

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dari suatu zat ke zat lain seringkali terjadi dalam kehidupan sehari-hari baik penyerapan atau pelepasan kalor, untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kalor sendiri adalah salah satu bentuk energi. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum, ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua.

Kalor dapat berpindah dengan tiga macam cara yaitu:

- 1) Pancaran, sering juga dinamakan radiasi.
 - 2) Hantaran, sering juga disebut konduksi.
 - 3) Aliran, sering juga disebut konveksi.
- a) Pancaran (Radiasi)

Pancaran (radiasi) adalah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembusi bahan dan terus ke luar. Jadi

dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan.

Ciri-ciri radiasi yaitu :

- 1) Kalor radiasi merambat lurus.
- 2) Untuk perambatan itu tidak diperlukan medium (misalnya zat cair atau gas).

b) Hantaran (konduksi)

Hantaran (konduksi) adalah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses dalam karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah.

Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam tadi menerima energi

kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut.

c) Aliran (konveksi)

Aliran (konveksi) adalah perpindahan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan kesetimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini terdapat keadaan suhu tidak setimbang diantara bahan dengan sekelilingnya.

Perpindahan kalor dengan jalan aliran dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Oleh karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk pengangkutan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas. Pada pemanasan zat ini terjadi aliran, karena massa yang akan dipanaskan tidak sekaligus dibawa ke suhu yang sama tinggi. Oleh karena itu bagian yang paling banyak atau yang pertama dipanaskan memperoleh massa jenis yang lebih kecil daripada bagian massa yang lebih dingin. Sebagai akibatnya terjadi sirkulasi, sehingga kalor akhirnya tersebar pada seluruh zat.

2.2 Alat penukar kalor

Penukar kalor banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan di industri. Sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari sering dipergunakan peralatan masak memasak yang semuanya sebenarnya merupakan alat penukar kalor. Di dalam mobil maupun alat transportasi lainnya banyak dijumpai radiator maupun alat pengkondisi udara kabin, yang keduanya juga merupakan penukar kalor. Di industri, banyak sekali peralatan penukar kalor seperti ketel uap (*boiler*), pemanas lanjut (*super heater*), pendingin oli pelumas (*oil cooler*), kondenser (*condenser*), dan lain-lain.

Alat penukar kalor jika ditinjau dari fungsinya sebenarnya sama fungsinya yaitu menukarkan energi yang dimiliki oleh suatu fluida atau zat ke fluida atau zat lainnya. Perlu dicatat di sini bahwa fluida atau zat yang saling ditukarkan energinya tersebut dapat merupakan fluida atau zat yang sama namun berbeda temperaturnya. Sebagai contoh dalam hal penukar kalor yang berfungsi untuk mendinginkan minyak pelumas *gearbox* dengan pendingin air, ini berarti bahwa penukar kalor tersebut berfungsi memindahkan energi yang dimiliki oleh minyak pelumas ke air pendinginnya, sehingga air tersebut menerima energi dari minyak pelumas yang ditandai dengan kenaikan temperaturnya. Sedangkan bagi minyak pelumas yang memberikan energinya ke air akan mengalami penurunan temperaturnya sehingga kekentalannya dan sifat melumasinya akan menjadi lebih baik dan dapat dipergunakan untuk melumasi kembali. Dalam kasus seperti ini seolah-olah penukar kalor hanyalah

merupakan tempat berlangsungnya transfer energi dari minyak pelumas menuju air pendingin.

2.3 Jenis-jenis alat penukar kalor

Standar yang banyak dipergunakan dalam masalah penukar kalor ini yaitu TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturer Association*) yang merupakan suatu asosiasi para pembuat penukar kalor di Amerika dan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). TEMA lebih banyak membahas mengenai jenis penukar kalor, metode perhitungan kinerja dan kekuatannya (proses perancangan), istilah bagian-bagian dari penukar kalor (*parts*), dan dasar pemilihan dalam aplikasi penukar kalor dalam kehidupan sehari-hari khususnya di industri. Sedangkan ASME lebih memuat masalah prosedur dasar bagaimana membuat penukar kalor serta standard bahan yang akan atau biasa dipergunakan. Kedua aturan atau prosedur tersebut tidak lain bertujuan untuk melindungi para pemakai dari bahaya kerusakan, kegagalan operasi, serta kemana dan dengan alasan apa apabila terjadi "*complaint*" terhadap masalah yang terjadi. Hal ini dapat dimengerti karena pada umumnya penukar kalor bekerja pada temperatur dan tekanan yang tinggi serta kadang-kadang menggunakan fluida yang bersifat kurang ramah terhadap kehidupan manusia. Klasifikasi penukar dapat digolong-golongkan berdasarkan berbagai aspek, antara lain:

- 1) Proses perpindahan kalor yang terjadi.
- 2) Tingkat kekompakan permukaan pemindah kalor.
- 3) Profil konstruksi permukaan.

- 4) Susunan aliran fluida.
- 5) Jumlah atau banyaknya fluida yang dipertukarkan energinya.
- 6) Mekanisme perpindahan kalor yang dominan.

2.3.1 Jenis penukar kalor berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi.

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi, penukar kalor dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu :

a) Tipe kontak langsung

Tipe kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara dua zat yang dipertukarkan energinya dicampur atau dikontakkan secara langsung. Contohnya adalah *clinker cooler* dimana antara *clinker* yang panas dengan udara pendingin berkontak langsung. Contoh yang lain adalah *cooling tower* untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin sentral atau PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur. Dengan demikian ciri khas dari penukar kalor seperti ini (kontak langsung) adalah bahwa kedua zat yang dipertukarkan energinya saling berkontak secara langsung (bercampur) dan biasanya kapasitas energi yang dipertukarkan relatif kecil. Contoh-contoh lain adalah *desuperheater* tempat mencampur uap panas lanjut dengan air agar temperatur uap turun, pemanas air umpan ketel uap (boiler) dengan memanfaatkan uap yang diekstraksi dari turbin uap. Alat yang terakhir ini sering disebut *feed water heater*.

b) Tipe kontak tidak langsung

Tipe kontak tidak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara kedua zat yang dipertukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding pipa, pelat, dan lain sebagainya sehingga antara kedua zat tidak tercampur. Dengan demikian mekanisme perpindahan kalor dimulai dari zat yang lebih tinggi temperaturnya mula-mula mentransfer energinya ke permukaan pemisah untuk kemudian diteruskan ke zat yang berfungsi sebagai pendingin atau penerima energi. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari penukar kalor seperti ini sering kita jumpai antara lain radiator mobil, evaporator AC, pendingin oli gearbox dengan air, dan lain-lain. Dengan bahan pemisah yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi diharapkan tahanan termal bahan tersebut akan rendah sehingga seolah-olah antara kedua zat yang saling dipertukarkan energinya seperti kontak langsung. Bedanya dengan yang kontak langsung adalah masalah luas permukaan transfer energi. Pada jenis kontak langsung luas permukaan perpindahan kalor sangat tergantung pada luas kontak antara kedua zat, sedangkan pada tipe kontak tidak langsung luas permukaan sama dengan luas permukaan yang memisahkan kedua zat.

2.3.2 Jenis penukar kalor berdasarkan tingkat kekompakan permukaan pemindah kalor

Kekompakan luas permukaan perpindahan kalor adalah luas permukaan efektif yang tersentuh oleh salah satu zat (biasanya diambil yang tertinggi nilainya dalam m^2) per atau dibagi dengan volume penukar kalor yang menempati ruang dalam m^3 . Jadi dimensi kekompakan penukar kalor adalah m^2/m^3 . Apabila ditinjau dari kekompakan luas permukaan perpindahan kalor ini, suatu penukar kalor dikategorikan sebagai penukar kalor kompak bila luas permukaan perpindahan kalor per volumenya lebih besar dari $700 m^2/m^3$. Sedangkan yang nilainya kurang dari nilai itu disebut penukar kalor tidak atau kurang kompak. Radiator mobil dan kondenser AC split merupakan dua contoh penukar kalor kompak.

2.3.3 Jenis penukar kalor berdasarkan profil konstruksi permukaan

Berdasarkan profil konstruksi permukaan, penukar kalor yang banyak di pergunakan di industri antara lain dengan konstruksi tabung dan pipa (*shell and tube*), pipa bersirip (*tube with extended surfaces / fins and tube*), dan penukar kalor pelat (*plate heat exchanger*). Berikut ini akan diuraikan satu persatu dari setiap jenis penukar kalor tersebut:

a) Tipe tabung dan pipa (*shell and tube*)

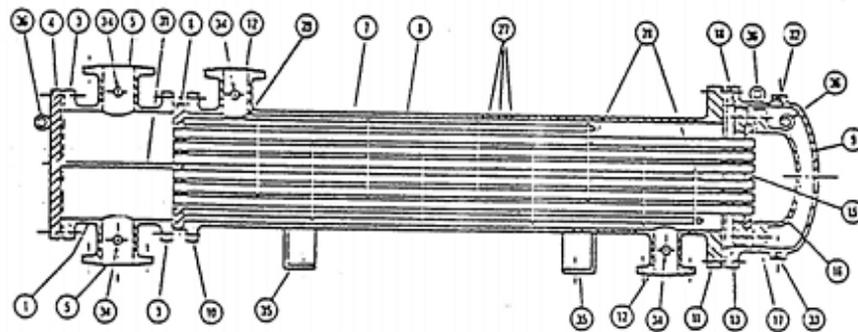
Tipe tabung dan pipa merupakan jenis penukar kalor yang paling banyak digunakan di industri khususnya industri perminyakan. Jenis ini terdiri dari suatu tabung dengan diameter cukup besar yang di dalamnya berisi seberkas pipa dengan diameter relatif kecil seperti diperlihatkan

pada Gambar 2.1. Salah satu fluida yang dipertukarkan energinya dilewatkan di dalam pipa atau berkas pipa sedang fluida yang lainnya dilewatkan di luar pipa atau di dalam tabung.

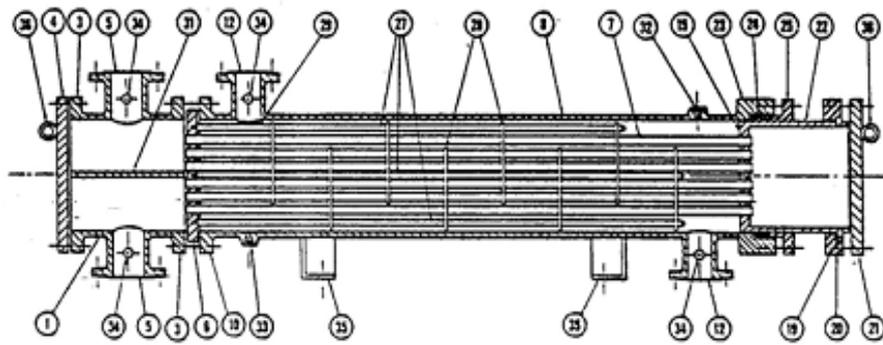
Konstruksi dari penukar kalor jenis ini sangat banyak. Salah satu contohnya diperlihatkan pada Gambar 2.1, yaitu jenis dengan konstruksi “*fixed tube sheet*” artinya pelat pemegang pipa-pipa pada kedua ujung pipa, keduanya memiliki konstruksi yang tetap (tidak dapat bergeser secara aksial dalam arah sumbu tabung relative antara satu sisi dengan sisi lainnya) seperti terlihat pada Gambar 2.1b Contoh yang lain adalah jenis “*floating tube sheet*” artinya salah satu pelat pemegang pipa-pipa pada kedua ujung pipa dapat bergerak relatif terhadap satunya karena tidak terjepit oleh flens (mengambang) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1a.

Pergerakan relatif ini dimaksudkan sebagai kompensasi akibat pertambahan panjang bila terjadi perubahan temperatur pada pipa sehingga tidak memberikan tambahan beban gaya pada baut pengencang flens tabung di luar pipa. Hal ini selain untuk alasan kekuatan bahan juga dimaksudkan untuk keamanan dalam hal menghindari kebocoran.

Pada Gambar 2.1b nampak bahwa diameter tabung tidak sama sepanjang penukar kalor. Pebesaran diameter dimaksudkan untuk menampung perubahan fasa dari fluida yang berada di luar pipa dan di dalam tabung. Alat ini diaplikasikan untuk proses penguapan atau pendidihan fluida di luar pipa. Jenis ini sering disebut dengan jenis ketel (kettle).



(a)



(b)

Gambar 2.1. Penukar kalor tipe tabung dan pipa (*shell and tube*)

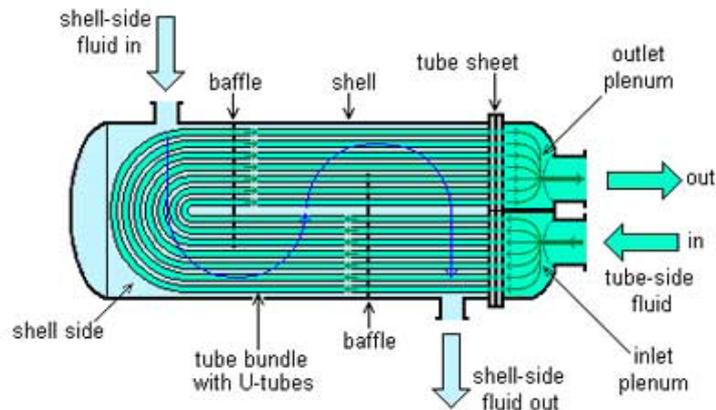
Nomenklatur dari Gambar 2.1 :

- 1) Tabung (shell)
- 2) Tutup tabung (shell cover)
- 3) Flens sisi alur (shell flange channel end)
- 4) Flens sisi tutup tabung (shell flange cover end)
- 5) Nosel (shell nozzle)
- 6) Pemegang pipa mengambang (floating tube sheet)
- 7) Penutup tabung mengambang (floating head cover)

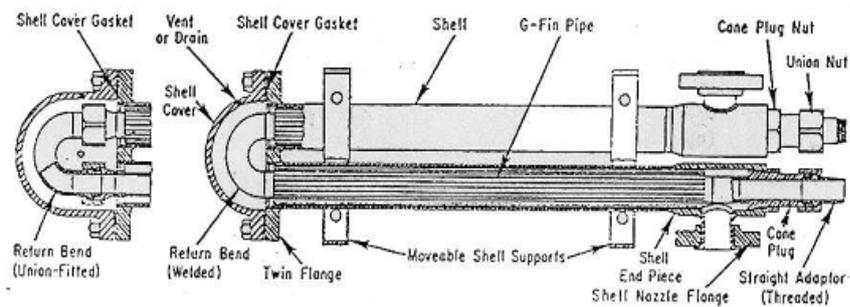
- 8) Flens mengambang (floating head flange)
- 9) Peralatan di belakang flens (floating head backing device)
- 10) Pemegang pipa tetap (stationary tubesheet)
- 11) Kanal atau tutup tetap (channel or stationary head)
- 12) Tutup kanal (channel cover)
- 13) Nosel kanal (Channel nozzle)
- 14) Batang penguat dan pemisah (tie rod & spacers)
- 15) Bafel atau pelat pendukung (baffles or support plate)
- 16) Bafel penahan semprotan (impingement baffle)
- 17) Partisi laluan (pass partition)
- 18) Penghubung pengeluaran gas (vent connection)
- 19) Penghubung tempat pembuangan (drain connection)
- 20) Tempat alat ukur (instrument connection)
- 21) Tempat penopang (support saddles)
- 22) Lobang tempat untuk mengangkat (lifting lugs)
- 23) Pipa-pipa (tubes)
- 24) Weir penyambung alat untuk melihat ketinggian cairan (liquid level connection)

Jenis lain dari tipe tabung dan pipa banyak pula dipergunakan di industri yaitu tipe pipa U (*U tube type*) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.2 dan tipe dua pipa (*double pipe type*) seperti diperlihatkan pada Gambar 2.3 Pada jenis yang terakhir ini setiap tabung berisi berkas pipa masing-masing. Fluida yang dipertukarkan energinya dalam penukar

kalor tipe tabung dan pipa ini dapat berwujud cair dan cair atau cair dan gas, atau cair dan cair dalam proses perubahan fasa menjadi gas.



Gambar 2.2. Penukar kalor tabung dan pipa tipe pipa U



Gambar 2.3. Penukar kalor tabung dan pipa tipe dua pipa (*double pipe*)

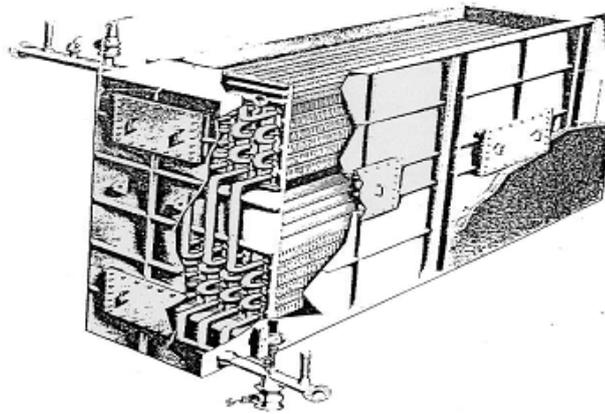
b) Tipe pipa bersirip (*Fins and tube*)

Penukar kalor tipe pipa bersirip ini salah satu contohnya diperlihatkan pada Gambar 2.4. Contoh yang lain banyak dijumpai di lapangan antara lain radiator mobil, kondensor dan evaporator mesin pendingin dan masih banyak lagi yang lain. Pada umumnya penukar kalor jenis pipa bersirip ini dipergunakan untuk fluida cair dan gas dimana fluida gas dilalukan di luar pipa, yaitu bagian yang bersirip. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan efektivitas transfer energi karena

biasanya pada sisi gas koefisien perpindahan kalor memiliki nilai yang kecil sehingga untuk kompensasi agar laju transfer energinya meningkat diperlukan luas permukaan perpindahan kalor yang relatif tinggi.

Peningkatan luas permukaan sirip ini bukan berarti laju transfer energi meningkat secara proporsional terhadap peningkatan luas tersebut karena adanya efektivitas penggunaan sirip. Secara umum tentunya di dalam sirip juga terjadi mekanisme perpindahan kalor, sementara itu sirip juga memiliki tahanan termal sehingga temperatur sirip akan bervariasi dengan nilai yang selalu berbeda dengan temperatur fluida yang berada di dalam pipa. Oleh karena laju transfer energi sangat tergantung pada beda temperatur antara kedua fluida sedangkan dengan adanya sirip akan menambah tahanan termal proses dan bagi suatu tempat di sirip yang lokasinya jauh dari fluida yang berada di dalam pipa akan bertemperatur sedemikian rupa sehingga bedanya dengan fluida yang berada di luar pipa akan mengecil, maka efektivitas laju transfer energi akan mengecil.

Penukar kalor tipe pipa bersirip juga bermacam-macam konstruksinya, antara lain penampang pipanya tidak selalu lingkaran, artinya banyak sekali pipa jenis pipih, oval, dan persegi yang dilengkapi dengan sirip. Penukar kalor pipa bersirip ini termasuk golongan penukar kalor kompak karena kebanyakan memiliki luas permukaan perpindahan kalor per volume lebih besar dari $700 \text{ m}^2/\text{m}^3$.



Gambar 2.4. Penukar kalor tipe pipa bersirip (fins and tube)

c) Tipe pelat (plate heat exchanger)

Plate Heat Exchanger adalah salah satu jenis alat penukar panas yang terdiri atas paket pelat-pelat tegak lurus bergelombang atau dengan profil lain, yang dipisahkan antara satu dengan lainnya oleh sekat-sekat lunak. Pelat-pelat ini dipersatukan oleh suatu perangkat penekan dan jarak antara pelat-pelat ditentukan oleh sekat-sekat tersebut. Pada setiap sudut dari pelat yang berbentuk empat persegi panjang terdapat lubang. Melalui dua di antara lubang-lubang ini media yang satu disalurkan masuk dan keluar pada satu sisi, sedangkan media yang lain karena adanya sekat mengalir melalui ruang antara disebelahnya. Dalam hal itu hubungan ruang yang satu dan yang lainnya dimungkinkan. pelat-pelat yang dibentuk sesuai kebutuhan dan umumnya terbuat dari baja (*stainless steel* type 304, 316, 317) atau logam lainnya.

Kelebihan PHE

- 1) Mempunyai permukaan perpindahan yang sangat besar pada volume alat yang kecil, sehingga perpindahan panas yang efisien.
- 2) Mudah dirawat dan dibersihkan .

- 3) Mudah dibongkar dan dipasang kembali ketika proses pembersihan.
- 4) Dapat digunakan untuk cairan yang sangat kental (viskos) .
- 5) Plate and Frame lebih fleksibel, sehingga dapat dengan mudah menambah jumlah pelatnya.
- 6) Ukuran yang lebih kecil dapat mengurangi biaya dalam segi bahan (Stainless Steel, Titanium, dan logam lainnya) .
- 7) Aliran turbulensinya mengurangi peluang terjadinya fouling dan sedimentasi.

Kekurangan PHE

- 1) Pelat merupakan bentuk yang kurang baik untuk menahan tekanan. *Plate and Frame Heat Exchanger* tidak sesuai digunakan untuk tekanan lebih dari 30 bar.
- 2) Pemilihan material gasket yang sesuai sangatlah penting
- 3) Maksimum temperatur operasi terbatas hingga 250 °C dikarenakan performa dari material gasket yang sesuai.

Tipe *Plate and Frame Heat Exchanger* mempunyai beberapa tipe , yaitu :

- a) Glue Type

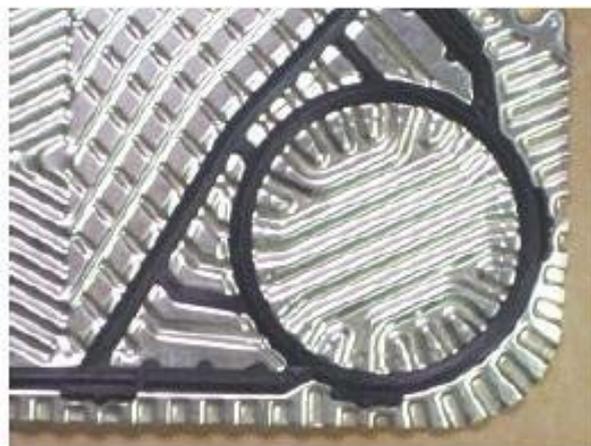
Tipe glue ini memerlukan lem untuk memasang gasket pada plat PHE. Lem yang digunakan hendaknya ialah lem yang mempunyai ketahanan terhadap panas yang baik.



Gambar 2.5 *Glue Type*

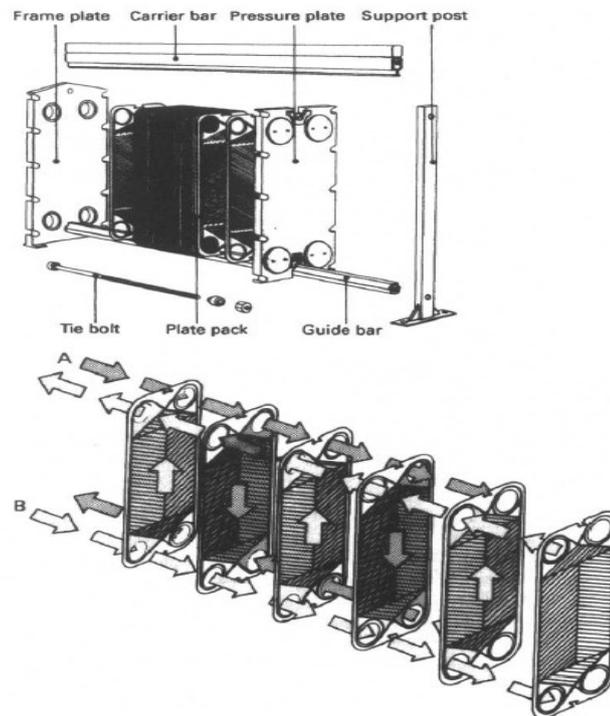
b) Clip Type

Pada bagian luar gasket tipe ini terdapat clip-clip, sehingga dalam pemasangannya cukup menancapkan clip-clip tersebut ke lubang yang terdapat pada plat. Pemasangan gasket tipe ini lebih mudah dan ringkas jika dibandingkan dengan tipe glue.



Gambar 2.6 *Clip Type*

Bagian – Bagian dari Plate Heat Exchanger



Gambar 2.7 Penukar kalor tipe pelat (*plate heat exchanger*)

- 1) *Gasket* terbuat dari karet (non logam) atau bahan yang biasa digunakan adalah *nitrile* dan *ethylene propylene rubber* (EPR/EPDM)
 - a) *Nitrile* : -40°F - 250°F untuk temperatur rendah
 - b) *Nitrile* : -40°F - 250°F untuk temperatur tinggi
 - c) EPR/ EPDM : -80°F – 300°F sangat tahan terhadap air yang sangat panas dan uap serta memiliki ketahanan yang baik untuk kompresi atau volume yang besar.

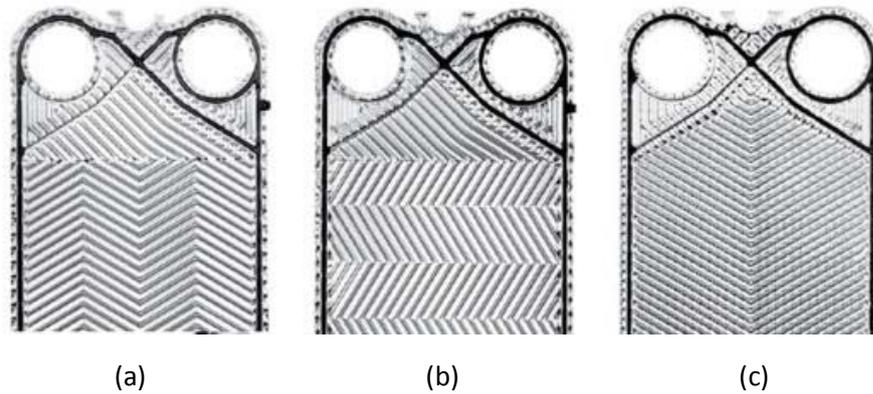
Fungsi *gasket* ini adalah sebagai perekat alat atau pengatur aliran fluida, sehingga antara fluida yang satu dengan fluida yang lain tidak mengalami kontak secara langsung yang menyebabkan kebocoran.

- 2) Pelat penekan (*Compression Plate*) terbuat dari logam yang berfungsi sebagai penekan pelat agar pada saat operasi alat berjalan tidak ada rongga didalam aliran fluida agar tidak terjadi kebocoran.
- 3) Pelat (*plates*), umumnya berukuran 0,4 - 0,6 mm terbuat dari *stainless steel* atau *titanium* dan terdapat pada berbagai macam susunan yang berombak-ombak, berfungsi sebagai tempat mengatur fluida serta tempat terjadinya pertukaran panas antara fluida panas dengan fluida dingin. Fluida pada pelat ini mengalir secara *turbulen*, hal ini dikarenakan bentuk dari pelat tersebut yang bergerigi sehingga pertukaran panas dapat berlangsung secara cepat.

Ada 2 jenis plate yang biasa digunakan dalam dunia industri , yaitu :

a) Varitherm

Tipe Varitherm ini digunakan untuk fluida yang mempunyai viskositas rendah maupun tinggi. Varitherm sendiri mempunyai 3 pola yang berbeda yaitu : a) Pelat H dengan pola chevron horisontal untuk efisiensi termal yang tinggi, b) Pelat V dengan pola chevron vertikal untuk penurunan tekanan rendah, c) Pelat jenis M dan P dengan V-berbentuk chevron pola resistensi tekanan diferensial tertinggi.



Gambar 2.8 Tipe pelat varitherm

b) *Free-flow N*

Tipe free-flow N ini adalah pelat dengan profil washboard horizontal. Pelat ini digunakan untuk fluida yang mempunyai tekanan operasi hingga 10 bar.

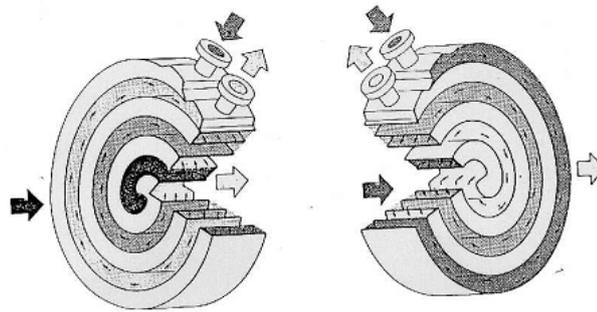


Gambar 2.9 Tipe plate free-flow N

- 4) Pelat penyangga tetap (*fixed frame*), terbuat dari logam dan berfungsi menjaga pelat agar tetap stabil.
- 5) Alat penekan (*Compression Bolt*), berupa baut pelat baja yang digunakan untuk menekan pelat dan *frame*.

- 6) *Guide Bars*, berupa batang yang terbuat dari *carbon steel* atau *stainless steel* yang mendukung dan menjaga agar pelat berjajar secara rapi.
 - 7) *Front and Rear Heads* . (Bagian depan dan kepala bagian belakang), merupakan bagian yang dilapisi oleh *frame carbon steel* yang melekat pada kumpulan pelat yang ditekan.
- d) Tipe spiral (spiral heat exchanger)

Penukar kalor tipe spiral diperlihatkan pada Gambar 2.10. Arah aliran fluida menelusuri pipa spiral dari luar menuju pusat spiral atau sebaliknya dari pusat spiral menuju ke luar. Permukaan perpindahan kalor efektif adalah sama dengan dinding spiral sehingga sangat tergantung pada lebar spiral dan diameter serta berapa jumlah spiral yang ada dari pusat hingga diameter terluar.



Gambar 2.10 Penukar kalor tipe spiral

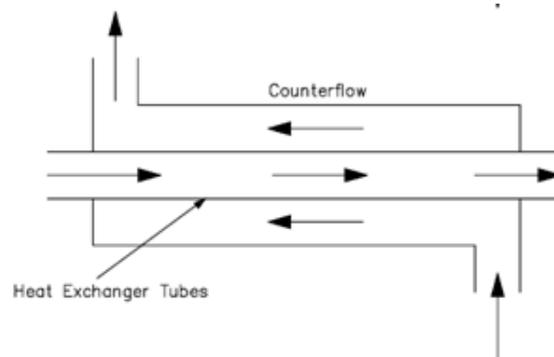
2.3.4 Klasifikasi penukar kalor berdasarkan susunan aliran fluida.

Pengertian penukar kalo berdasarkan susunan aliran fluida adalah berapa kali fluida mengalir sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar/parallel, berlawanan arah/counter atau bersilangan/cross). Berdasarkan berapa kali fluida melalui penukar kalor dibedakan jenis satu kali laluan atau satu laluan dengan multi atau

banyak laluan. Pada jenis satu laluan, masih terbagi ke dalam tiga tipe berdasarkan arah aliran dari fluida yaitu:

a) Penukar kalor tipe aliran berlawanan

Penukar kalor tipe aliran berlawanan yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

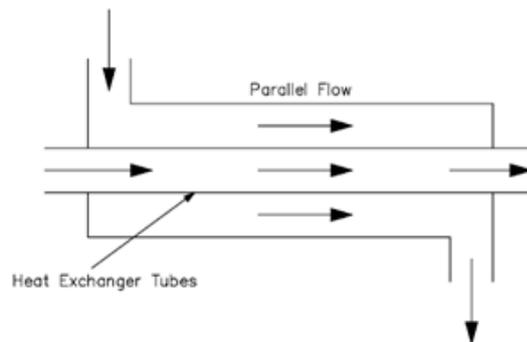


Gambar 2.11 Aliran arah berlawanan

b) Penukar kalor tipe aliran sejajar

Penukar kalor tipe aliran sejajar yaitu bila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain. Pada jenis ini

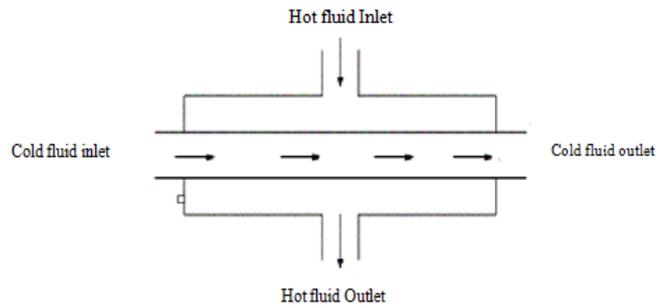
temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.



Gambar 2.12 Aliran arah sejajar

c) Penukar kalor dengan aliran silang

Penukar kalor dengan aliran silang artinya arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Contoh yang sering ditemui adalah radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.



Gambar 2.13 Aliran arah silang

2.3.5 Jenis penukar kalor berdasarkan jumlah fluida yang saling dipertukarkan energinya.

Pada umumnya penukar kalor beroperasi dengan dua fluida (keduanya dapat merupakan zat yang sama). Namun demikian ada pula penukar kalor yang dirancang untuk beroperasi dengan tiga jenis fluida misalnya yang sering digunakan pada instalasi proses pemisahan udara (yaitu antara refrigeran, oksigen, dan nitrogen), pada unit pemisah antara helium dan udara yang terdiri dari oksigen dan nitrogen, serta penukar kalor yang dipergunakan dalam proses sintesa gas ammonia pada pabrik pupuk. Dengan demikian berdasarkan jumlah fluida yang dipergunakan, terdapat dua kategori penukar kalor yaitu penukar kalor dengan dua fluida dan penukar kalor dengan lebih dari dua fluida kerja.

2.3.6 Klasifikasi penukar kalor berdasarkan mekanisme perpindahan kalor yang dominan

Berdasarkan mekanisme perpindahan kalor yang dominan, penukar kalor dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis antara lain:

- a) Penukar kalor tipe konveksi satu fasa (konveksi dapat secara alamiah atau paksa)

Penukar kalor tipe konveksi satu fasa mempunyai mekanisme perpindahan kalor yang didominasi oleh mekanisme konveksi dan selama proses perpindahan kalor tidak terjadi perubahan fasa pada kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya. Contoh penukar kalor jenis ini adalah radiator mobil, pendingin pelumas dengan air, dan lain-lain.

b) Penukar kalor tipe konveksi dua fasa

Penukar kalor tipe konveksi dua fasa mempunyai mekanisme konveksi yang masih dominan namun salah satu dari fluida mengalami perubahan fasa, misalnya evaporator AC, kondenser dari PLTU atau AC, dan lain-lain.

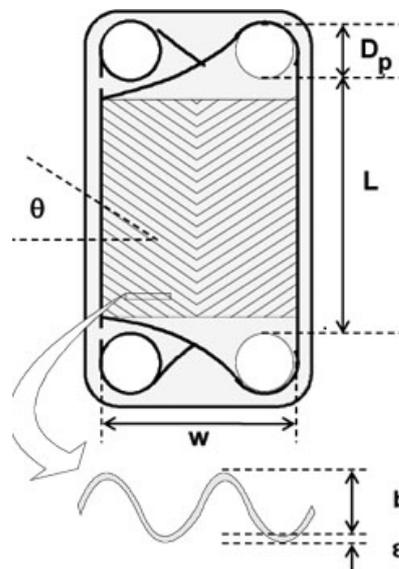
c) Penukar kalor tipe konveksi dan radiasi

Penukar kalor tipe konveksi dan radiasi dimana mekanisme radiasi dan konveksi sama-sama dominan seperti yang terjadi pada generator uap tipe pipa air dimana air yang 13 akan diuapkan mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan api atau gas hasil pembakaran yang dipergunakan untuk memanaskan air berada di luar pipa-pipa tersebut.

2.4 Cooling Water Heat Exchanger (CWHE)

Cooling Water Heat Exchanger merupakan sebuah *heat exchanger* yang berfungsi mendinginkan air demin pada sistem air pendingin siklus tertutup dengan media air laut yang diambil dari *intake* kondensor sedangkan air demin didapatkan dari *head tank*. Air demin dipompakan oleh *close cycle cooling water pump* (cccwp) , sedangkan air laut dipompakan oleh *open cooling water pump* (ocwp). *Cooling water heat exchanger* pada PLTU 3 Jawa Timur Tanjung Awar-Awar merupakan

jenis *heat exchanger* dengan tipe *plate heat exchanger* dimana arah aliran antara air laut dan air demin adalah berlawanan (*counterflow*). Penukar kalor tipe plat terdiri dari susunan lempeng sesuai dengan luas permukaan yang dibutuhkan. Jenis profil plat yang digunakan pada *Cooling Water Heat Exchanger (CWHE)* adalah profil sudut chevron seperti gambar 2.14. Sedangkan untuk gasketnya sendiri dipilih gasket tipe clip seperti gambar 2.15.

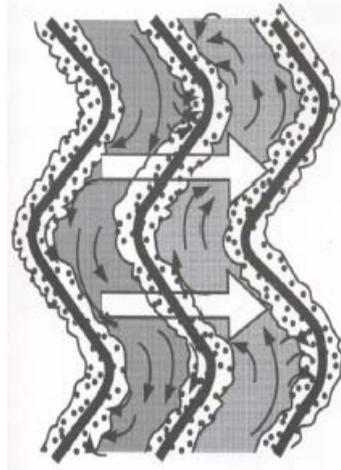


Gambar 2.14 Plat dengan profil sudut chevron



Gambar 2.15 Gasket tipe clip

Proses perpindahan panas didalam alat terjadi secara konduksi dan konveksi. Dimana proses secara konduksi terjadi antara air dengan plat sedangkan proses secara konveksi terjadi antara plat dengan plat.



Gambar 2.16 Proses perpindahan panas didalam plat

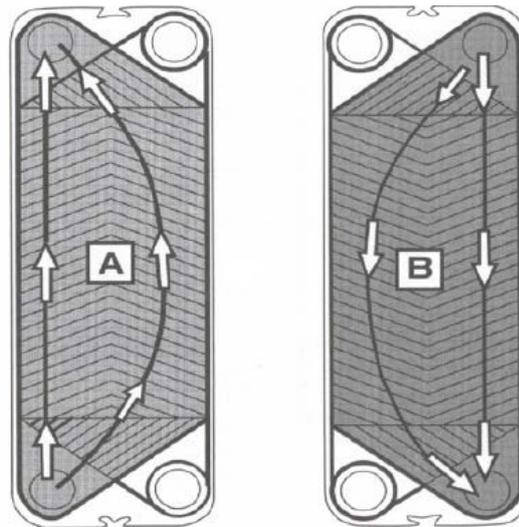
Ada beberapa keuntungan dari penggunaan alat penukar kalor tipe plat , yaitu : konstruksinya yang fleksibel sehingga mudah dilakukan pembersihan dan modifikasi sesuai dengan perubahan performa yang diinginkan , bentuk alat penukar kalor plat itu kompak sehingga dengan volume yang kecil tetapi bisa menghasilkan luas permukaan perpindahan panas yang luas. Tetapi kekurangan dari alat tersebut adalah tidak dapat digunakan untuk tekanan yang tinggi dikarenakan strukturnya yang mengandalkan sekat (*seal* karet) tidak mampu menahan tekanan tinggi dari kebocoran.



Gambar 2.17 *cooling water heat exchanger*

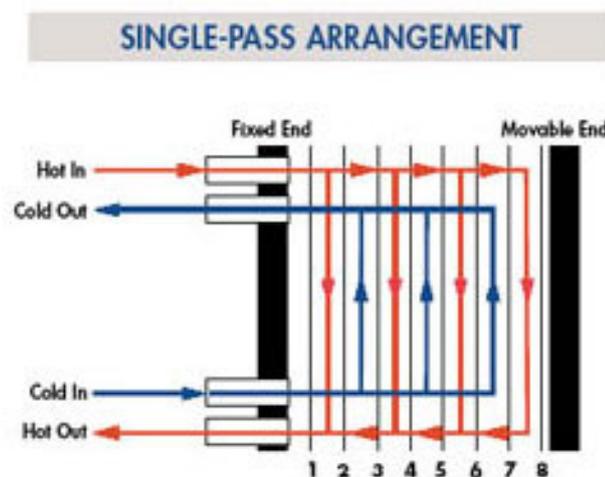
2.4.1 Cara kerja *Cooling Water Heat Exchanger*

Alat penukar panas tipe plat ini tersusun atas susunan plat yang ditekan dimana plat mempunyai profil bergerigi dibagian tengahnya dan mempunyai lubang disetiap sudutnya. Plat mempunyai fungsi sebagai jalan mengalirnya fluida tetapi juga sebagai media perpindahan panas. Fluida akan masuk melalui lubang dari arah yang berlawanan. Fluida yang mengalir pada alat ini adalah air laut dan air demin. Air laut akan mengalir dari arah bawah menuju ke atas kemudian air demin akan mengalir dari arah atas menuju ke bawah. Plat disusun dengan pola yang berbeda disetiap barisnya. Dimana apabila plat nomer 1 disusun dengan pola naik kemudian plat 2 akan disusun dengan pola turun dan begitu seterusnya.



Gambar 2.19 Aliran pada plat

Fluida yang mengalir melalui plat hanya tinggal mengikuti pola yang terdapat pada plat. Pompa bertekanan berfungsi mengalirkan fluida masuk ke dalam plat.



Gambar 2.18 Cara kerja *Cooling Water Heat Exchanger*

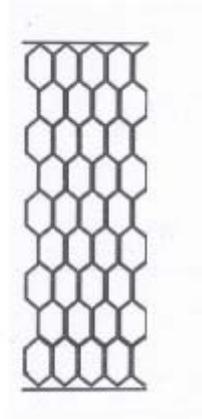
2.4.2 Penyebab pengotoran (*fouling*) dan cara pembersihan

Tugas akhir ini mencari nilai efektivitas alat pada saat terindikasi kotor / sebelum dilakukan pembersihan pada tanggal 15 februari 2015 dan pada saat alat sudah bersih / setelah dilakukan pembersihan pada tanggal 17 februari 2015. Pembersihan atau proses perawatan cooling water heat

exchanger dilakukan pada tanggal 16 februari 2015. Jadi ketika alarm berbunyi , maka operator akan segera memindahkan aliran dari 1A menuju ke 1B. Pihak perawatan akan melakukan pemeriksaan dan segera mengambil tindakan dikarenakan alat pendingin harus beroperasi selama unit operasi. Cooling water heat exchanger akan dibongkar untuk selanjutnya dilakukan pembersihan tetapi harus dicek dulu , pengotoran apa yang terjadi didalam alat. Ketika dilakukan pembongkaran, didapatkan hasil bahwa kotoran yang menumpuk didalam lubang masuknya air laut adalah kerang yang menumpuk pada celah akibat bentuk lingkaran yang bergelombang dan juga kerak akibat zat kapur yang berlebih pada air laut. Celah tersebut terbentuk karena plat akan ditekan untuk mengurangi resiko kebocoran. Celah tersebut berbentuk seperti pada gambar 2.19.



Gambar 2.18 Bentuk lubang pada plat



Gambar 2.19 Celah yang terbentuk pada lubang

Kerang termasuk biota laut yang masih dapat masuk kedalam alat dikarenakan proses klorinasi dan penyaringan aliran yang tidak maksimal. Seharusnya setelah melewati proses klorinasi , air laut akan melewati saringan kasar (*bar screen*) kemudian masuk ke *rotary filter* untuk menyaring sampah berukuran kecil. Dikarenakan rotary filter tidak dioperasikan secara kontinyu menyebabkan sampah dan biota laut berukuran kecil masih terangkut bersama aliran. Pengotoran yang terjadi didalam lubang masuknya air laut dapat dilihat pada gambar 2.19.



Gambar 2.20 Kotoran pada sisi masuk air laut

Setelah mengetahui kotoran apa yang menumpuk didalam alat , kemudian alat akan dilakukan perawatan atau pembersihan. Pembersihan pada lubang saluran masuk fluida dilakukan tanpa harus melepas plat tetapi hanya melepas sambungan pipa untuk membuang sisa air. *Drain* / saluran pembuangan juga akan dibuka untuk segera membuang air laut sehingga tidak mengenai peralatan lainnya. Metode pembersihan untuk *fouling* dan *scaling* didalam alat penukar panas dilakukan secara mekanik maupun kimia. Secara mekanik , aliran air laut akan dibalikkan arahnya (*backwash*). Fungsinya adalah menyemprot lubang dengan tekanan yang tinggi apabila tidak tersedia alat penyemprot. Setelah dilakukan penyemprotan dengan menggunakan air *backwash* , kemudian lubang akan disikat menggunakan sikat plastik biasa. Secara kimia menggunakan *chemical spray*. *Chemical spray* ini digunakan untuk membersihkan garam-garam atau biota-biota laut yang terjebak dan menempel didalam *heat exchanger*. Pembersihan yang dilakukan yaitu menggunakan *chemical detergent* seperti; *nitric acid*(HNO_3), *amino acid* (NH_2CHR_2COOH), *citric acid* ($C_6H_8O_7$), *phosphoric acid sodium phosphat* ($H_3PO_4.Na_3PO_4$) dengan konsentrasi maksimal 4% atau suhu maksimal 60 °C.



Gambar 2.21 Pelepasan sisi inlet CWHE



Gambar 2.22 Proses cleaning CWHE