baik, sehingga kotoran-kotoran dan lumpur akan tertampung di dasar bak. Sedangkan airnya mengalir lewat atas menuju clear weel. Dari clear weel air dipompa oleh pompa pengisi air laut (sea water feed pump) ke desalination plant. Di dalam desalination plant ini air laut diuapkan dengan menggunakan uap (steam) sebagai pemanas. Uapa pemanas diambil dari auxiliary boiler atau dari auxiliary steam. Air laut yang menjadi uap (vapour) setelah dipanaskan, kemudian dikondensasikan dan hasil kondensasi vapour inilah yang disebut dengan air tawar/baku (distilate water).

Distilate water kemudian dipompakan dengan distilate pump menuju tangki air baku (raw water tank). Kondisi distilate water yang diizinkan masuk diolah menjadi air penambah/umpan pada HRSG.

Berikut gambar diagram alir pengolahan air laut menjadi air tawar hingga air murni.



Gambar 2.12. Diagram alir pengolahan air laut menjadi air tawar hingga air murni

Keterangan gambar :

1. Pompa transfer air laut
2. Bak pengendap lumpur air laut
3. Pompa pengisi air laut
4. Alat pengolah air laut menjadi air beku/tawar (desalination plant)
5. Pompa distilate (distilate pump)
6. Tangki air tawar
7. Pompa air tawar
8. Pompa portable
9. Pengolah air murni
10. Pengolah air minum
11. Tangki air minum
12. Tangki air service
13. Filter air minum
14. Tangki air minum

(Belawan project consortium)

2.6. Alat Pengolah Air Laut Menjadi Air Baku (Desalination Plant)

Desalination plant adalah alat pengolah air laut menjadi air tawar, dimana proses pengolahannya dengan cara destilasi.

2.6.1. Komponen Utama Desalination Plant

Sistem desalination terdiri dari peralatan-peralatan utama, peralatan tersebut antara lain :

- 1) Evaporator 13 tingkat
- 2) Brine heater
- 3) Condensate pump

- 4) Drain cooler
- 5) Brine blowdown pump
- 6) Distilate pump
- 7) First stage ejector
- 8) Second stage ejector
- 9) Ejector condenser
- 10) Ball colector
- 11) Ball strainer
- 12) Ball cleaning pump
- 13) Anti scale tank
- 14) Anti foam tank
- 15) Anti scale pump 2x
- 16) Anti foam pump 2x

Diantara peralatan utama desalination plant tersebut, terdapat empat buah alat penukar kalor (heat exchanger) yang memiliki fungsi yang berbeda. Keempat alat penukar kalor tersebut adalah :

- 1) Evaporator 13 tingkat, dimana pada tiap tingkat evaporator terdapat heat exchanger. Fungsinya untuk mengkondisikan vapour dan panas latennya diambil untuk memanaskan air laut yang mengalir dalam tube-tube penukar kalor.
- 2) Brine heater, dimana fungsinya sebagai pemanas akhir air laut sebelum diuapkan pada evaporator dari tingkat satu sampai dengan tingkat tiga belas
- 3) Drain cooler, dimana berfungsi untuk mendinginkan hasil kondensasi uap (steam) pada brine heater

Air laut panas yang keluar dari brine heater ini kemudian masuk evaporator pada element nomor 1, oleh karena tekanan di dalam evaporator lebih kecil dibandingkan dengan di brine heater maka sebagian air laut yang panas akan menguap dan terpisah dengan zat-zat yang tidak dapat menguap. Uap ini akan naik ke elemen evaporator sisi atas. Kontak dengan tube heat exchanger yang terletak di atasnya. Uapnya akan terkondensasi oleh air laut yang dingin yang berada di dalam tube. Uap yang telah terkondensasi akan terkumpul di penampung yang terletak di sisi atas evaporator. Larutan garam/brine sisanya akan masuk ke element evaporator nomor 2 dimana tekanannya dibuat lebih rendah dari element evaporator nomor 1 sehingga sebagian airnya menguap demikian seterusnya sampai element evaporator nomor 13 (tekanannya paling kecil).

a. Lintasan Alir (Flow Path) Vapour dan Distilate

Uap (vapour) terbentuk di evaporator element nomor 1 sampai nomor 13. Uap ini akan naik di atas evaporator dan kontak dengan air laut yang masuk. Uap ini akan terkondensasi dan terkumpul di tray-tray yang terletak disamping evaporator di bawah tube heat exchanger. Uap yang telah terkondensasi ini disebut distilate. Distilate ini akan mengalir melalui masing-masing element pada evaporator dan akhirnya terkumpul di distilate box. Dari distilate box, distilate ini kemudian dipompa oleh pompa distilate (distilate pump) menuju tangki air baku (raw water tank). Level distilate box ini dikontrol oleh kontrol valve di sisi discharge distilate pump.

b. Lintasan Alir Uap dan Kondensat

Brine heater menggunakan uap sebagai pemanas untuk memanasi air laut sebelum masuk ke evaporator. Pada saat combine cycle power plant (CCPP)

operasi supply uap diambil dari uap bantu (auxiliary steam). Tetapi pada saat start supply uap dari auxiliary boiler. Aliran uap yang menuju desalination plant terbagi menjadi dua cabang. Sebagian besar menuju brine heater dan sebagian kecil menuju ejector sebagai media vacuum di evaporator. Aliran steam sebelum masuk brine heater dilewatkan melalui control valve yaitu untuk mengontrol temperatur brine keluar dari heater. Temperatur uap yang akan masuk ke sisi shell brine heater dijaga pada suhu uap jenuh dengan temperatur 120°C.

Penurunan temperatur uap sampai suhu uap jenuh dengan temperatur yaitu untuk mengurangi terjadinya pergerakan di heater. Setelah keluar dari brine heater uap telah terkondensasi dan hasil dari kondensasi ini disebut kondensat. Kondensat ini dikumpulkan di hot well yang terletak di bawah brine heater. Oleh pompa kondensat dipompakan menuju drain cooler untuk didinginkan dan media pendingin yang dipakai ialah air laut. Sebagian kecil dari kondensat oleh pompa kondensat digunakan untuk air di superheater. Aliran air di superheater selalu dikontrol untuk menjaga temperatur uap berada pada suhu jenuhnya.

c. Sistem Vacuum

Agar supaya peristiwa kondensasi berjalan dengan baik maka tekanan di evaporator dibuat vacuum dimana tiap-tiap elemen ini evaporator vacuumnya tidak sama. Element terakhir mempunyai vacuum yang paling rendah karena temperatur air laut di element ini paling rendah. Selain untuk menjaga agar vacuum tetap baik, gas-gas yang tidak terkondensasi harus dikeluarkan dari dalam evaporator. Ketika air laut diuapkan di evaporator maka ada sebagian

gas CO₂ terbentuk dari peretakan (break down) karbonat dan gas-gas lain juga terbentuk. Gas-gas yang tidak terkondensasi maka harus dibuang.

Sistem ejector digunakan untuk membuang gas-gas tersebut selama desalination plant beroperasi. Media yang digunakan di ejector adalah uap dan uap yang keluar dari ejector dan gas-gas yang tak terkondensasi kemudian masuk ke ejector kondenser untuk didinginkan dimana pendingin yang digunakan diambil dari air laut.

d. **Sirkulasi Bola-Bola Pembersih (Sponge Ball)**

Sponge Ball digunakan untuk membantu mengontrol/menjaga endapan lumpur (sludge) dan kerak yang terbentuk di tube-tube heat exchanger dan tube-tube brine heater. Sponge ball diinjeksikan pada aliran air laut masuk tersebut dan setelah keluar dari briner heater bola tersebut ditangkap oleh strainer lalu masuk ke pengumpul bola (ball collector). Kemudian oleh ball cleaning pump bola-bola tersebut dipompa untuk disirkulasikan kembali.

e. **Lintasan Alir Bahan Kimia Penambah**

Ada dua bahan kimia yang ditambahkan pada air laut sebelum masuk evaporator yaitu :

- a. Anti kerak (anti scale)
- b. Anti busa (anti foam)

Untuk menjaga agar tidak terbentuk kerak di evaporator maka pada air laut yang banyak mengandung garam-garam terlarut perlu ditambahkan anti scale.

Untuk mencegah pergerakan beberapa cara dapat dilakukan antara lain :

- a. Menjaga agar temperatur operasi jangan terlalu tinggi
- b. Menjaga zat-zat terlarut jangan terlalu tinggi

- c. Menggunakan bola-bola pembersih (tube cleaning ball)
- f. Menambahkan bahan kimia anti scale

Selain anti scale untuk mencegah terbentuknya busa maka perlu ditambahkan anti foam, karena jika busa terlalu banyak maka kemungkinan zat padat akan terikut di distilate lebih besar. Selain itu secara periodik evaporator tube dan tube brine heater perlu juga dibersihkan dengan menggunakan asam sulfat. Berikut ini akan dijelaskan komponen-komponen utama desalination plant secara lebih terperinci.

2.6.3. Desalination Plant Evaporator (Sisi Brine)

Sebagian air laut akan teruapkan di evaporator, evaporator terbagi atas 13 element dimana pressure drop (ΔP) yang terjadi sekitar 0,25 bar.

Air laut mengalir melalui pipa-pipa heat exchanger dan pengkondensasian vapour yang mengalir di sekeliling pipa tersebut. Temperatur air yang mengalir di evaporator akan terjadi penurunan. Supaya air tersebut bisa menguap maka elemen evaporator di design dengan vacuum yang makin kecil sehingga disemua element evaporator terjadi penguapan.

Dari element pertama, air laut kemudian menuju ke brine heater. Di dalam brine heater uap digunakan untuk memanasi air laut sampai suhu air laut mencapai 110°C (230°C) larutan garam yang panas ini kemudian mengalir di sisi bawah element pertama dimana sebagian air yang dikandungnya diuapkan sampai element terakhir.

Dari element terakhir, larutan garam yang tak teruapkan konsentrasinya menjadi pekat yang kemudian oleh brine blowdown pump dibuang kembali ke laut.

2.6.4. Desalination Plant Evaporator (Sisi Distilate)

Pada masing-masing element disediakan alat pengukur level untuk brine. Ini penting untuk melihat tinggi rendah level brine di masing-masing element evaporator. Karena tinggi rendahnya level bisa mengakibatkan fluktuasi vacuum.

Selain itu pada distilate box disediakan pula alat pengukur level yang gunanya untuk melihat level distilate. Level transmitter juga dipasang di distilate box. Transmitter ini akan menghasilkan output yang berupa sinyal yang selanjutnya dikirim ke kontrol room desalination plant dan bisa menunjukkan indikasi level distilate.

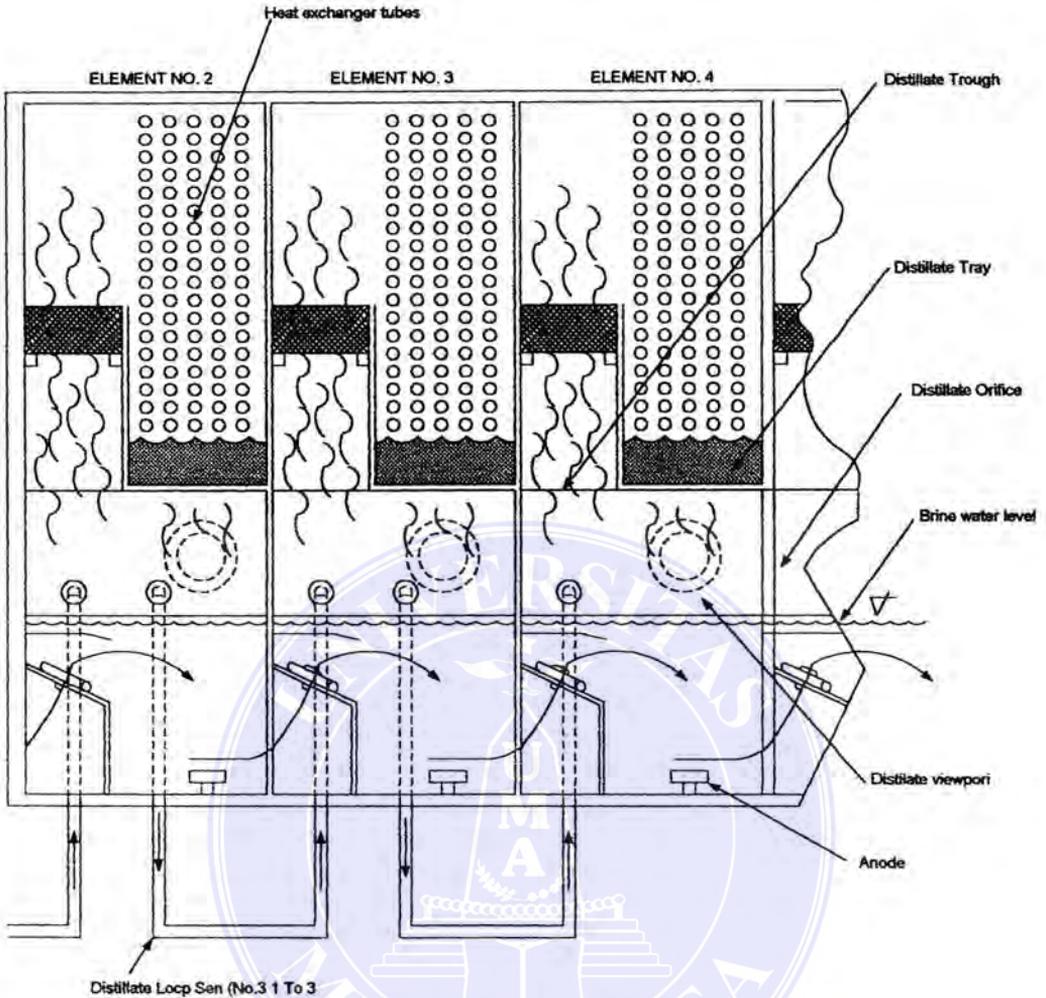
Level distilate box dikontrol secara automatic oleh kontrol value yang dipasang pada sisi discharge dari distilate pump. Pada gambar terlihat juga view part yang terpasang di setiap element evaporator. Hal ini berguna untuk melihat channel distilate. Line dari drain cooler terlihat juga di dalam gambar. Line ini masuk ke element nomor 3 evaporator. Pada keadaan normal kondensat dari drain cooler dipompakan ke sistem pengumpul kondensat. Tetapi jika kondensat tercemar maka secara automatic kondensat akan dipompakan menuju ke sisi brine untuk bersama-sama dengan brine di buang ke laut.

Larutan garam (brine) mengalir dari sisi kiri ke kanan lewat sisi bawah. Agar supaya brine dapat mengalir di setiap section, brine harus mengalir melalui restricting orific yang mana alat ini berguna untuk mengontrol flow yang melalui

unit. Dari element nomor 1 brine masuk melalui orifice dan air menguap ke atas dan brine terus mengalir ke kanan, temperatur brine akan menurun. Agar supaya brine dapat menguap di element selanjutnya maka tekanan dikurangi sampai mencapai temperatur jenuhnya. Demikian selanjutnya sampai element terakhir tekanannya paling rendah. Pada bagian tegak atas element dibagi 2 bagian secara vertikal uap naik ke atas melalui demister kemudian kontak dengan pipa tube heat exchanger yang berisi air laut yang lebih dingin sehingga uap akan terkondensasi turun ke bawah menuju distilate tray.

Dari distilate tray, distilate mengalir ke distilate trough. Dari element nomor 3 sampai element terakhir (nomor 13) distilate trough dihubungkan dengan distilate orific untuk mempertahankan flow dan pressure drop di setiap element.

Distilate dari seluruh elemen evaporator melalui distilate through akan mengalir menuju ke distilate box. Dari sini distilate water dipompa water dipompa oleh distilate pump menuju raw water tank. Distilate pump ini digerakkan oleh electric motor dengan kecepatan konstan. Pada sisi discharge pompa disediakan check valve dan flow orifice, flow orifice digunakan untuk mengukur flow distilate yang keluar evaporator menuju raw water tank. Kemudian setelah itu disediakan distilate level control yang digerakkan oleh motor. Valve ini digunakan untuk mempertahankan level di distilate box agar selalu sesuai dengan nilai yang dikehendaki yakni : 350 mm level ini di set dikontrol room desalination plant dan ia menerima signal level dari level transmitter yang diletakkan di distilate box. Kemudian setelah itu dipasang three way valve yang mana fungsinya untuk membuang (mendrain) distilate water apabila conductivitinya melebihi batas yang dikehendaki.



Gambar 2.4. Bagian Evaporator
(Belawan Project Consortium)

2.6.5. Brine Heater

Air laut yang masuk ke desalination plant akan mendapat panas dari seluruh elemen evaporator (element nomor 13) maka temperatur air laut paling tinggi pada evaporator element nomor 1.

Air laut kemudian akan dipanasi lebih lanjut sampai temperaturnya 110°C (230°F) di dalam brine heater dan kemudian kembali masuk elemen evaporator untuk dipisahkan antara lain dengan kandungan garamnya (brine).

Brine heater adalah suatu peralatan penukar panas yang terdiri dari sheell dn tube (sheell and tube exchange). Brine mengalir dari evaporator head exchanger masuk dari sisi atas kemudian ke heater lalu kembali masuk evaporator untuk memisahkan kandungan air dari brine.

Sebagai pemanas dari brine heater digunakan uap yang di supply dari auxiliary steam. Jika pada HRSG tidak beroperasi maka steam di supply dari auxiliary boiler. Uap masuk ke brine heater dari sisi ats ke shell dan memanasi tube-tube, akibatnya uap akan terkondensasi dan terkumpul di hotwell ini oleh kondensat pump akan disirkulasikan kembali ke sistem kondensat dan digunakan sebagai air penambah. Tetapi jika kondensat ini tercemar oleh air laut maka secara otomatis kondensat akan dibuang ke luar dan bercampur dengan brine yang keluar dari evaporator.

Pada brine heater disediakan juga safety valve, preasure gauge (alat pengukur tekanan) dan thermal well yang dipasang di bagian atas dari sisi shell. Pada sisi brine dilengkapi dengan drain dan vent di water box yang dihubungkan dengan gelas penduga dan level transmitter. Menurut buku alat penukar kalor (heat exchanger) Tunggul M Sitompul alat penukar kalor cetakan pertama 1993 halaman 18 brine heater yang digunakan pada desalination plant PLTGU Belawan adalah type BGT dengan type shell split flow.

2.6.6. Aliran Uap dan Kondensat

Untuk mengontrol temperatur uap yang masuk ke brine heater adalah fungsi dari brine temperatur kontrol valve. Temperatur brine yang keluar dari brine heater diukur oleh sensor dan hasilnya dikirim ke temperatur kontroler di

desalination plant. Output dari kontroler berupa sinyal yang selanjutnya dikirim ke temperatur kontrol valve line uap. Misalnya jika temperatur brine turun maka aliran uap yang masuk brine heater akan bertambah sampai temperatur brine kembali normal. Hal ini penting karena temperatur uap yang masuk brine heater tidak boleh terlalu tinggi karena akan menyebabkan terikutnya brine menguap dan masuk line distilate dan dijaga/dipertahankan agar selalu berada pada temperatur jenuhnya dengan cara menyeprai uap dengan kondensat di dalam alat yang disebut **desuperheater**.

Temperatur uap dikontrol dengan mengatur flow kondensat yang masuk ke desuperheater. Kondensat digunakan untuk spray di desuperheater sebab kondensat adalah air murni. Di dalam brine heater uap akan terkondesasi. Kondensasinya mengalir ke bawah dan terkumpul di hot well. kondensat pump akan memompa kondensat ke laut hotwell dan alirannya akan diatur oleh katup kontrol yang digerakkan oleh motor. Aliran kondensat diatur untuk mempertahankan level kondensat di hot well. pompa juga dilengkapi dengan air untuk gland sealing water dimana airnya dari service water system. Gland sealing water harus dioperasikan sebelum pompa tersebut beroperasi. Line sebelum masuk ke draincooler dipasang katup kontrol yang digerakkan oleh motor. Katup ini untuk mengatur level kondensat di hotwell dengan mengatur aliran kondensat yang keluar dari heater. Fungsi drain cooler adalah untuk mendinginkan kondensat yang keluar dari brine heater agar tidak terjadi penguapan karena hal ini akan menyebabkan kavitasi pada pompa.

Kavitasi itu sendiri terjadi bila cairan mengalir ke dalam suatu daerah tempat tekanannya menurun sampai tekanan uap. Maka mendidihkan cairan itu

dan kantong-kantong uap berkembang di dalamnya. Gelembung-gelembung uap tersebut terangkut oleh cairan sampai tercapainya daerah dengan tekanan yang lebih tinggi. Tempat gelembung-gelembung tiba-tiba mengempes. Proses inilah dinamakan kavitasi (dikutip dari Streeter, Mekanika Fluida, Edisi Delapan, Jilid I halaman 384).

Sebagai pendingin di drain cooler dipakai air laut yang diambil dari sisi inlet evaporator. Air laut masuk ke ejector kondensor kemudian di drain cooler untuk selanjutnya dibuang kembali ke laut melalui blowdown pump. Drain cooler adalah hasil exchanger shell and tube dimana air laut mengalir melalui tube sedang kondensat melalui shellnya. Keluar dari drain cooler kondensat akan melalui three way value sebelum masuk ke kondensat sistem. Jika conductivity kondensat melebihi batas yang diijinkan maka three way value akan membuang kondensat tersebut keluar sistem. Batas maximum conductivitynya adalah 18 ms/cm.

2.6.7. Sistem Ejector Pada Desalination Plant

Tekanan di evalatator nomor 1 besarnya sekitar 0,25 bar di atas tekanan atmosfer. Tekanan ini akan menurun terus sampai elemen evaporator terakhir tekanannya sekitar -700 mmHg.

Ejector terdiri dari steam nozzle dan venturi. Kecepatan uap setelah melewati nozzle akan bertambah menjadi tinggi sekali. Akibatnya tekanan akan menjadi kecil. Supply uap dengan tekanan $\pm 4,8$ bar dari auxiliary steam sistem. Uap masuk ejector lewat steam inter dan mengalir melalui diverging-converging nozzle untuk menambah kecepatannya.

Di dalam ejector kecepatan yang paling tinggi adalah di ujung akhir nozzle dan karenanya di daerah ini tekanannya paling rendah. Tekanan di daerah ini lebih kecil dari tekanan di evaporator (± 700 mmHg) maka akibatnya gas-gas yang ada di evaporator akan mengalir ke ejector dan terbawa oleh uap keluar ejector. Gas-gas yang masuk ke ejector terdiri dari beberapa gas yang tidak bisa terkondensasi (non-condensable gas) yang terakumulasi di dalam evaporator.

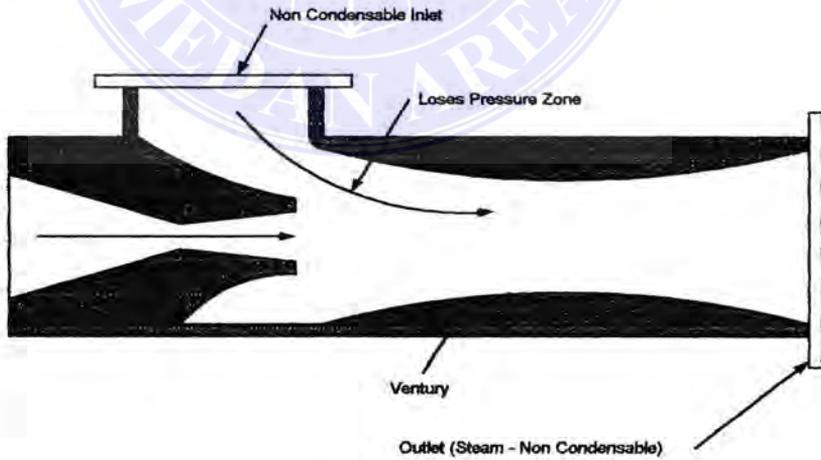
a. Sistem Ejector Pada Evaporator

Sistem ejector digunakan untuk mengeluarkan/mengangkut gas tak terkondensasi dari evaporator desalination plant yang terdiri dari 2 tingkat (stage) ejector, stage I dan stage II masing-masing ejector akan membuang uapnya ke ejector kondensor.

Supply uap dari auxiliary steam sistem dan menyuplai pada ejector stage I dan stage II melalui shut off value dan stariner. Uap yang masuk ke stage I ejector dicontrol oleh motor shut off value untuk mempertahankan tekanan. Uap yang masuk ke ejector stage II hanya melalui manual shutt off value yang pada operasi normal posisinya terbuka penuh. Dari katup kontrol, uap mengalir melalui strainer menuju ejector stage I. Tekanan rendah di ejector akan menghisap melalui strainer menuju ejector stage I. Tekanan rendah di ejector akan menghisap gas-gas tak terkondensasi dari elemen terakhir evaporator. Campuran uap dan gas dari ejector stage I mengalir menuju ejector kondensor. Kondensor dibagi dua oleh internal tube. Ejector stage I membuang gasnya hanya ke dalam sebelah kondensor melalui pelana (saddle) yang terletak di puncak atas sheell.

Ejector kondensor stage I tekanannya di bawah tekanan atmosfer sehingga ejector stage II masih dibutuhkan. Uap dan gas tidak terkondensasi dari ejector

kondensor stage I dialirkan ke ejector kondensor stage II. Gas-gas tak terkondensasi bercampur dengan uap yang digunakan untuk mengoperasikan ejector stage I dan campuran ini dialirkan ke ejector kondensor stage II. Uap akan terkondensasi di ejector kondensor stage II yang mempunyai tekanan sekitar 1,5 atmosfer dan gas-gas tak terkondensasi akan dibuang lewat atas ejector kondensor melalui check value. Jika tekanan ejector stage II ini turun di bawah tekanan atmosfer maka check value akan tertutup untuk mencegah aliran udara masuk ejector kondensor ini. kondensat yang terbentuk di kedua stage kondensor dialirkan kembali evaporator. Kondensat ini banyak mengandung gas CO₂ dan O₂ yang korosif sehingga tidak bisa dipakai sebagai air penambah di HRSG. Pada ejector dipasang indikasi tekanan untuk mengukur tekanan di elemen terakhir evaporator. Dimana tekanannya adalah -700 mmHg. Pengukur tekanan juga dipasang di sisi atas ejector kondensor untuk mengukur tekanan di ejector kondensor stage I dimana tekanan di sini kira-kira -570 mmHg.



Gambar 2.15. Kontruksi Ejector

(Operation and Maintenance Manual Desalination Plant)

2.6.8. Kontrol Temperatur Brine

Temperatur brine yang masuk ke evaporator dikontrol dengan mengatur aliran uap yang masuk ke brine heater. Pengaturan temperatur brime yang masuk evaporator ini sangat penting karena pengaturan ini dapat mencegah terjadinya kerak pada evaporator brine heater.

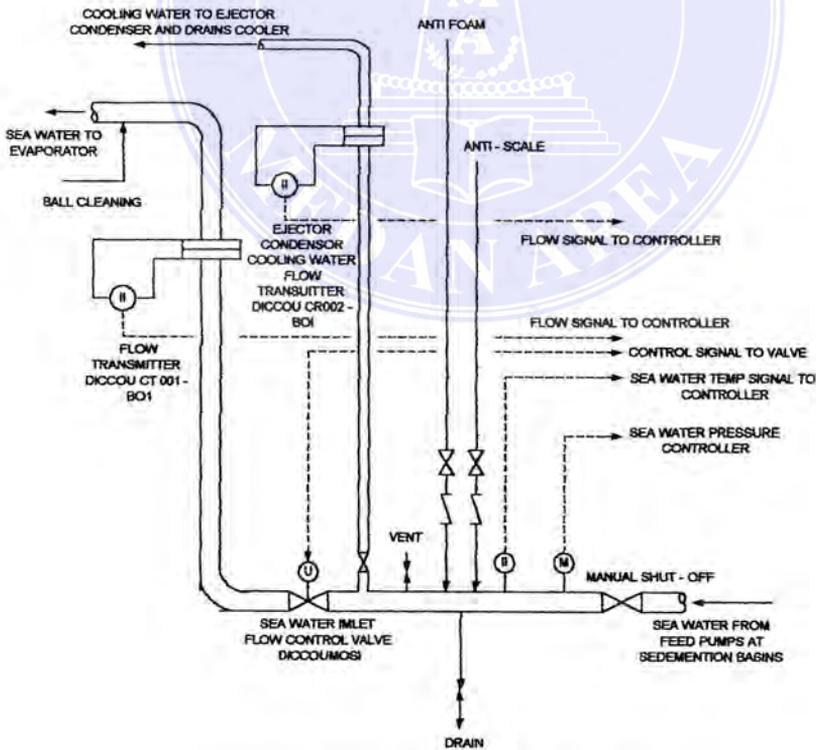
Alat sensor temperature dipasang pada line brine yang keluar dari brine heater. Hasil sensor temperatur diterima oleh transmitter dan dirubah menjadi signal elektronik yaitu : 4 – 20 mA, dan selanjutnya dikirim ke temperatur kontroller yang terletak di ruang kontrol. Signal dan transmitter ini juga dikirim ke pusat kontrol yang terletak di depan kontroler yang menunjukkan indikasi temperatur brine yang bisa dilihat oleh operator. Operator dapat menyetel (adjust) set point di pusat kontrol ini, set point ini kemudian dikirim ke kontroller.

Kontroller akan membandingkan signal ke set point dengan signal yang datang dari transmitter dan menghitungnya apakah temperatur brine terlalu tinggi atau terlalu rendah. Keluaran dari kontroller adalah signal yang dikirim ke katup temperatur kontrol pada line uap. Misal jika temperatur brine terlalu tinggi (di atas set point) maka kontroller akan memerintahkan temperatur control valve pada line uap untuk memperkecil pembukaan katup (memperkecil supply uap) sampai temperatur brine kembali normal.

2.6.9. Kontrol Aliran Air Laut

Aliran air laut (sea water flow) yang masuk evaporator secara automatic selalu dikontrol dengan baik di ruang kontrol. Aliran air laut ini tergantung produksi distilate yang diinginkan. Aliran air laut ini harus dikontrol dengan

tujuan menjaga level brine di evaporator dan juga untuk memastikan rata-rata aliran blowdown telah cukup. Hal ini untuk mencegah terikutnya partikel-partikel padat (solid) ke line distilate. Aliran air laut yang masuk desalination plant bisa diatur (adjust) secara manual pada ruang kontrol. Sebuah transmitter untuk mengukur aliran dipasang pada line air laut untuk ke evaporator transmitter ini mengukur aliran melalui orific dan menghasilkan keluaran berupa signal yang sebenarnya (actual flow) dan akan menghasilkan keluaran berupa signal yang menuju katup kontrol aliran air laut. Dalam operasi normal aliran air laut bukan pada posisi automatic operator tapi berasal dari set point beban yang diset. Set point beban disediakan dengan maksud supaya pengaturan antara produksi distilate yang dihasilkan. Aliran air laut dan temperatur uap dapat mencapai harga yang optimum sesuai dengan produksi yang diharapkan.



Gambar 2.16. Air Laut Inlet Evaporator

2.6.10. Data Pemanding

Setelah melakukan studi literatur di PT. PLN (Persero) Pembangunan Sektor Belawan di bagian pengolahan air laut menjadi air tawar, maka diperoleh data sebagai berikut :

Evaporator

- 1) Tipe : Multi – Stage – Flash, Cross tube
- 2) Pabrik pembuat : Sasakura Engineering Co, Ltd
- 3) Jumlah tingkat : 13 tingkat
- 4) Diameter Luar Tube : 15 mm = 0,015 m
- 5) Tebal tube : 0,5 mm = 0,0005 m
- 6) Luas permukaan tube : 747,5 m²
- 7) Jumlah tube tiap stage : 370 / stage
- 8) Rugi gesekan pada tube : 30 M Aq
- 9) Ukuran
 - a. Panjang keseluruhan : 9.720 mm = 9.72 m
 - b. Tinggi : 2.060 mm = 2.060 m
 - c. Lebar keseluruhan : 4.400 mm = 4.4 m
- 10) Desain Tekanan
 - a. Sisi tube : 6.0 BARG
 - b. Sisi shell : 1.0 & - 1.0 BARG
- 11) Bahan
 - a. Shell : Bottom side : C. Steel + 316 LSS Clad
 Ceiling : C. Steel + 30455 Clad
 - b. Tube : Titanium

- c. Tube sheet : Aluminium bronze
- d. Water box : 90/10 Cu.m dan C. steel + 90/10 Cu – Ni Lining

12) Berat

- a. Kosong : 27.000 kg
- b. Operasi : 40.000 kg
- c. Penuh : 72.000 kg

13) Produksi

- Kapasitas : 500 ton/hari²

Desalination Plant

1. Tipe : Multi stage flas, once through, cross tube
2. Pabrik pembuat : Sasakura engineering Co. Ltd
3. Nomor : 2
4. Kapasitas : 500 ton/hari
5. Rasio perbandingan (distilate/steam) : 6,6 untuk desain
6,0 garansi
6. Kualitas distilate
 - a. Total dessolved solid : < 10 ppm
 - b. Fe` : < 0,2 ppm
 - c. pH : 6,0 – 7,0
7. Temperatur distilate : 39,1°C (air laut 30°C)
8. Temperatur inlet evaporator : Temperatur maksimum air laut : 110°C
9. Pemakaian uap : 4,2 bar Gauge x 192°C

- a. Uap pemanas : 2,829
- b. Ejector : 327 - Total 3,156 ton/jam (perunit)
- 10. Electric power consumption : 43 KW (hanya untuk sea water feed pump)
- 11. Konsumsi kimia : Anti – scale : 0,551 kg/jam/unit
Anti – scale : 0,551 kg/jam/unit
- 12. Jarak automatic kontrol beban operasi : 100 – 60%
- 13. Kapasita air laut : 240 ton/jam

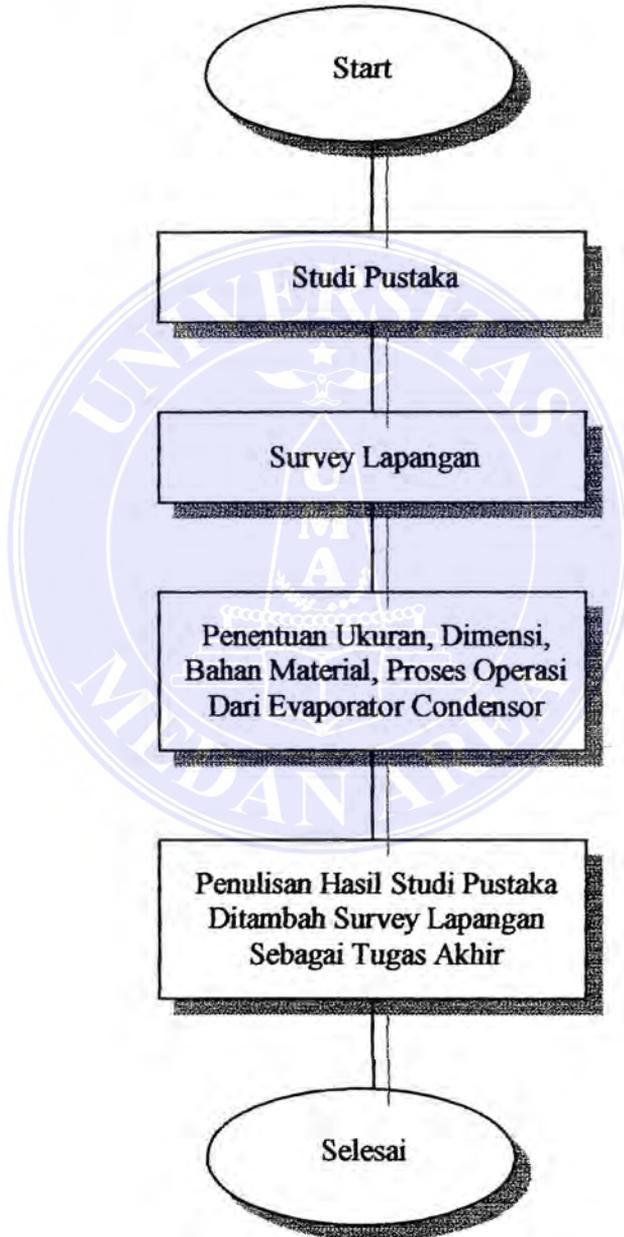
(Instruction Manual Part 2.7.6 Desalination Plant)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Prosedur Penelitian



1. Start

Pembuatan proposal (*outline*) tugas akhir dengan judul “Heat exchanger Evaporator Condensor pada Desalination Plant” dimana sebagai masalah yang akan diangkat sebagai Tugas Akhir.

2. Studi Pustaka/Literatur

Mengumpulkan sebanyak mungkin buku-buku referensi tentang perpindahan kalor, yang akan dijadikan sebagai sumber penulisan tugas akhir, buku-buku tersebut seperti tercantum pada daftar literatur.

3. Survey Lapangan

Survey langsung di lapangan untuk mendapatkan data-data sebagai pembanding dengan data-data yang terdapat dalam buku-buku referensi dan juga untuk mengetahui konstruksi dan cara kerja dari evaporator condensor pada desalination plant.

4. Penentuan Ukuran Dimensi, Bahan Material, Proses Operasi dari Evaporator Condensor

Menentukan bentuk konstruksi, variabel proses yang bekerja, tekanan kerja, laju aliran (flow), temperatur, bahan material, nilai konduktivitas thermal, kemudian menerapkan rumus-rumus perhitungan yang sesuai dengan alat pemanas air laut yang ada di lapangan.

5. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Memulai penulisan laporan tugas akhir dengan mengacu pada buku “Panduan Penulisan Proposal Dan Tugas Akhir” dari Fakultas Teknik Mesin Universitas Medan Area serta bimbingan dari dosen pembimbing yang telah ditetapkan.

6. Selesai

Laporan tugas akhir selesai bila telah selesai bimbingan dari dosen pembimbing.

3.2 Bahan dan Konstruksi Alat Penukar Kalor

Bahan yang terpenting pada alat penukar kalor ialah bahan yang berfungsi sebagai penghantar/pemindah panas antara fluida dan fluida dingin, dimana pada alat penukar kalor jenis shell and tube. Fungsi ini berada pada tube. Istilah tube sering digunakan pada dunia teknik, khususnya bidang mekanik, pabrik kimia, pengolahan minyak, pembangkit listrik tenaga uap dan lain-lain.

3.1.1. Tube Pada Penukar Kalor

Tube dapat dikatakan sebagai urat nadi alat penukar kalor, di dalam dan luar tube mengalir fluida. Kedua jenis fluida itu mempunyai kapasitas temperatur tekanan, density, serta jenis yang berbeda. Kedua ujung tube diikat pada tube sheet, ini bertujuan untuk mencegah kebocoran fluida yang mengakibatkan fluida terkontaminasi. Tube juga harus mampu memindahkan panas diantara fluida dalam tube dengan di luar tube.

Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi tube antara lain ialah :

- b. Kemampuan memindahkan panas yang tinggi
- c. Daya tahan terhadap panas
- d. Daya tahan terhadap korosi
- e. Daya tahan terhadap erosi
- f. Mampu untuk dibentuk dengan proses dingin atau panas
- g. mempunyai sifat plastis yang baik

Pemilihan jenis bahan dan ukuran tube didasarkan pada :

- a. Besarnya aliran fluida
- b. Temperatur
- c. Tekanan
- d. Korosive atau tidak
- e. Sistem serta periode pemeliharaan
- f. Fouling atau tidak

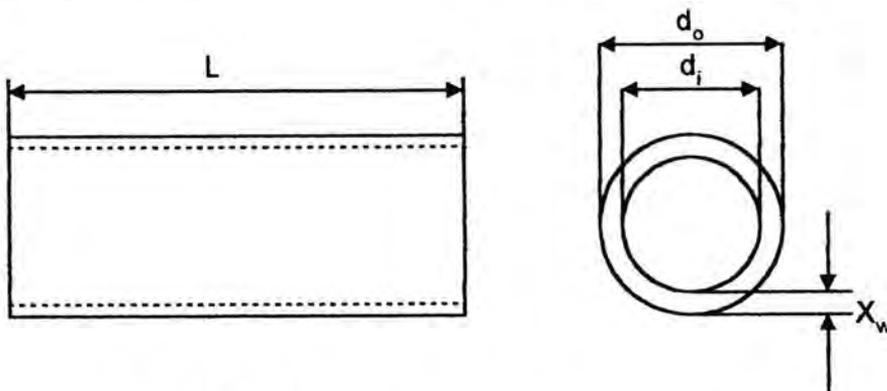
Bahan tube alat penukar kalor pada evaporator desalination plant PLTGU Belawan ialah titanium, dimana telah sesuai dengan dasar dari pada pemilihan jenis bahan dan ukuran tersebut dari poin (a) sampai dengan (f).

(Sitompul 1993 : 141)

3.1.2. Bahan dan Ukuran Tube

Bahan tube yang dipergunakan pada penukar kalor evaporator desalination plant PLTGU Belawan adalah titanium, oleh karena bahan tersebut memiliki sifat-sifat yang baik sebagai penghantar/pemindah panas. Pemilihan titanium sebagai bahan tube juga didasarkan atas fluda yang mengalir di dalm tube yaitu air

laut yang memiliki sifat yang korosif, dan titanium memiliki daya tahan terhadap korosif yang baik.



Gambar 3.1. Sket gambar tube yang digunakan pada penukar kalor

Dimana :

- d_o = Diameter luar pipa (tube) $d_o = 15 \text{ mm}$
 - d_i = Diameter dalam pipa (tube) $d_i = 14 \text{ mm}$
 - X_w = Tebal pipa (tube) $X_w = 0,5 \text{ mm}$
 - L = Panjang pipa (tube) $L = 3300 \text{ mm}$
- (Dari hasil survey)

(Instruction Manual Part 2.7.6 Desalination Plant)

Tabel 3.1. Konduktivitas thermal beberapa bahan pada temperatur 93⁰C(200⁰F)

Material	Thermal Conductivity – k	
	W/(m-K)	Btu/(hr ft ⁰ F)
Copper	386	223
Aluminium	173	100
Admiralty Brass	121	70
Mild steel	43	25
Silicon Bronze	26	15
Stainless Steel (18 Cr – 8 Ni)	14	8
Inconel	14	8

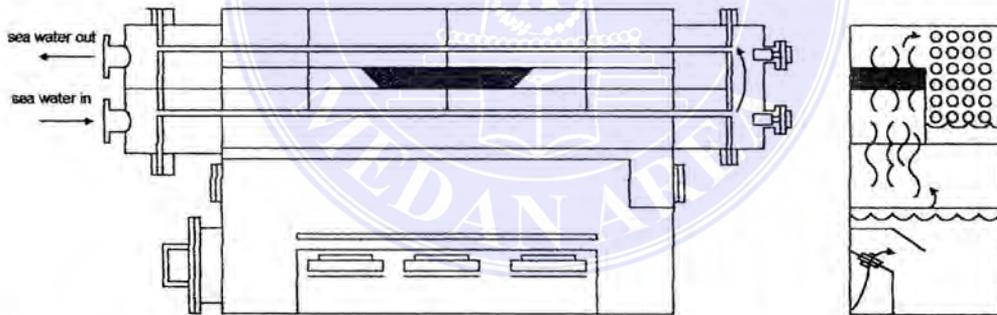
90 – 10 Cu – Ni	52	30
70 – 30 Cu – Ni	31	18
Monel	26	15
Titanium	17	10

(Campbell 1989,volume II : 60)

Data tube tersebut nantinya akan dapat digunakan untuk perhitungan agar dapat diketahui nilai (k) bahan titanium pada temperatur rata-rata yang diambil.

3.1.3. Kontruksi Penukar Kalor Yang Digunakan

Penukar kalor yang digunakan adalah type shell and tube 1 – 2 pass yaitu 1 pass pada sisi shell dan 2 pass pada sisi tube seperti pada gambar 3.2. Fluida dingin adalah air laut (sea water) sedangkan fluida panas adalah uap (vapour). Pada sisi shell fluidanya akan mengalami perubahan fasa yakni dari : fasa uap jenuh (saturated) ke fasa cair dalam bentuk kondensat.

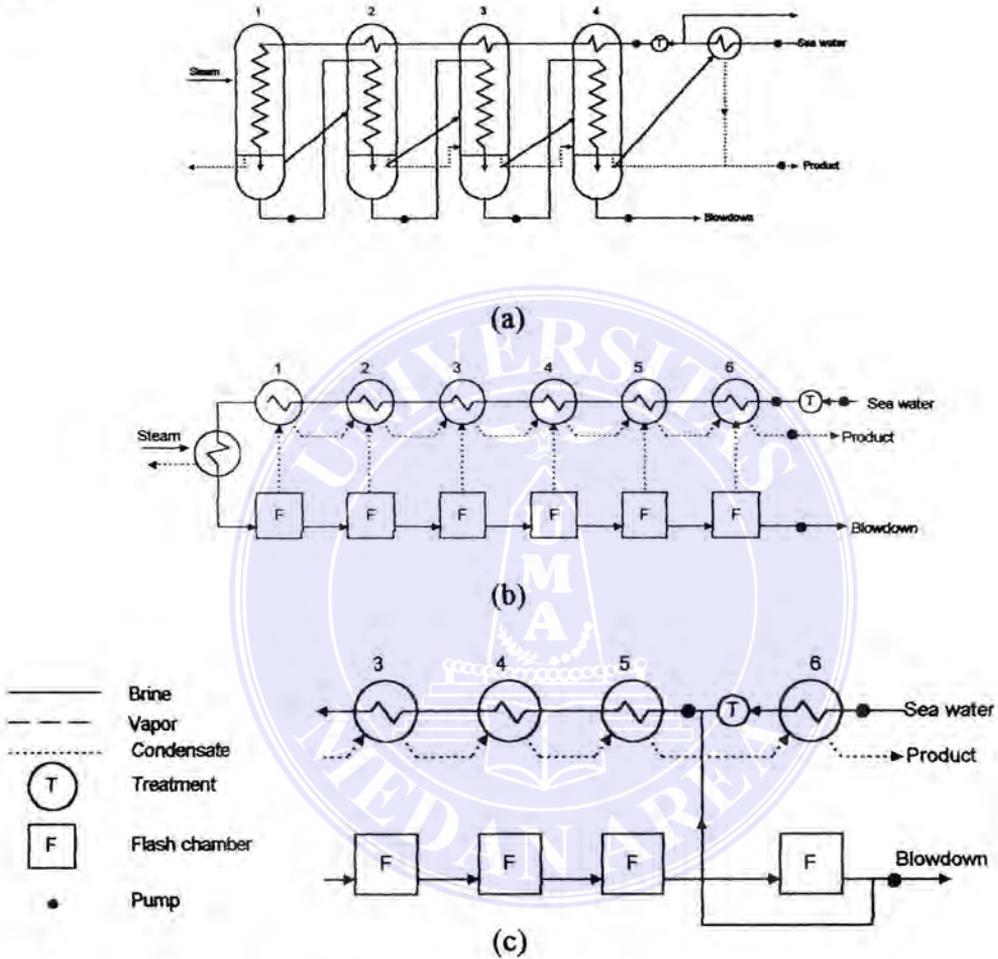


Gambar 3.2. Gambar sket evaporator dan aliran air laut (seawater), uap (vapour) (Operation and Maintenance Manual Desalinatio Plant)

3.2. Jenis-Jenis Evaporator Air Laut

Evaporator air laut memiliki bermacam-macam type aliran dimana penggunaan di lapangan sesuai dengan kebutuhan dan target yang ingin dicapai (jumlah produksi) air baku yang diinginkan. Spesifikasi air laut juta mempengaruhi jenis evaporator yang akan digunakan. Misalnya air laut yang

kandungan brinenya cukup pekat atau conductivitynya tinggi maka akan berpengaruh pada jumlah tingkat ruang penguapan air laut pada evaporator. Jenis diagram air laut pada beberapa jenis evaporator air laut dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Gambar diagram alir evaporator air laut
c) Multiple effect (*falling film*) ; b) Multistage flash (*once-through*) ;
d) Multistage flash (*recirculating*)

(Perry sixth edition)

Tipe evaporator yang digunakan di PLTGU Belawan adalah multistage flash dengan posisi tube melintang (*cross tube*) terhadap aliran air laut yang diuapkan (*fluidapanas*) dengan jumlah tingkat sebanyak 13 tingkat.

3.2.1. Tipe Susunan Tube

Kemampuan melepas atau menerima panas suatu alat penukar kalor dipengaruhi oleh besarnya luas permukaan (*heating surface*). Besarnya luas permukaan itu tergantung dari panjang, ukuran dan jumlah tube yang dipergunakan pada alat penukar kalor itu.

Susunan tubes itu mempengaruhi besarnya penurunan tekanan aliran fluida dalam shell. Penentuan susunan pipa-pipa (tubes) pada alat penukar kalor sangat prinsip sekali, ditinjau dari segi operasi dan segi pemeliharaan. Beberapa susunan tubes alat penukar kalor seperti pada gambar 3.4. tipe susunan itu antara lain adalah :

- 1) Tube dengan susunan segi tiga (*triangular pitch*)
- 2) Tube dengan susunan segitiga diputar 30° (*rotated triangular* atau *in – line triangular pitch*)
- 3) Tube dengan susunan bujur sangkar (*in line square pitch*)
- 4) Tube dengan susunan berbentuk belah ketupat, atau bentuk bujur sangkar yang diputar 45° (*diamond square pitch*)

Susunan tube yang segitiga ini sangat populer dan baik dipakai melayani fluida yang kotor atau berlumpur atau yang bersih (*non – flouling or fouling*). Pembersihan tube dilakukan dengan cara kimia (*chemical cleanshing*). Koefisien perpindahan panasnya lebih baik dibanding dengan susunan pipa bujur sangkar (*in line square pitch*). Susunan tube segitiga banyak dipergunakan dan menghasilkan perpindahan panas yang baik per satu satuan penurunan tenakan (*per unit pressure drop*) disamping itu letak tube lebih kompak.

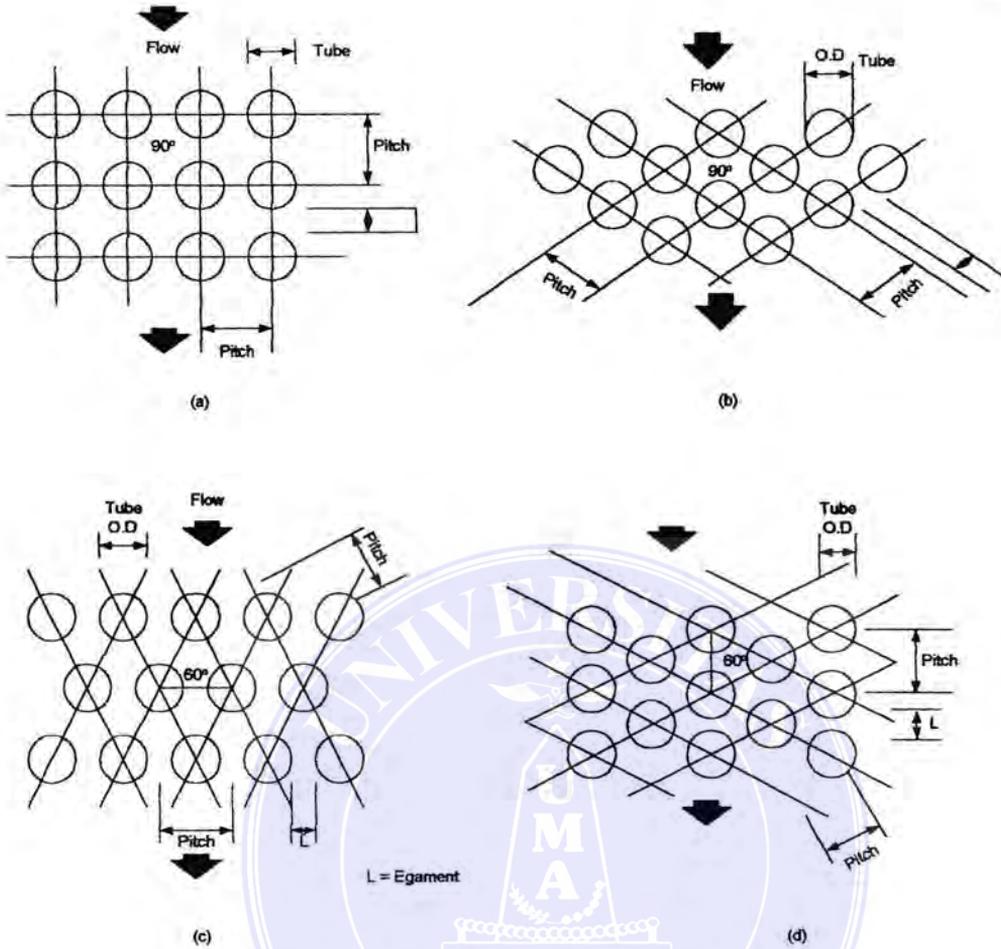
3.3. Penelitian Cara Perpindahan Panas Pada Penukar Kalor

3.3.1. Perpindahan Kalor Konveksi

Sudah umum diketahui bahwa plat logam panas akan menjadi dingin lebih cepat bila ditaruh di depan kipas angin dibandingkan dengan bilamana ditempatkan di udara tenang. Kita katakan bahwa kalor dikonveksi atau diili keluar, dan proses ini dinamakan perpindahan kalor secara konveksi atau ilian. Istilah konveksi atau ilian, sudah memberi gambaran tentang apa yang terjadi dalam proses perpindahan kalor ini. tetapi gambaran ini masih harus dikembangkan agar kita dapat melakukan pengolahan analitis yang memadai tentang masalah ini. umpamanya, kita sudah tahu bahwa kecepatan udara yang ditiupkan ke plat panas ini akan mempengaruhi laju perpindahan kalor. Tetapi, apakah pengaruh ini berlangsung dalam perbandingan lurus, artinya jika kecepatan dilipatduakan apakah laju perpindahan kalor juga akan menjadi dua kali lebih cepat ? juga dapat diperkirakan bahwa laju perpindahan kalor akan berbeda jika plat itu didinginkan dengan air dan bukan dengan udara, masalahnya ialah berapa bedanya itu. demikianlah digambarkan mekanisme fisis perpindahan kalor konveksi untuk menunjukkan hubungannya dengan proses konduksi.

Plat panas seperti gambar 3.5. suhu plat ialah T_w , dan suhu fluida T_∞ . Kecepatan aliran nol pada muka plat sebagai akibat aksi kental viskos (*viscous action*). Oleh karena kecepatan lapisan fluida pada dinding adalah nol, maka disini panas (kalor) hanya dapat berpindah dengan cara konduksi saja. jadi perpindahan kalor dapat dihitung dengan persamaan :

$$q = - k A \frac{\partial T}{\partial X} \dots\dots\dots(Holman 1997 :2)$$



Gambar 3.4. Susunan tube alat penukar kalor

- a) Susunan tube bujur sangkat ; b) Susunan tube bujur sangkar diputar 45° (diamond) ; c) Susunan tube segitiga (*triangular*) ; d) Susunan tube segitiga diputar (*in-line triangular*) (Sitompul 1993 : 44)

Setelah melakukan riset dan studi literatur di PLTGU Belawan dan melakukan studi literatur buku instruction manual mengenai desalination plant maka diperoleh susunan dari tube-tube penukar kalor evaporator adalah tube dengan susunan segitiga (*triangular pitch*) seperti terlihat pada gambar (3.4.c).

Dengan demikian maka penukar kalor tersebut menghasilkan perpindahan panas (*heat transfer*) yang baik per satuan penurunan tekanan dan letak tube yang lebih baik.

dimana :

q = Laju perindahan kalor (kJ/s)

$\frac{\partial T}{\partial X}$ = Gradien suhu ke arah perpindahan kalor ($^{\circ}\text{C}$)

k = Konduktivitas termal (w/m . $^{\circ}\text{C}$)

Gradien suhu bergantung pada laju fluida membawa kalor dari situ. Kecepatan yang tinggi akan menyebabkan gradien suhu yang besar pula dan demikian seterusnya.

Jadi gradien suhu pada dinding bergantung dari medan aliran, dan di dalam analisis nanti perlu mengembangkan persamaan yang menghubungkan kedua besaran itu. mekanisme fisis pada dinding itu berupa proses konduksi. Guna menyatakan pengaruh konduksi secara menyeluruh digunakan hukum Newton tentang pendinginan.

$$q = h A(T_w - T_{\sim}) \dots\dots\dots (\text{Holman 1997 : 11})$$

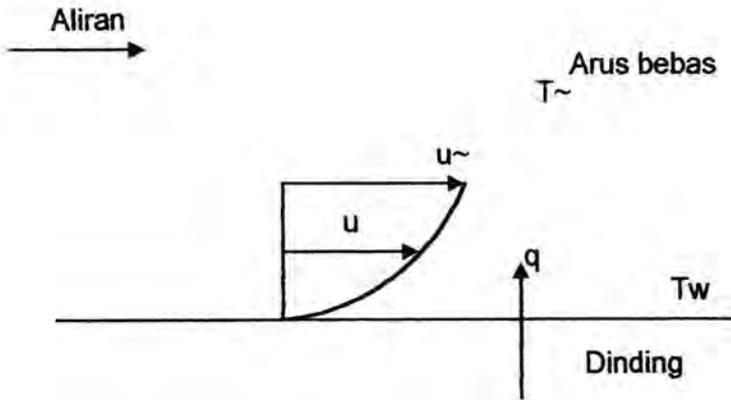
h = Koefisien perpindahan kalor ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

A = Luas permukaan (m^2)

T_w = Suhu plat ($^{\circ}\text{C}$)

T_{\sim} = Suhu fluida ($^{\circ}\text{C}$)

Persamaan di atas merupakan rumus koefisien perpindahan kalor konveksi (*convetion heat – transfer coefficeiet*). Untuk situasi h yang rumit harus ditentukan dengan percobaan dan fenomena pendidihan dan pengembunan juga termasuk dalam kelompok masalah perpindahan-kalor konveksi.



Gambar 3.5. Perpindahan kalor konveksi suatu plat

3.3.2. Perpindahan Kalor Konveksi Bebas

Perpindahan kalor konveksi bebas terjadi bilamana sebuah benda ditempatkan dalam suatu fluida yang suhunya lebih tinggi atau lebih rendah daripada benda tersebut. Sebagai akibat perbedaan suhu tersebut, panas mengalir antara fluida dan benda itu serta mengakibatkan perubahan kerapatan lapisan-lapisan fluida di dekat permukaan. Perbedaan kerapatan menyebabkan fluida yang lebih berat mengalir ke bawah dan fluida yang lebih ringan mengalir ke atas. Jika gerakan fluida itu disebabkan hanya oleh perbedaan kerapatan yang diakibatkan oleh gradien suhu, tanpa dibantu pompa atau kipas (*blower*), maka mekanisme perpindahan panas yang bersangkutan disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah. Arus konveksi bebas memindahkan energi dalam yang tersimpan dalam fluida dengan cara yang pada hakekatnya sama dengan arus konveksi paksa. Namun, intensitas gerakan pencampurannya dalam konveksi bebas pada umumnya lebih kecil, dan akibatnya koefisien perpindahan panasnya lebih kecil dari pada dalam konveksi paksa.

Walaupun koefisien perpindahan panas konveksi bebas relatif rendah, banyak alat-alat yang untuk pendinginannya terutama bergantung pada cara perpindahan panas ini. Dalam bidang teknik listrik, saluran transmisi, transformator, penyearah arus, dan kawat yang dipanaskan dengan listrik seperti filamen lampu pijar atau elemen pemanas tanur listrik didinginkan dengan konveksi bebas. Kecepatan fluida di dalam arus konveksi bebas, terutama yang pembangkitannya disebabkan oleh gravitasi, pada umumnya rendah, tetapi ciri-ciri aliran didekat permukaan perpindahan panas serupa dengan ciri-ciri dalam konveksi paksa.

Medan suhu dalam konveksi bebas serupa dengan medan suhu dalam konveksi paksa, maka dari itu berlakulah taksiran fisik bilangan Nusselt. Dalam penerapan praktis pada umumnya dipergunakan persamaan Newton. Selama bertahun-tahun telah diketahui bahwa koefisien perpindahan kalor konveksi bebas rata-rata untuk berbagai situasi, dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi :

$$\overline{Nu}_f = C (Gr_f Pr_f)^m \dots\dots\dots(\text{Holman 1997 : 302})$$

Dimana subskrip f menunjukkan bahwa sifat-sifat untuk gugus tak berdimensi dievaluasi pada suhu film

$$T_f = \frac{T_\infty + T_w}{2}$$

Dimana :

\overline{Nu}_f = Angka Nusselt rata-rata

Gr = Angka Grashof

Pr = Angka Prandtl

C dan m = Konstanta tertentu untuk setiap kasus

3.3.3. Gabungan Konveksi Bebas dan Konveksi Paksa

Beberapa situasi praktis menyangkut perpindahan kalor konveksi yang bukan bersifat “paksa” dan bukan pula “bebas”. Situasi ini timbul apabila fluida dialirkan di atas permukaan yang panas dengan percepatan yang agak rendah. Maka bersamaan dengan kecepatan aliran paksa, terdapat pula kecepatan konveksi yang timbul karena gaya apung yang diakibatkan oleh berkurangnya densitas fluida di sekitar permukaan yang panas. Dalam setiap proses perpindahan panas terjadi gradien kerapatan dan dengan adanya medan gaya terjadilah arus-arus konveksi bebas. Jika pengaruh konveksi paksa sangat besar, maka pengaruh arus konveksi bebas dapat diabaikan dan demikian pula, bila gaya-gaya konveksi bebas sangat kuat, maka pengaruh konveksi paksa dapat diabaikan. Daerah konveksi gabungan dalam tabung horizontal didefinisikan dengan angkat Graetz (Gz) sebagai :

$$Gz = Re Pr \frac{d}{L} \dots\dots\dots (Holman 1997 : 323)$$

Dimana :

- Gr = Angka Grashof
- Gz = Angka Graetz
- Re = Angkat Reynolds
- Pr = Angkat Prandtl
- d = Diameter tabung
- L = Panjang tabung

$$Re = \frac{\rho_{ux}}{m}$$

$$Gr = \frac{g \beta (T_w - T_\infty) x^3}{\nu^2}$$

$$Pr = \frac{C_p m}{k}$$

$$Gz = RcPr \frac{d}{L}$$

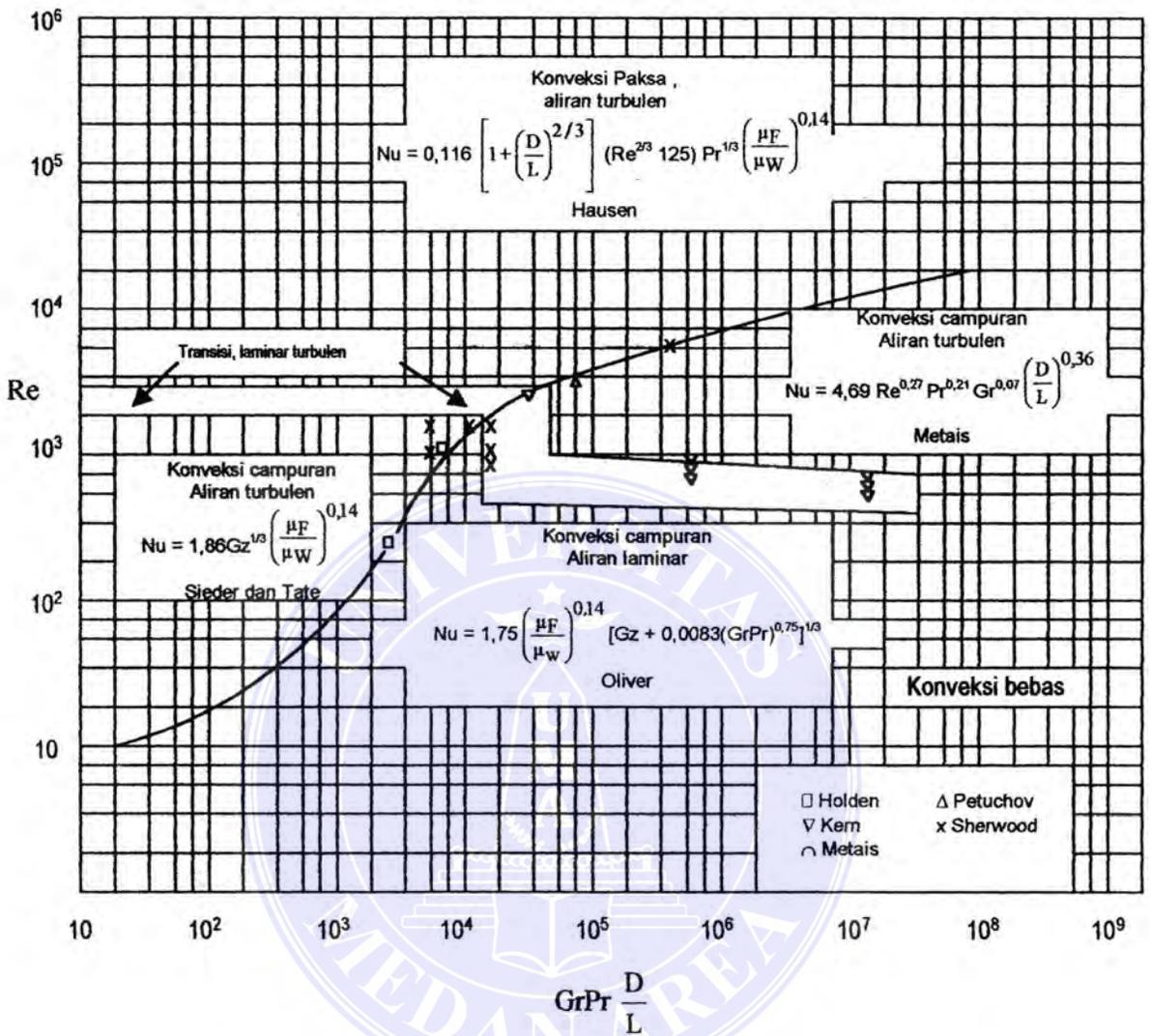
Korelasi yang lebih baik untuk daerah konveksi campuran, aliran laminar pada gambar 3.6.

$$Nu = 1,75 \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0,14} \left[Gz + 0,012 \left(Gz Gr^{1/3} \right)^{4/3} \right]^{1/3} \dots (\text{Holman 1997})$$

Dugaan umum yang berlaku dalam analisis konveksi gabungan ialah bahwa modus perpindahan kalor yang paling berpengaruh ditentukan oleh kecepatan fluida yang berkaitan dengan modus itu. situasi konveksi paksa yang menyangkut kecepatan fluida 30 m/s. Umpanya, tentu akan mengalahkan sebagian besar dari pengaruh konveksi yang bebas yang ditemukan dalam medan gravitasi biasa, karena kecepatan arus konveksi bebas di sini sangat kecil dibandingkan dengan 30 m/s. di lain pihak, situasi aliran paksa dengan kecepatan sangat rendah (~ 0,3 m/s) mungkin cukup terpengaruh oleh arus konveksi bebas. Analisis orde besaran persamaan lapisan batas konveksi – bebas dapat memberikan kriteria umum untuk menentukan apakah pengaruh konveksi – bebas besar peranannya.

Kriterianya ialah apabila :

$$Gr / Rc^2 > 10 \dots \dots \dots (\text{Holman 1997 : 326})$$



Gambar 3.6. Daerah-daerah konveksi bebas paksa dan campuran aliran melalui tabung horizontal

(Holman 1997 : 325)

3.3.4. Konveksi Paksa didalam Pipa dan Saluran

Pemanasan serta pendinginan fluida yang mengalir di dalam saluran (conduit) merupakan satu diantara proses-proses perpindahan panas yang terpenting dalam perckayasa. Rancang bangun serta analisa semua jenis penukar panas memerlukan pengetahuan tentang koefisien perpindahan panas

antara dinding saluran dan fluida yang mengalir di dalamnya. Bila koefisien perpindahan panas untuk suatu geometri tertentu serta kondisi aliran yang ditetapkan telah diketahui, maka laju perpindahan panas pada beda suhu yang ada dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_c = \bar{h}_c A (T_{\text{permukaan}} - T_{\text{fluida}}) \dots\dots\dots (\text{Kreith 1994 :415})$$

dimana :

q_c = Laju perpindahan panas konveksi (W)

\bar{h}_c = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m² . °C)

A = Luar permukaan perpindahan panas (m²)

Harga \bar{h}_c bergantung pada pilihan suhu acuan fluida dan dapat dihitung

dengan rumus :

$$\bar{h}_c = \bar{N}u \frac{K_f}{L} \dots\dots\dots (\text{Kreith 1994 :314})$$

dalam hal ini :

$\bar{N}u$ = Bilangan Nusselt

K_f = Konduktivitas thermal fluida (W/m . °C)

L = Panjang – penting (m)

Untuk aliran turbulen yang sudah jadi atau berkembang penuh (fully developed turbulent flow) dalam tabung licin disarankan menggunakan persamaan :

$$N_{ud} = 0,023 Re^{0,8} Pr^n \dots\dots\dots (\text{Holman 1997 :252})$$

Untuk persamaan ini sifats-sifat ditentukan pada suhu fluida limbak dan nilai eksponen n adalah :

$n = 0,4$ untuk pemanasan
 $= 0,3$ untuk pendinginan

Persamaan tersebut juga berlaku untuk aliran turbulen yang tidak berkembang sepenuhnya di dalam tabung lain, dengan fluida yang angka prandtlnya berkisar antara 0,6 sampai 100 dan dengan beda suhu moderat antara dinding dan fluida.

Pemilihan suhu fluida acuan pada perpindahan-panas konveksi yang dipergunakan untuk membentuk bilangan Nusselt bagi perpindahan panas ke fluida yang mengalir di dalam saluran (conduit). Penggunaan suhu curahan fluida sebagai acuan memungkinkan kita untuk menuliskan keseimbangan panas. Karena dalam keadaan stedi (ajeg) perbedaan antara suhu curahan rata-rata pada dua penampang suatu saluran merupakan tolak ukur laju perpindahan panas.

$$q = m C_p \Delta T_b$$

dimana :

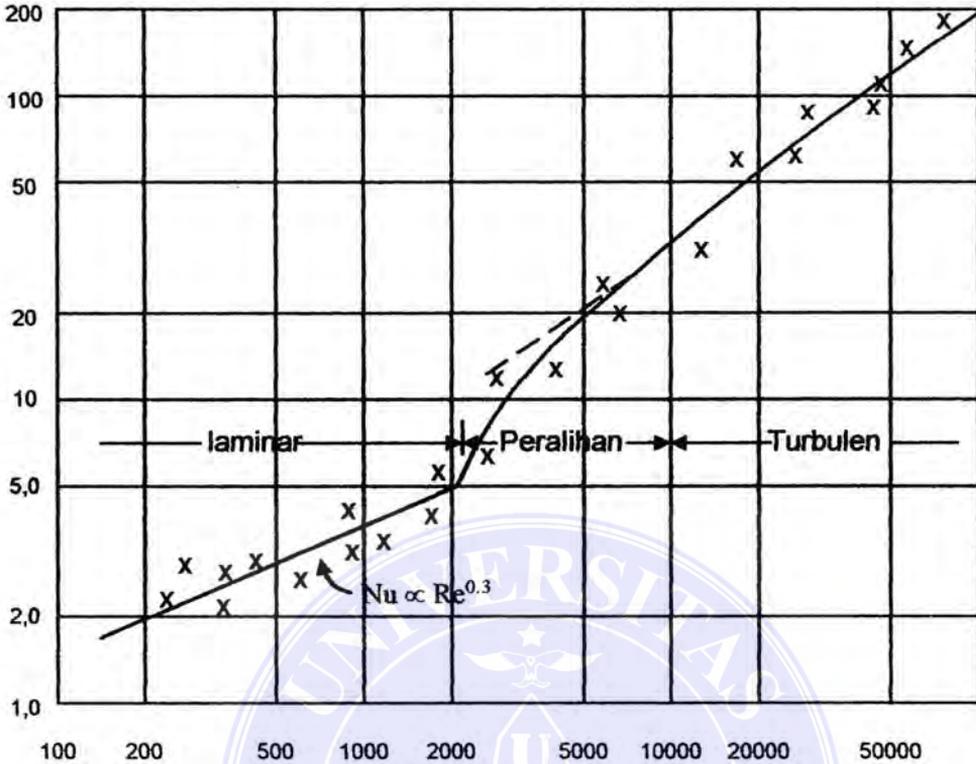
q = Laju perpindahan panas ke fluida

m = Laju aliran

C_p = Panas jenis pada tekanan konstan

ΔT_b = Beda suhu curahan antara penampang

Dalam saluran yang panjang, dimana pengaruh lubang masuk tidak penting, alirannya laminar bila bilangan Reynolds di bawah (< 2100). Dalam daerah bilangan Reynolds antara 2.100 dan 10.000 terjadi peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Aliran dalam resim ini disebut aliran peralihan (transisi). Pada bilangan Reynolds sekitar 10.000 aliran menjadi turbulen penuh. Hal tersebut dilukiskan dalam gambar 3.7 dan 3.8.



Gambar 3.7. Bilangan Nusselt terhadap bilangan Reynolds untuk udara yang mengalir di dalam pipa



Gambar 3.8. Pola aliran untuk fluida yang mengalir di dalam pipa (Kreith 1994 : 419)

3.4. Variabel Yang Diamati Pada Heat Exchanger Evaporator

Pengamatan variabel-variabel yang ada pada desalination plant dilakukan secara langsung di lapangan dan ditambah dengan studi dari beberapa literatur yang ada di PLTGU Belawan tentang proses pemanasan air laut hingga menjadi air baku (tawar). Adapun variabel tersebut meliputi :

1. Total kapasitas aliran air laut yang di suply dari sea water feed pump

$$Q = 240 \text{ ton/jam} = 240.000 \text{ kg/jam} = 66,6 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 5,1 \text{ bar g}$$

2. Kapasitas aliran air laut ke evaporator yang akan diuapkan hingga diperoleh air baku

$$Q = 183,6 \text{ ton/jam} = 183.600 \text{ kg/jam} = 51 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 4,9 \text{ bar g}$$

3. Kapasitas aliran air laut ke ejector condensor yang akan digunakan sebagai pendingin lalu dibuang kembali ke laut

$$Q = 56,4 \text{ ton/jam} = 56.400 \text{ kg/jam} = 15,6 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 4,9 \text{ bar g}$$

4. Kapasitas aliran brine blowdon yaitu air laut yang tak teruapkan (sisa penguapan) di evaporator selanjutnya dibuang ke laut

$$Q = 162,77 \text{ ton/jam} = 162.770 \text{ kg/jam} = 45,2 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 40,3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 1,75 \text{ bar g}$$

5. Jumlah produksi air baku (distilate) yang kemudian diolah menjadi air penambah

$$Q = 20,83 \text{ ton/jam} = 20.830 \text{ kg/jam} = 5,8 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 39,1^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 2,0 \text{ bar g}$$

6. Jumlah keseluruhan uap keseluruhan yang digunakan sebagai pemanas dan ejector sebagai penarik vacuum

$$Q = 3,156 \text{ ton/jam} = 3156 \text{ kg/jam} = 0,88 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 192^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 4,2 \text{ bar g}$$

7. Jumlah kebutuhan uap untuk ejector sebagai media penarik vacuum

$$Q = 0,327 \text{ ton/jam} = 327 \text{ kg/jam} = 0,09 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 192^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 4,2 \text{ bar g}$$

8. Jumlah kebutuhan uap sebagai pemanas di brine heater

$$Q = 2,829 \text{ ton/jam} = 2829 \text{ kg/jam} = 0,78 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 192^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 4,2 \text{ bar g}$$

9. Jumlah kebutuhan uap untuk brine heater

$$Q = 3,002 \text{ ton/jam} = 3002 \text{ kg/jam} = 0,83 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 117^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 0,8 \text{ bar g}$$

10. Kapasitas aliran spray water yang digunakan untuk menurunkan temperatur uap sebelum masuk brine heater

$$Q = 0,173 \text{ ton/jam} = 173 \text{ kg/jam} = 0,05 \text{ kg/s}$$

$$\text{Temperatur} = 117^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Tekanan} = 3,0 \text{ bar g}$$

11. Hasin kondensasi uap di brine heater lalu dipompakan oleh pompa kondensal

$$Q = 2,829 \text{ ton/jam} = 2829 \text{ kg/jam} = 0,79 \text{ kg/s}$$

Temperatur = 50°C

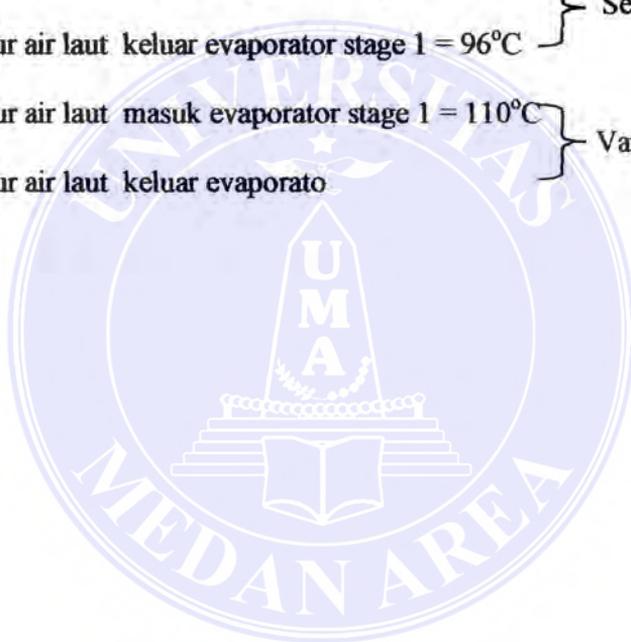
Tekanan = 2,0 bar g

Dari data-dat di atas maka perusahaan pabrik pembuat mengeluarkan kesimpulan tentang rasio perbandingan antara :

$$\frac{\text{Produksi destilate}}{\text{Kebutuhan uap}} = \frac{6,6 \text{ (didesain)}}{6,0 \text{ (jaminan)}}$$

Dengan survey lapangan diperoleh lagi data tambahan atara lain :

Temperatur air laut masuk evaporator stage 13 = 30°C	}	Sebagai pendingin
Temperatur air laut keluar evaporator stage 1 = 96°C		
Temperatur air laut masuk evaporator stage 1 = 110°C	}	Vapournya sebagai pemanas
Temperatur air laut keluar evaporato		



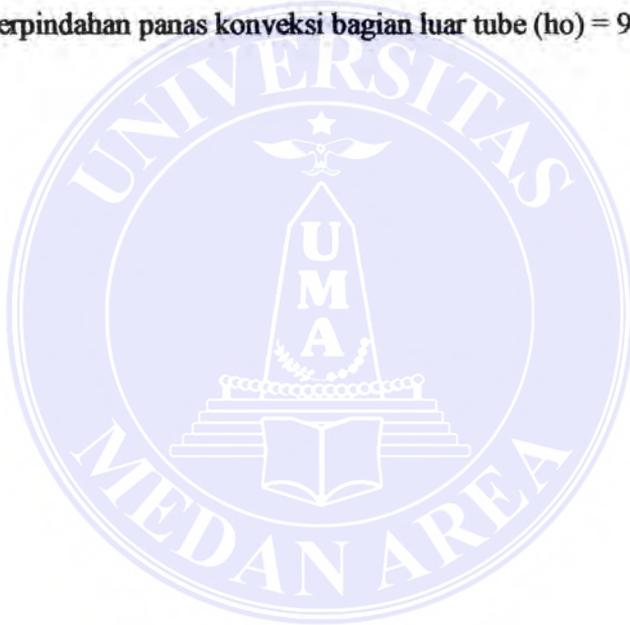
BAB V

KESIMPULAN

Setelah melakukan riset dan perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa alat penukar kalor jenis kondensor yang digunakan pada evaporator desalination plant dapat dipergunakan, tetapi dalam pemeliharaan di lapangan, supaya betul-betul diperhatikan periode pembersihan bagian dalam tube yang dialiri oleh air laut. Selanjutnya diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Penukar kalor sebagai kondensor yang digunakan pada evaporator tipe penguapan bertingkat dengan posisi tube melintang (*multi-stage-flash, cross tube*) 1 x 2 pass
2. Fluida yang mengalir dalam pipa (*tube*) adalah air laut (*sea water*) sebagai fluida pendingin
3. Fluida yang mengalir dalam cangkang (*shell*) : *vapour* (uap) yang melepaskan panas latent (*latent heat*) kepada air laut di dalam tube sehingga terjadi kondensasi tetes pada sisi shell
4. Jenis aliran adalah aliran lawan (*counter flow*)
5. Kecepatan aliran fluida dalam pipa (*tube*) = 1,78 m/s
6. Kecepatan kondensasi tetes pada cangkang (*shell*) = 9,8 m² (pengaruh gravitasi)
7. Kapasitas aliran air laut = 183.600 kg/h
8. Total produksi air distilate (*distilate water*) = 20.830 kg/h
9. Temperatur air laut masuk penukar kalor (stage 13) = 30°C
Temperatur air laut keluar penukar kalor (stage 1) = 96°C

10. Rugi tekanan total pada pipa (tube) = 3,5 bar
11. Temperatur air laut masuk evaporator (stage 1) = 110°C
Temperatur air laut keluar evaporator (stage 13) = 40°C
12. Desain tekanan pada sisi pipa (tube) = 6,0 kg/cm².g
Desain tekanan pada sisi shell = 1,0 & - 1,0 kg/cm².g
13. Jumlah pipa (tube) = 370 buah/stage
14. Bahan pipa (tube) Titanium
15. Laju perpindahan kalor total (q) = 3049,8 kw
16. Koefisien perpindahan panas konveksi bagian luar tube (ho) = 99606 w/m²°C



LITERATUR

1. Holman, J.P, 1997. **"Perpindahan Kalor"** Jasjfi, E. Edisi Keenam : Erlangga.
2. Sitompul, Tunggul. M, 1993. **"Alat Penukar Kalor"**. PT. Raja Grafindo Persada.
3. Kreith, Frank, 1994. **"Prinsip-prinsip Perpindahan Panas"**. Arko Priono. Edisi Ketiga : Erlangga
4. Streeter, Victor. L dan Wylie, E. Benjamin, 1996 **"Mekanika Fluida"**. Arko Priono. Edisi Delapan Jilid I dan II : Erlangga Jakarta.
5. Campbell, John. M, 1989. **"Gas Conditioning And Processing"**. Volume II The Equipment Modules, Sixth Edition. Campbell Petroleum Series.
6. Belawan Project Consortium **"Instruction Manual Part 2.7.6 Desalination Plant"** Section I Water Treatment System.
7. Perry, Robert. H, dan Green, Don. W. **"Perry's Chemical Engineers Hand Book"** Sixth Edition : Mc Graw-Hill.
8. Design, **"Operation and Maintenance Manual Desalination Plant"** Part 3 Sasakura Engineering Co. Ltd. Osaka Japan.
9. Incropera, Frank. P, 1981. **"Fundamental Of Heat Transfer"**. Jhon Wiley & son. Inc.
10. Ashrae Hand Book CD, 1997, **"Fundamentals"**.
11. Asme, Section VIII, **"Rules For Construction Of Pressure Vessels"**. Division 1, 1989 Edition.