

FENOMENA KERAK DALAM DESALINASI DENGAN MULTI STAGE FLASH DISTILLATION (MSF)

Siti Alimah*)

ABSTRAK

FENOMENA KERAK DALAM DESALINASI DENGAN MULTI STAGE FLASH DISTILLATION (MSF). Telah dilakukan kajian fenomena kerak dalam desalinasi MSF. Kerak adalah salah satu masalah yang dominan dalam instalasi desalinasi MSF. Jenis utama kerak dalam MSF adalah kalsium karbonat (CaCO_3), magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) dan kalsium sulfat (CaSO_4). Kerak CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ sebagai hasil dari dekomposisi panas dari ion bikarbonat, sedangkan kerak kalsium sulfat sebagai hasil dari reaksi ion kalsium dan ion sulfat yang ada dalam air laut. Kecepatan pembentukan kerak dalam air laut tergantung pada temperatur, pH, konsentrasi ion, larutan super jenuh, nukleasi dan difusi. Kerak dalam instalasi MSF dapat terjadi di bagian dalam pipa perpindahan panas, pipa pemanas *brine*, *water boxes*, permukaan *tube sheets* dan *demister pads*. Kerak mengurangi keefektifan (produksi dan konsumsi panas) dari proses. Untuk menghindari pengurangan unjuk kerja yang disebabkan pengendapan kerak, unit desalinasi menggunakan kontrol kerak. Untuk mengontrol problem kerak ini, metode yang dapat digunakan adalah penambahan asam, penambahan aditif (inhibitor kerak) dan pembersihan mekanik. Asam yang ditambahkan ke air laut harus stoikiometri (tepat), karena penambahan yang berlebihan akan meningkatkan problem korosi. Penggunaan inhibitor kerak seperti jenis polifosfat, fosfonat, poliakrilat dan poliamaleat, masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian .

Kata Kunci : Kerak, MSF Desalination, Inhibitor.

ABSTRACT

SCALING PHENOMENA IN DESALINATION WITH MULTI STAGE FLASH DISTILLATION (MSF). Assessment of scaling phenomena in MSF desalination has been carried out. Scale is one of predominantly problem in multi stage flash (MSF) desalination installation. The main types of scale in MSF are carbonat calcium (CaCO_3), hydroxide magnesium ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) dan sulphate calcium (CaSO_4). CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$ scales result from the thermal decomposition of bicarbonate ion, however sulphate calcium scale result from reaction of calcium ion and sulfat ion present in seawater. The rate of formation scale in seawater depends on temperature, pH, concentration of ions, supersaturated solution, nucleation and diffusion. The scales in MSF installation can occur inside heat exchanger tube, brine heater tubes, water boxes, on the face of tube sheets and demister pads. Scaling reduces effectiveness (production and heat consumption) of the process. To avoid the reductions in performance caused by scale precipitation, desalination units employ scale control. To control this scaling problem, the following methods can be used; acid, additive (scale inhibitors) and mechanical cleaning. Stoichiometric amounts of acid must be added to seawater, because addition excess of acid will increase corrosion problems. Using of scale inhibitors as polyphosphates, phosphonates, polyacrylates and polymaleates have advantage and disadvantage.

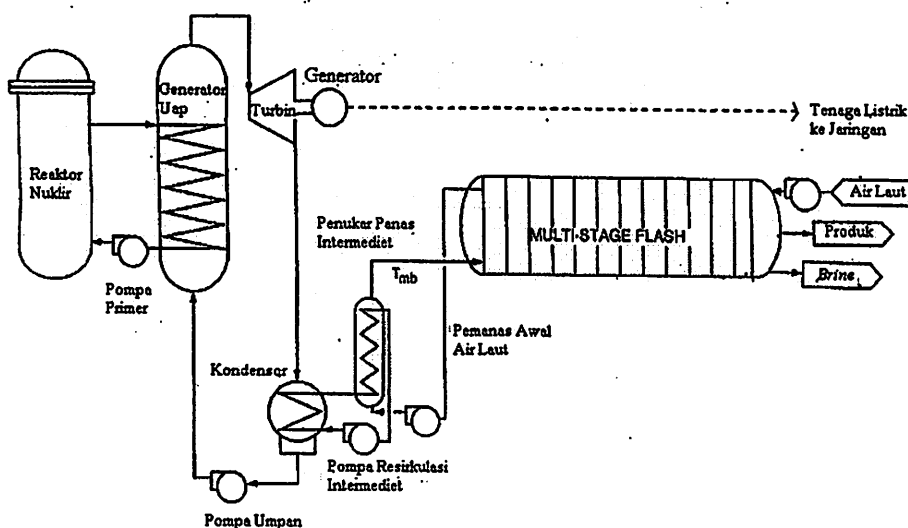
Key Words : Scale, MSF Desalination, Inhibitor.

*Staf Bidang Pengembangan Sistem dan Teknologi PLTN

I. PENDAHULUAN

Introduksi PLTN pada jaringan listrik Jawa- Madura-Bali sesuai hasil studi yang telah dilakukan, dimungkinkan untuk dilaksanakan dan dioperasikan pada tahun 2016-2017, dengan kapasitas 2 x 1000 MWe (PWR-Twin). Dalam rangka menyongsong pembangunan PLTN tersebut, perlu dipersiapkan kontribusi lokal diantaranya penyediaan air bersih untuk keperluan proses pada PLTN. Salah satu teknologi yang sedang dikaji untuk memproduksi air bersih tersebut adalah desalinasi dengan proses thermal *Multistage Flash Distillation (MSF)* yang dikopling dengan reaktor nuklir. Kopling yang dimaksud di sini adalah *interface* (sambungan) antara PLTN dengan instalasi desalinasi. Jadi disain kopling ini untuk pertimbangan keselamatan terhadap kemungkinan terjadinya penularan kontaminasi jika pada sistem turbo-generator PLTN terjadi kontaminasi.

Desalinasi MSF merupakan proses memproduksi air bersih dari air laut dengan memanfaatkan panas berupa uap yang dapat diambil dari PLTN. Uap ini diambilkan dari ekstraksi turbin uap, atau luaran dari *back-pressure turbine*, yang setelah memberikan panasnya dalam proses kondensasi, kembali ke daur turbo-generator lagi sebagai kondensat. Alat penukar panas yang memindahkan panas dari daur turbo generator ke daur perantara yaitu *heat transformer*. Jadi di sini tidak ada pencampuran atau kontak fisik antara air dari turbo- generator PLTN dengan air laut desalinasi, tetapi lewat daur perantara (*intermediate loop*) yang berisi air bersih. *Heat transformer* bertekanan lebih rendah dari pada tekanan air di *intermediate loop*. Jadi apabila ada kebocoran dari pipa penukar panasnya, maka arah kebocoran adalah dari *intermediate loop* ke air/uap di kondensor. Kopling PLTN dengan desalinasi MSF dapat dilihat pada Gambar 1.

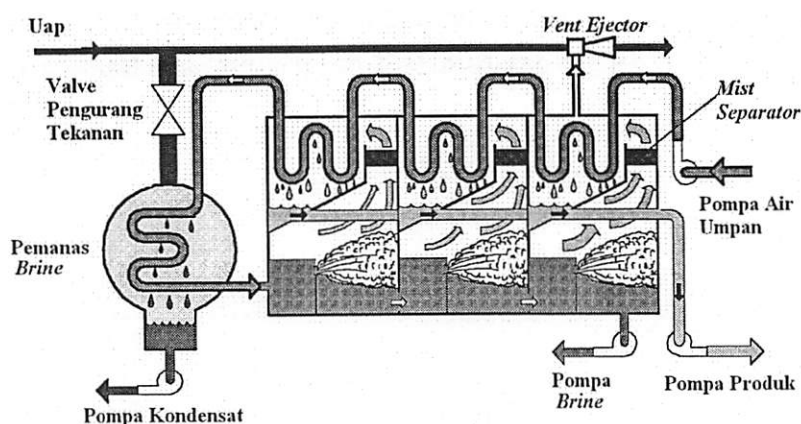


Gambar 1. Kopling PLTN dengan Desalinasi MSF [1]

Salah satu masalah yang terjadi pada proses desalinasi MSF adalah terbentuknya kerak pada permukaan pipa alat penukar panas, sehingga dapat mengurangi efisiensi penukar panas dan mengurangi produksi air. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengetahui terjadinya kerak dalam instalasi desalinasi MSF dan berbagai alternatif penanggulangan kerak tersebut. Metode penelitian berupa kajian kepustakaan dari beberapa penelitian yang telah dilakukan di luar negeri. Literatur dan data diperoleh dari internet dan beberapa referensi yang berkaitan.

II. DESALINASI MSF

Secara skematik proses desalinasi MSF dapat dilihat pada **Gambar 2**. Uap memanaskan air laut (dalam pipa tertutup) yang masuk dalam suatu pemanas *brine*. Air laut umpan kemudian disemburkan dalam masing-masing tahapan evaporator yang disusun secara seri. Uap yang diproduksi dalam masing-masing tahapan dikondensasi dan dikumpulkan sebagai distilat, yang mengalir dari tahap pertama sampai terakhir, dengan kualitas total padatan terlarut (TDS) dapat mencapai <10 ppm. Tekanan yang lebih rendah dalam setiap efek menyebabkan air laut mendidih dengan segera setelah masuk ke efek. Konsentrat dipompa keluar dan dibuang ke laut. Beberapa proses mensirkulasi sebagian dari *brine* bersama-sama umpan, dengan tujuan untuk meningkatkan *recovery* (pemanfaatan kembali) panas.



Gambar 2. Proses Desalinasi MSF [2]

III. FENOMENA PEMBENTUKAN KERAK

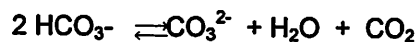
Kerak adalah salah satu masalah yang dominan dalam desalinasi MSF, yang secara luas didefinisikan sebagai [3] :

1. Deposit kristalin keras yang melekat pada permukaan perpindahan panas dan memerlukan metode pengelupasan untuk menghilangkannya.
2. Deposit yang dibentuk oleh pengendapan dari larutan, yang mana larutan tersebut kelarutannya menurun dengan kenaikan temperatur.

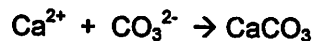
3. Deposit kristalin *dense* (rapat) yang terikat ke permukaan logam.

Jenis kerak utama dalam desalinasi MSF adalah CaCO_3 , Mg(OH)_2 dan CaSO_4 [4].

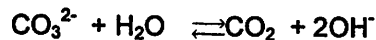
Kerak CaCO_3 dan Mg(OH)_2 sebagai hasil dekomposisi dari ion bikarbonat yang ada dalam air laut, sebagai proses dari kenaikan temperatur yang reaksinya adalah sebagai berikut [5]:



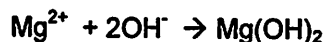
Ion kalsium yang ada dalam air laut bereaksi dengan ion karbonat membentuk endapan kalsium karbonat, jika batas kelarutannya terlampaui.



Selanjutnya, jika temperatur meningkat, ion karbonat terhidrolisa sebagai berikut :



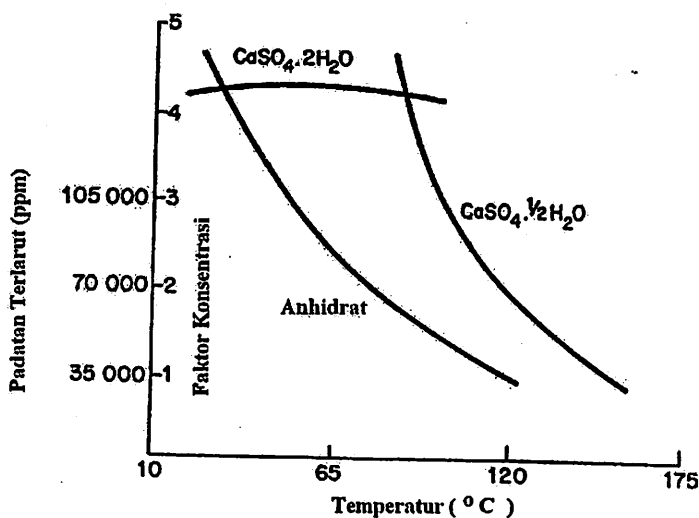
Ion hidroksil yang dibentuk dapat bereaksi dengan magnesium yang ada dalam air laut membentuk magnesium hidroksida :



Reaksi keseluruhan :



Kecepatan pembentukan CaCO_3 dan Mg(OH)_2 dalam air laut tergantung pada temperatur, pH, konsentrasi ion bikarbonat dan ion Ca^{2+} , Mg^{2+} . Selain itu interaksi dari beberapa proses seperti superjenuh larutan, nukleasi dan difusi juga berpengaruh pada kecepatan pembentukan kerak. CaCO_3 adalah kerak yang terbentuk sampai temperatur 90°C , sedangkan Mg(OH)_2 terbentuk di atas temperatur $95\text{-}100^\circ\text{C}$. Peningkatan temperatur akan meningkatkan ion hidroksil. CaCO_3 dan Mg(OH)_2 mempunyai kelarutan



Gambar 3. Kelarutan CaSO_4 [3].

terbalik terhadap temperatur, yaitu dengan peningkatan temperatur kelarutan akan turun. Kerak kalsium sulfat terbentuk karena adanya ion kalsium dan ion sulfat yang ada dalam

air laut. Kerak kalsium sulfat mempunyai tiga bentuk, yaitu anhidrat (CaSO_4), hemihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) dan dihidrat ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Semua bentuk kalsium sulfat lebih larut daripada CaCO_3 dan $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Diagram dalam Gambar 3, mengindikasikan kondisi konsentrasi dan temperatur dimana kalsium sulfat akan terbentuk.

IV. PENANGGULANGAN KERAK

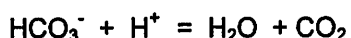
Pembentukan kerak dalam instalasi desalinasi MSF dapat terjadi di bagian [6]:

1. Pipa perpindahan panas dari ujung bagian bawah sampai bagian tengah hingga bagian temperatur tinggi di tahapan pemanfaatan kembali panas.
2. Masukan pipa pemanas *brine* yang mana pembentukannya lebih tinggi dibanding bagian keluaran.
3. *Water box* dan permukaan *tube sheets* sepanjang aliran sirkulasi *brine* dari ujung yang dingin sampai ujung yang panas.
4. Penumpukan kerak yang berat terjadi dibagian ruang *flashing* pada temperatur rendah.
5. *Demister pads*, terjadi *carry over* dari kerak.

Terbentuknya lapisan kerak akan mengurangi efisiensi proses perpindahan panas dari proses desalinasi MSF. Jadi tanpa kontrol kerak yang efektif dapat mengakibatkan *shutdown* (penghentian) dari instalasi tersebut. Kontrol pembentukan kerak adalah sangat penting, sehingga instalasi tersebut dapat dioperasikan untuk jangka lama dengan efisiensi optimum. Beberapa metode untuk mengontrol masalah kerak pada instalasi MSF yaitu :

1. Penambahan asam
2. Penambahan inhibitor
3. Pembersihan mekanik

Metode yang pertama yaitu penambahan asam, reaksinya adalah sebagai berikut :



Asam yang digunakan dapat berupa asam sulfat atau asam klorida yang dimasukkan ke air umpan MSF. Metode penambahan asam ini cukup aman jika dikontrol dengan tepat. Jika digunakan asam sulfat, biasanya diikuti dengan penukar ion untuk reduksi sulfat, sehingga dapat mereduksi kandungan kalsium sulfat. Namun jika air umpan mempunyai kandungan sulfat yang tinggi, maka digunakan asam klorida. Penambahan asam haruslah tepat secara stoikiometri, jika tidak tepat sangat berbahaya karena dapat menyebabkan korosi yang serius pada instalasi.

Inhibitor kerak yang digunakan mempunyai sifat *threshold* dan *crystal distortion*, atau sebagai dispersan. Akibat dari sifat *threshold* ini bentuk kristal menjadi tidak beraturan dan tidak dapat tersusun menjadi endapan kerak yang keras (kristal tersebut tidak tumbuh). Sedangkan *crystal distortion* merupakan destruksi kerak dengan cara adsorpsi. Dengan adsorpsi tinggi dari inhibitor pada pertumbuhan inti kristal, sehingga

menghambat pertumbuhan nukleasi dan akan dihasilkan kristal distorsi yang tidak beraturan. Jadi kristal dimodifikasi dalam bentuk hablur sehingga kerak tidak akan terjadi. Di dalam sistem ini tidak akan terjadi iritasi pada permukaan logam, sehingga tidak akan terjadi keausan logam sebagai akibat dari terjadinya reaksi kimia. Jadi fenomena-fenomena ini merupakan aksi fisis saja (efek adsorpsi).

Inhibitor kerak yang akan dibahas disini adalah polifosfat, senyawa fosfonat dan dispersan organik sintetis. Inhibitor tersebut dapat digunakan sendiri atau dalam kombinasi dengan metode pembersihan mekanik yang disebut *sponge ball cleaning*. Metode *sponge ball cleaning* dilakukan untuk menghilangkan kerak-kerak yang lunak (lembut) yang terbentuk karena adanya penambahan inhibitor tersebut.

Penggunaan polifosfat seperti sodium hexametaphosfat $[(NaPO_4)_6]$ akan mendistorsi kristal $CaCO_3$ yang terbentuk. Namun polifosfat mudah terhidrolisis dan kecepatan hidrolisis meningkat dengan meningkatnya temperatur. Oleh karena itu, polifosfat ini tidak dapat digunakan pada temperatur di atas $90^\circ C$ [3]. Di atas temperatur ini kecepatan kehilangan polifosfat sangat besar, sehingga tidak mungkin digunakan sebagai inhibitor

Senyawa fosfonat seperti poliamino poliether methylene fosfonat adalah inhibitor yang secara simultan dapat mengontrol pembentukan kerak $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$ dan kalsium sulfat. Selain itu senyawa tersebut juga dapat mereduksi, bahkan mengeliminasi penggunaan asam, sehingga mengurangi terjadinya korosi.

Dispersan organik sintetis yaitu polimer sintetis yang mempunyai berat molekul dibawah 50.000, diantaranya adalah jenis asam poliakrilat dengan berat molekul 1500-2500 dan jenis asam polimaleat. Keefektifan polimer tersebut akan menurun dengan meningkatnya panjang rantai. Panjang rantai 10-15 unit adalah paling baik. Pada berat molekul ini, adsorpsi dimaksimumkan dan dispersi paling efisien. Jenis homopolimer dan kopolimer asam akrilat dapat digunakan untuk mencegah pembentukan kerak, tetapi aktivitasnya tidak lebih besar dari polifosfat. Meskipun bahan kimia tersebut stabil pada temperatur lebih besar $90^\circ C$, tetapi aktivitas sebagai kontrol kerak lebih rendah pada temperatur lebih besar dari $95-100^\circ C$, sehingga tidak mampu untuk mengontrol deposit yang mengandung magnesium. Deposit yang dibentuk dengan penggunaan polimer dan kopolimer berdasar akrilat seringkali keras, karena ketidak mampuan bahan kimia tersebut untuk mendistorsi kristal atau karena polimer berikatan bersama dengan sejumlah inti $CaCO_3$ sehingga menyebabkan bertambahnya kekuatan deposit kerak akhir. Penggunaan polimer jenis asam polimaleat, mengatasi kerugian polifosfat dan homopolimer dan kopolimer asam akrilat. Polimer ini mampu mencegah pembentukan kerak $CaCO_3$ dan $Mg(OH)_2$. Deposit $Mg(OH)_2$ terjadi melalui pembentukan suatu *intermediate* (bentuk sementara) yaitu hydromagnesit ($3MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$). Jenis asam polimaleat memperlambat pembentukan bahan ini dibanding pembentukan langsung $Mg(OH)_2$. Bahan kimia jenis asam polimaleat (homopolimer dan terpolimer)

merupakan penghambat pertumbuhan kristal yang lebih baik dibanding kopolimernya. Ini menunjukkan bahwa tidak semua jenis asam polimaleat mempunyai sifat penghambat pertumbuhan kristal.

Dosis pemberian inhibitor haruslah tepat, karena dosis inhibitor yang berlebih sama jeleknya dengan dosis yang kurang. Dosis pemberian inhibitor yang tidak tepat, (berlebih atau kurang) dapat menyebabkan terbentuknya lumpur yang meningkat dengan cepat. Kecepatan dosis mempengaruhi koefisien keseluruhan penukar panas dan faktor *fouling* pada alat penukar panas. Keuntungan penggunaan inhibitor yaitu merupakan bahan kimia yang tidak berbahaya sehingga tidak ada masalah dalam penanganan, kecepatan dosis rendah sehingga mengurangi masalah logistik dan kecepatan korosi juga lebih rendah, oleh karena itu biaya perawatan akan lebih rendah.

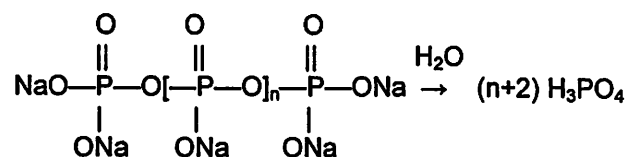
5. PEMBAHASAN

Pembentukan kerak adalah suatu proses kristalisasi yang komplek. Seperti yang disebutkan bahwa kecepatan pembentukan kerak dipengaruhi oleh larutan superjenuh, nukleasi dan difusi. Jika larutan supersaturasi kontak dengan permukaan penukar panas, maka akan terjadi pengendapan karena kesetimbangan kelarutan lebih rendah. Jadi jika ion kerak melebihi kelarutannya, kerak akan terbentuk. Larutan dapat menjadi super jenuh oleh perubahan temperatur, pH, penambahan material bibit kerak, evaporasi atau perubahan tekanan. Jika $[Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}]$ adalah lebih besar dari Ksp (konstanta produk kelarutan) $CaCO_3$ pada temperatur tersebut, maka $CaCO_3$ akan diendapkan. Begitu juga untuk $Mg(OH)_2$. Nukleasi adalah pembentukan awal dari pengendapan, yang terjadi lebih cepat pada derajat superjenuh yang tinggi. *Nuclei* (inti) tersebut merupakan titik awal pertumbuhan kristal untuk membentuk kerak. Setelah nukleasi terjadi, akan terjadi kontak yang cukup antara larutan dan tempat nukleasi di permukaan. Kontak yang lama akan menyebabkan terbentuknya kerak.

Pembentukan kerak dikontrol dengan penambahan asam, inhibitor kerak atau pembersihan mekanik. Kecepatan pertumbuhan kristal dan kecepatan inhibition dari pertumbuhan kristal dapat dipelajari dengan memonitor inhibitor (mengatur penambahan inhibitor) yang diperlukan untuk menjaga kandungan tingkat kalsium dan magnesium jika batas kelarutannya terlampaui (selama pembentukan kerak). Perubahan pH atau alkalinitas juga merupakan efek utama dari kelarutan ion kerak [7]. Peningkatan alkalinitas menurunkan kelarutan kalsium karbonat. Peningkatan pH juga menurunkan kelarutan garam kalsium, kecuali kalsium sulfat. Penggunaan asam sulfat untuk mengontrol pH dapat menyebabkan kandungan sulfat yang tinggi dan meningkatkan kemungkinan kerak kalsium sulfat. Asam klorida harus digunakan jika kalsium sulfat merupakan masalah. Penggunaan asam juga menimbulkan problem penyimpanan dan penanganan instalasi karena diperlukan volume yang besar dan akan terjadi korosi alami dari asam sulfat atau klorida.

Kelemahan dari inhibitor polifosfat adalah jika kandungan kalsium dalam air sangat tinggi maka penggunaan inhibitor ini tidak efektif, karena ketidak toleran inhibitor tersebut terhadap kalsium. Inhibitor tersebut juga tidak mampu untuk menangani sistem yang terganggu karena kondisi umpan yang sangat asam. Senyawa poliamino poliether methylene fosfonat merupakan kontrol kerak yang sangat efektif, terutama pada superjenuh yang tinggi dan dapat mengatasi kondisi umpan yang asam. Berdasarkan percobaan oleh peneliti di luar negeri, % *inhibition* dari senyawa ini (dosis 25 mg/l) pada keadaan *calcite* super jenuh 300X, temperatur 55°C, pH 9 adalah 100%, dibanding asam poliakrilat yang hanya 53% dan asam polimaleat 47% [4]. Sistem yang menggunakan inhibitor ini juga dapat menahan kondisi seperti pH tinggi karena tidak adanya umpan asam atau kerusakan kontrol pH, sehingga tidak akan menyebabkan kerak kalsium karbonat dan kerak kalsium sulfat.

Seperti disebutkan dosis pemberian inhibitor haruslah tepat, karena dosis inhibitor yang berlebih sama jeleknya dengan dosis yang kurang. Dosis pemberian inhibitor yang tidak tepat, (berlebih atau kurang) dapat menyebabkan terbentuknya lumpur yang meningkat dengan cepat. Sebagai contoh penggunaan polifosfat, dapat terhidrolisa menjadi ortofosfat yang mengurangi keefektifan inhibitor, reaksinya sebagai berikut:



Ortofosfat yang terbentuk dapat menyebabkan deposisi lumpur kalsium dan besi fosfat. Penggunaan fosfonat yang berlebihan juga dapat menyebabkan pembentukan kalsiumfosfat, karena fosfonat berubah menjadi ortofosfat. Oleh karena itu, penggunaan polifosfat dan fosfonat harus dikombinasi dengan dispersan untuk menjaga suspensi lumpur dan untuk mencegah lumpur menempel pada permukaan perpindahan panas.

Pada Gambar 3 diperlihatkan kelarutan berbagai bentuk kalsium sulfat, sehingga memungkinkan untuk menghitung batasan teoritis terhadap air yang dapat terkonsentrasi sebelum kalsium sulfat akan mengendap dalam larutan. Sebagai contoh, pada faktor konsentrasi 2 dan temperatur 115°C, pengendapan anhidrat akan terjadi, tetapi tidak terjadi pengendapan hemihidrat dan dihidrat. Gambar 3 tersebut hanya memberikan informasi berdasar studi kesetimbangan dan tidak mengindikasikan kecepatan relatif dimana pengendapan terjadi. Kinetika dari pengendapan kalsium sulfat adalah penting dalam distilasi MSF, seperti pengendapan anhidrat terjadi sangat lambat, namun pembentukan hemihidrat terjadi lebih cepat [3]. Hal ini menyebabkan MSF dapat beroperasi di atas batas kelarutan anhidrat, karena selama waktu tersebut *brine* adalah di atas batas kelarutan sehingga anhidrat tidak mempunyai waktu untuk mengendap.

Namun dari pengalaman operasi, tidak hanya temperatur *brine* dan faktor konsentrasi yang dipertimbangkan dalam operasi, tetapi juga temperatur uap pemanas. Jika temperatur uap pemanas sangat tinggi untuk top *brine*, *boundary layer* dari *brine* dalam tabung, temperaturnya lebih tinggi dari temperatur maximum *brine* dan batas kelarutan kalsium sulfat terlampaui. Hal ini akan mempercepat pembentukan kalsium sulfat.

Dari sudut pandang desain, daerah perpindahan panas dalam instalasi MSF adalah sekitar 30% dari biaya total, dan terjadinya kerak memerlukan kelonggaran 20-25%. Hal ini menggambarkan sekitar 6% dari unit biaya. Oleh karena itu adanya kerak pada instalasi MSF ini perlu mendapatkan perhatian khusus, karena selain menurunkan efisiensi proses dan meningkatkan biaya juga dapat menyebabkan terjadinya *shutdown* dari instalasi.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Kerak adalah salah satu masalah yang dominan dalam instalasi desalinasi MSF. Jenis utama kerak dalam MSF adalah CaCO_3 , Mg(OH)_2 dan kalsium sulfat. Kecepatan pembentukan kerak dipengaruhi oleh terjadinya larutan superjenuh, nukleasi dan difusi. Proses tersebut dipengaruhi oleh perubahan temperatur, pH, penambahan material bibit kerak, evaporasi atau perubahan tekanan. Terbentuknya kerak akan menurunkan efisiensi proses dan meningkatkan biaya, juga dapat menyebabkan terjadinya *shutdown* dari instalasi. Pembentukan kerak dikontrol dengan penambahan asam, inhibitor kerak atau pembersihan mekanik. Beberapa inhibitor kerak yaitu polifosfat (sodium hexametaphosfat), senyawa fosfonat (poliamino poliether methylene fosfonat) dan dipersan organik sintesis (jenis asam poliakrilat dan jenis asam polimaleat). Diantara inhibitor tersebut, senyawa poliamino poliether methylene fosfonat merupakan kontrol kerak yang sangat efektif, terutama pada super jenuh yang tinggi dan dapat mengatasi kondisi umpan yang asam.

Mengingat berbagai keterbatasan dalam studi ini, maka disarankan untuk dapat dilakukan penelitian lebih lanjut pembuatan inhibitor kerak.

USTAKA

1. TECHNICAL REPORT SERIES No. 400, "Introduction of Nuclear Desalination", A Guidebook, IAEA, Vienna, 2000.
2. HENDRIK, "Desalination Plant", Sasakura Engineering, Co.Ltd.
3. ANDREW PORTEOUS, "Desalination Technology, Development and Practice", Applied Science Publishers, London and New York, 1983.
4. JASBIR S. GILL, "A Novel Inhibitor for Scale Control in Water Desalination", Desalination 124, 1999, p. 43-50.
5. SURESH PATEL, MICHAEL A.FINAN, "New Antifoulant for Deposit Control in MSF and MED Plants", Desalination 124, 1999, p. 63-70.
6. MOHAMMAD ABDUL-KAREEM AL-SOFI, "Fouling Phenomena in Multi Stage Flash (MSF) Distillers", Desalination 126, 1999, p. 61-76
7. _____ <http://www.mekanisme.kerak.htm>