

PEMBENTUKAN KERAK KALSIMUM KARBONAT (CaCO_3) DALAM PIPA BERALIRAN LAMINER DENGAN VARIASI TEMPERATUR DAN PENAMBAHAN ADITIF ASAM MALAT ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$)

Muhammad Usamah

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara, Ternate 97726,

*E-mail: Musamah80@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pembentukan kerak (scale) merupakan masalah yang sering dijumpai dalam pipa dalam dunia industri. Terjadinya kerak karena adanya reaksi kimia antara kandungan-kandungan ion pembentuk kerak yang terlarut di dalam air. Kalsium karbonat (CaCO_3) adalah salah satu jenis kerak yang banyak dijumpai. Akibat adanya pengerasan ini akan merugikan yaitu mempertebal dinding pipa yang dilewati cairan dan dapat mempengaruhi laju aliran ataupun perpindahan panas. Oleh karena itu harus dilakukan pencegahan untuk menghambat pertumbuhan kerak dalam pipa tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen tentang pertumbuhan kerak kalsium karbonat dalam pipa uji, dengan mereaksikan larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 masing-masing dengan konsentrasi Ca^{2+} 3500 ppm dengan laju alir 30 ml/menit dan temperatur yang digunakan adalah 25, 30 dan 40°C. Asam Malat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$) ditambahkan ke dalam larutan sebagai aditif dengan konsentrasi 0, 3, dan 5 ppm. Bentuk Kristal kalsium karbonat dapat dilihat dari hasil kajian morfologi yang dilakukan dengan menggunakan SEM, dari hasil SEM menunjukkan bahwa pada temperatur 25°C tanpa aditif kerak yang terbentuk adalah jenis kalsit dan vaterit, sedangkan dengan aditif 5 ppm kerak yang terbentuk adalah jenis vaterit dengan ukuran kristal yang lebih besar dan terdapat juga bentuk kalsit, namun jenis vaterit yang lebih dominan. Sedangkan pada temperatur 40°C tanpa aditif jenis kristal yang terbentuk adalah jenis aragonit yang menyerupai tumpukan jarum.

Keywords : CaCO_3 , temperatur, asam malat, kera

1. Pendahuluan

Kerak adalah suatu deposit keras dari senyawa anorganik yang sebagian besar terjadi pada permukaan peralatan penukar panas yang disebabkan oleh pengendapan partikel mineral dalam air (A Bhatia, 2003). Penyebab terbentuknya endapan kerak pada pipa-pipa di industri adalah terdapatnya senyawa-senyawa pembentuk kerak dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan sehingga terbentuk kristal. Kristal tersebut akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida menyebabkan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa mengalami kerusakan (Asnawati, 2001). Dengan meningkatnya temperatur maka kalsium karbonat yang terlarut semakin sedikit. Sehingga tingkat pengendapan pada suhu 65°C lebih tinggi daripada suhu 30°C, karena salah satu peningkatan kinetik dari kristalisasi dan berkurangnya larutan calcium carbonat pada suhu yang lebih tinggi (Grases dkk, 2007).

Saat ini pengolahan air dan pencegahan pembentukan kerak umumnya dilakukan secara kimiawi seperti resin penukar ion dan penambahan inhibitor kerak. Metode kimiawi ini dapat mengubah sifat kimia larutan sehingga tidak cukup aman untuk digunakan pada rumah tangga dan industri makanan. Selain itu investasinya yang cukup besar mengakibatkan proses-proses tersebut hanya cocok untuk industri yang memerlukan air olahan dalam jumlah besar (Kozic dkk, 2003).

Dengan menggunakan asam malat sebagai aditif, dimana penelitian dilakukan dari tanpa aditif sampai 40 mM asam malat. Menunjukkan bahwa semakin meningkat asam malat

mempengaruhi terbentuknya kristal morfologi dan ukurannya (Mao dan Huang, 2007).

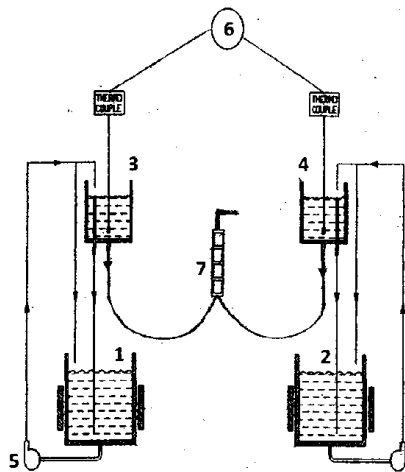
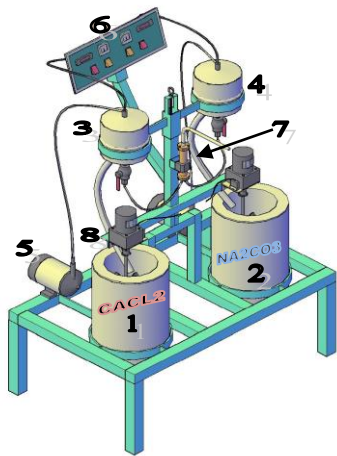
Pada temperatur 50⁰ C terjadi peningkatan laju masa deposit pada larutan CaCO₃, dan menunjukkan bahwa terjadi perubahan struktur kristal sebagai fungsi waktu pada permukaan. Pada menit awal teramati adanya kristal aragonit, vaterit dan kalsit secara bersamaan dipermukaan logam. Sedangkan pada suhu kamar menunjukkan aragonit jarang terbentuk, sedangkan kalsit terbentuk pada setiap kondisi (Gabrielli, 1999).

Paper ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme pembentukan kerak CaCO₃ didalam pipa dengan aliran laminar, dan pengaruh temperatur 40°C, dan penambahan aditif asam malat.

2. Metodologi

Penelitian yang dilakukan untuk mengkaji pembentukan kerak pada pipa beraliran laminar ini, dengan mereaksikan larutan CaCl₂ dan Na₂CO₃, dan asam malat sebagai aditif. Untuk membuat larutan CaCl₂ dan Na₂CO₃ dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 ml/menit. Kemudian mempersiapkan kupon atau pipa uji, dimana jumlah kupon ada empat pasang, dengan panjang 30 mm, diameter luar 18 mm dan diameter dalam 12,5 mm. Kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai disain yaitu 30 ml/menit. Pengujian ini dilakukan dengan menghitung standar deviasi aliran, dengan demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir stabil. *Conductivitymeter* digunakan untuk mengukur konduktifitas larutan. Keakuratan instrumentasi ini bisa diuji dengan melakukan pengukuran terhadap

konduktifitas aquades. Gambar 1. Merupakan alat penelitian



Gambar 1. Gambar alat Penelitian.

Kecepatan alir dari bejana I dan bejana II harus seragam. Hal ini bisa diamati melalui saluran pengontrol level. Bila level kedua bejana selalu sama maka kecepatan alir keduanya sama. Pengaturan harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana III dan IV terhadap saluran limbah sebagai pengatur laju alir diuji dengan *trial and error*. Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada satu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan

untuk mengetahui komposisi kristal dan pengujian XRD untuk membuktikan bahwa kerak dari hasil penelitian itu betul-betul kerak Calcium Carbonat (CaCO_3). Pengambilan data dilakukan sebanyak sembilan kali yaitu terdiri dari tiga kali percobaan untuk pembentukan kerak tanpa aditif, tiga kali percobaan untuk pembentukan kerak dengan aditif $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ 3 ppm, tiga kali percobaan untuk pembentukan kerak dengan aditif $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$ 5 ppm. Pertama kali larutan CaCl_2 dimasukkan sejumlah lima liter dalam bejana I selanjutnya larutan Na_2CO_3 dimasukkan kedalam bejana II lima liter pula. Setelah itu pompa dihidupkan dan larutan naik mengisi sampai batas atas bejana III dan bejana IV dan segera kemudian pompa dimatikan. Beberapa saat kemudian pompa dihidupkan dan larutan mulai mengisi kupon dan dengan demikian percobaan telah dimulai. Pencatat waktu pada saat yang sama juga diaktifkan dimana setiap dua menit sekali perlu dilakukan pengukuran terhadap konduktifitas larutan. Untuk melakukan pengukuran konduktifitas larutan limbah larutan yang keluar dari kupon ditampung pada bejana kecil yang terbuat dari plastik dan segera mungkin elektroda *conductivitymeter* dimasukkan. *Conductivitymeter* akan mengukur nilai konduktifitas larutan sehingga pembacaan digitalnya mulai berjalan dari nol naik terus sehingga akhirnya berhenti. Angka yang terakhir inilah yang dicatat. Demikian ini dilakukan berulang ulang setiap dua menit sekali. Setelah waktu mencapai empat jam maka pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°C selama enam jam. Penimbangan massa kerak dilakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon.

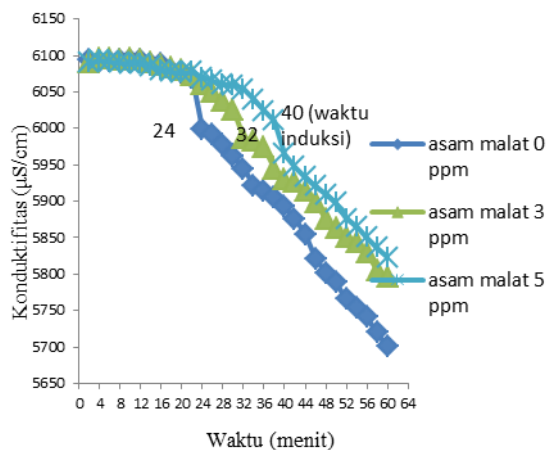
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Waktu Induksi

Waktu induksi adalah waktu yang dibutuhkan oleh ion-ion dalam larutan untuk bereaksi sehingga membentuk inti kristal yang pertama kali. Metode yang digunakan untuk menentukan lamanya waktu induksi adalah dengan mengukur konduktifitas larutan yang keluar dari pipa uji. Akhir waktu induksi ditunjukkan oleh terjadinya penurunan mendadak dari konduktifitas larutan, yang berarti sejumlah ion pembentuk kristal telah meninggalkan larutan untuk membentuk kristal pada dinding pipa. Waktu induksi dihitung dari mulai bereaksinya ion-ion pembentuk kalsium karbonat sampai dengan konduktifitas larutan turun mendadak.

3.2 Waktu Induksi untuk Percobaan pada Temperatur 25°C

Waktu induksi pada percobaan dengan temperatur 25°C dengan tiga variasi aditif dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



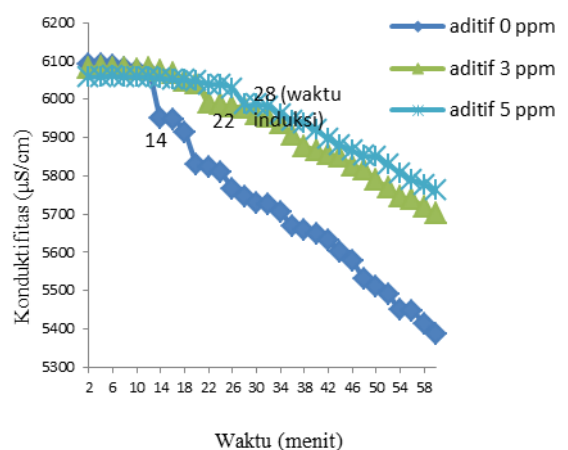
Gambar 3.1 Hubungan waktu dan konduktifitas untuk tiga variasi aditif pada temperatur 25°C,

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa untuk percobaan pembentukan kerak kalsium karbonat pada temperatur 25°C dengan tiga variasi yang

berbeda (0, 3 dan 5 ppm) menunjukkan bahwa untuk percobaan dengan tiga variasi aditif waktu induksi yang diperoleh di bawah 45 menit. Waktu induksi untuk tiap kali percobaan tidak sama, bila aditif ditambahkan dengan konsentrasi yang berbeda maka waktu induksinya akan berubah. Dengan demikian dari ketiga grafik waktu induksi untuk temperatur ruang (25°C), dan tiga variasi aditif menunjukkan bahwa konsentrasi aditif dapat mempengaruhi waktu induksi. Untuk pengaruh temperatur terhadap waktu induksi dapat diketahui dengan membuat grafik hubungan antara temperatur dengan waktu induksi, seperti terlihat pada gambar 3.1.

4.1.3 Waktu Induksi Untuk Percobaan Temperatur 40°C

Waktu induksi pada percobaan dengan temperatur 40°C dengan tiga variasi aditif dapat dilihat pada grafik hubungan antara waktu dengan konduktifitas seperti pada Gambar 4.



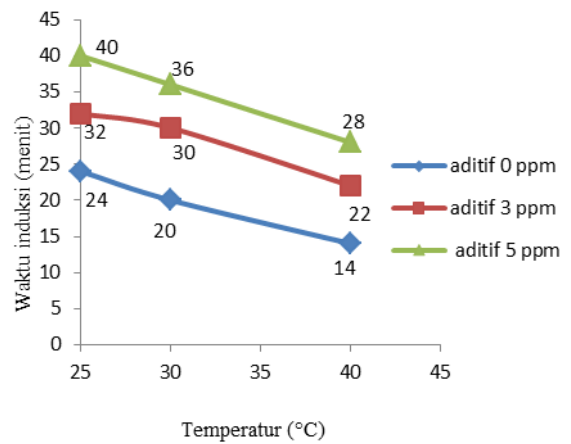
Gambar 3.2 Hubungan waktu dan konduktifitas untuk tiga variasi aditif pada temperatur 40°C

Gambar 3.2 memperlihatkan bahwa waktu induksi untuk percobaan pembentukan kerak kalsium karbonat pada temperatur 40°C dengan tiga variasi aditif yang berbeda menunjukkan bahwa waktu induksi yang diperoleh dibawah 30 menit. Waktu induksi yang terjadi pada tiga variasi aditif pada temperatur 40°C menunjukkan perbedaan waktu induksi. Dengan demikian bahwa penambahan konsentrasi aditif dengan konsentrasi yang berbeda dapat mempengaruhi konduktifitas. Dari ketiga grafik di atas memperlihatkan bahwa naiknya temperatur mengakibatkan konduktifitas turun dan reaksi bertambah cepat, sehingga ion bebas berkurang.

Grafik yang terjadi pada percobaan dengan temperatur 25°C mempunyai pola yang sama dengan grafik pada percobaan dengan temperatur 30°C dan grafik pada percobaan dengan temperatur 40°C. Dengan demikian proses terbentuknya kristal pada tiga percobaan tersebut hampir sama.

4.2 Pengaruh Temperatur terhadap Waktu Induksi

Pengaruh temperatur terhadap waktu induksi dapat diketahui dengan membuat grafik hubungan temperatur dengan waktu induksi yang di hasilkan pada setiap percobaan seperti terlihat pada Gambar 4.4.



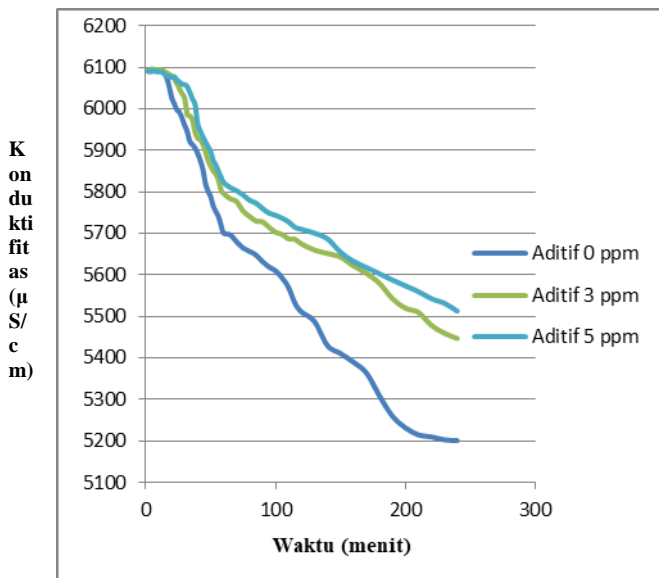
Gambar 4.4 Hubungan antara temperatur dengan waktu induksi dengan tiga variasi aditif

Dari Gambar 3.3 menunjukkan bahwa pembentukan kerak kalsium karbonat tanpa aditif, kenaikan temperatur dari 25°C menjadi 30°C menurunkan waktu induksi sebesar 28,56% dan kenaikan temperatur dari 25°C menjadi 40°C menurunkan waktu induksi sebesar 58,14%. Pada percobaan pembentuk kerak kalsium karbonat (CaCO₃) dengan aditif 3 ppm kenaikan temperatur dari 25°C menjadi 30°C menurunkan waktu induksi sebesar 22,14% dan kenaikan temperatur dari 25°C menjadi 40°C menurunkan waktu induksi sebesar 50%.

Pada percobaan dengan aditif 5 ppm, kenaikan temperatur dari 25°C menjadi 30°C menurunkan waktu induksi sebesar 28,56% dan kenaikan temperatur dari 25°C menjadi 40°C menurunkan waktu induksi sebesar 42,67%.

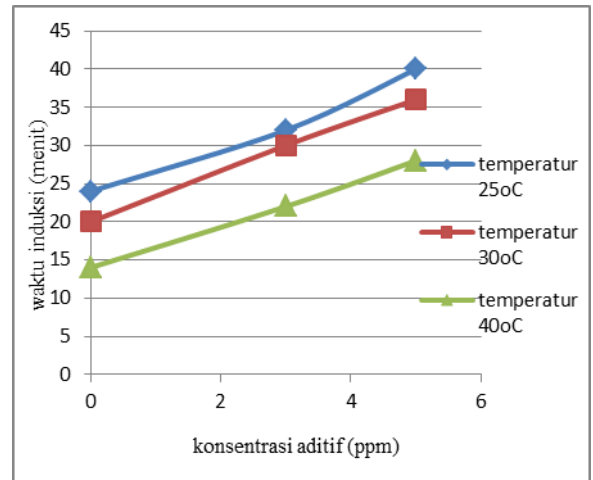
3.3 Pengaruh Aditif terhadap Waktu Induksi

Pengaruh aditif terhadap waktu induksi dapat diketahui dengan membuat grafik hubungan waktu dengan konduktifitas dengan variasi aditif pada temperatur 25°C yang di hasilkan pada setiap percobaan seperti terlihat pada gambar 4.



Gambar 5. Hubungan antara waktu dengan konduktifitas untuk tiga variasi aditif pada temperatur 25°C

Dari gambar 5 terlihat bahwa grafik yang terjadi pada percobaan dengan temperatur 25°C dengan aditif dan tanpa aditif mempunyai bentuk yang sama. Untuk pengaruh aditif terhadap waktu induksi dapat diketahui dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi dengan waktu induksi seperti terlihat pada gambar 6.

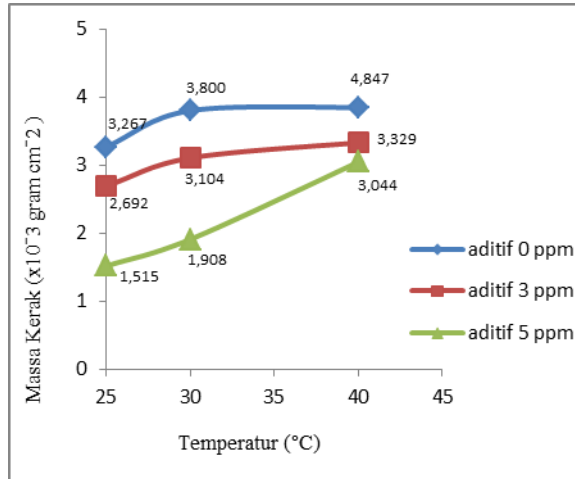


Gambar 6 Hubungan antara konsentrasi aditif dengan waktu induksi

Dari gambar 6, terlihat bahwa pada percobaan pada temperatur 25°C, pada percobaan tanpa aditif waktu induksinya adalah 24 menit, waktu induksi untuk percobaan dengan aditif 3 ppm adalah 32 menit dan pada percobaan dengan aditif 5 ppm waktu induksi adalah 40 menit. Waktu induksi untuk setiap kali percobaan tidak sama, bila aditif ditambahkan dengan konsentrasi yang berbeda maka waktu induksinya akan berubah. Dari ketiga grafik tersebut semuanya menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi aditif (0 ppm – 5 ppm) semakin lama waktu induksinya.

3.5 Pengaruh Temperatur terhadap Massa Kerak

Dari percobaan dengan temperatur 25°C, 30°C dan 40°C dan penambahan aditif 0 ppm (tanpa aditif), 3 ppm dan 5 ppm, dapat dibuat grafik hubungan antara temperatur dengan massa kerak seperti gambar 4.6



Gambar 7 Hubungan antara temperatur dengan massa kerak

Pada gambar 7 terlihat bahwa grafik yang terjadi pada percobaan dengan aditif 0 ppm (tanpa aditif), aditif 3 ppm dan aditif 5 ppm, dari ketiga grafik tersebut menunjukkan bahwa apabila semakin tinggi temperatur (25°C-40°C) massa kerak juga bertambah.

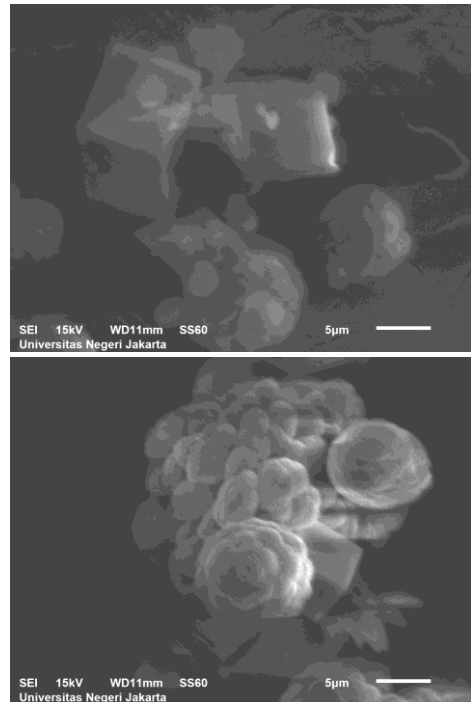
Pada percobaan tanpa aditif, kenaikan temperatur dari 25°C hingga 40°C menaikkan massa kerak, dengan demikian dapat ditarik kesimpulan bahwa temperatur mempunyai pengaruh yang sangat kuat terhadap massa kerak, makin tinggi temperatur massa kerak yang terbentuk semakin banyak.

3.6 Morfologi Kerak

Kajian morfologi dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi apakah kristal hasil percobaan benar-benar kristal kalsium karbonat. Untuk mengetahui bentuk kristal digunakan alat Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan pembesaran tertentu sehingga dapat diidentifikasi apakah kristal yang terjadi benar-benar kristal kalsium karbonat. Hasil dari Scanning Electron

Microscopy (SEM) dari kristal hasil percobaan ditunjukkan pada gambar 8 dan 9.

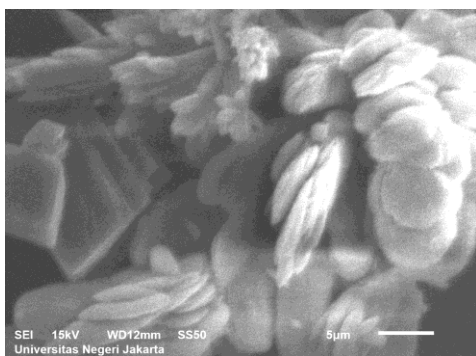
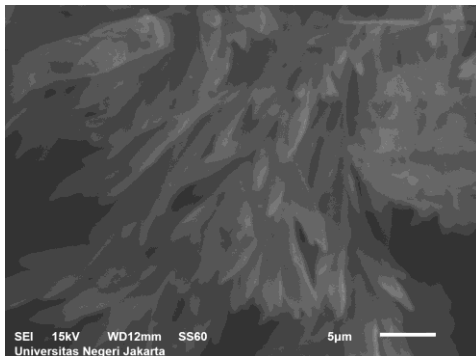
Kerak CaCO_3 sendiri memiliki tiga bentuk yang berbeda yang akan menentukan jenis kerak yang kemudian dibentuknya, ketiga jenis CaCO_3 kristal yaitu kalsit, aragonit dan veterit. Dari gambar hasil SEM diketahui bahwa bentuk kristal hasil percobaan pada gambar 4.8 dan 4.9 adalah ciri dari bentuk kristal kalsium karbonat. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Qingfeng, dkk, 2010).



Gambar 8 Hasil SEM kristal kalsium karbonat hasil percobaan temperatur 25°C, konsentrasi Ca^{2+} 3500 ppm tanpa aditif, pembesaran 3000x dan pembesaran 3000x, dengan aditif 5 ppm,

Gambar 8 menunjukkan hasil uji SEM partikel CaCO_3 pada temperatur 25°C dengan tanpa aditif (0 ppm) dan aditif 5 ppm dengan

pembesaran 3000 kali. Gambar 8 (a) dengan pembesaran 3000x, merupakan hasil uji partikel pada percobaan dengan temperatur 25°C tanpa aditif. Pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis kristal yang terbentuk adalah kalsit dan vaterit. Pada gambar 8 (b) dengan pembesaran 3000x merupakan hasil uji partikel dengan aditif 5 ppm, pada gambar (b) menunjukkan bahwa terjadi perubahan pada bentuk kristal CaCO_3 , pada perbesaran 3000x, terlihat bentuk kristal vaterit yaitu menyerupai bunga (*flower-like*), dan terdapat juga bentuk kalsit, namun kristal vaterit merupakan yang paling banyak terbentuk.



Gambar 9 Hasil SEM Kristal kalsium karbonat hasil percobaan temperatur 40°C, konsentrasi Ca^{2+} 3500 ppm tanpa aditif, pembesaran 3000x, dan dengan aditif 5 ppm pembesaran 3000x

Gambar 9 menunjukkan hasil uji SEM partikel CaCO_3 pada percobaan temperatur 40°C dengan 3000 kali. Gambar 9 (a) merupakan hasil uji pada temperatur 40°C tanpa aditif. Pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis kristal yang terbentuk berupa kumpulan jarum yaitu jenis aragonite. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa temperatur juga dapat merubah bentuk dari kristal CaCO_3 . Sedangkan pada gambar 9 (b) dengan aditif 5 ppm, menunjukkan bahwa kristal mengalami perubahan dimana pada perbesaran 3000 kali terlihat bahwa terjadi perubahan pada bentuk kristal.

4.1 Kesimpulan

Temperatur mempunyai pengaruh yang kuat terhadap waktu induksi, yaitu bila temperatur naik maka waktu induksinya akan turun, artinya kenaikan temperatur akan mempercepat terbentuknya inti kristal.

Aditif Asam Malat ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$) mampu memperpanjang waktu induksi, yang berarti mampu menghambat terbentuknya inti kristal. Bila aditif ditambahkan semakin banyak maka waktu induksinya juga semakin lama, artinya proses pembentukan inti kristal menjadi lebih lambat.

4.2 Saran

Seting alat eksperimen pertumbuhan kerak untuk aliran agar mendapatkan nilai laju aliran yang akurat serta tidak terlalu rumit dalam penyetingan untuk itu perlu penyempurnaan alat.

Komponen alat seperti keran untuk aliran larutan harus sering diganti karena jika dipakai selama lima kali penelitian didalamnya terdapat endapan

Untuk melakukan pencegahan terhadap pertumbuhan kerak kalsium karbonat bisa dilakukan dengan menambahkan aditif asam malat ke dalam larutan.

Qingfeng Yang, Yangqiao Liu, Anzhong Gu, Jie Ding, Ziqiu Shen, (2002), *Investigation of induction period and morphology of CaCO₃ fouling on heated surface*, Chemical Engineering Science, 57 pp; 921-931

Daftar Pustaka

Bhatia, A, 2003, *Cooling Water Problems and Solutions*, Continuing Education and Development, Inc. 9 Greyridge Farm Court Stony Point, NY 10980. Course no: M05-009

Asnawati, 2001, *Pengaruh temperatur terhadap reaksi fosfonat dalam inhibitor kerak*

pada sumur minyak. Jurnal ILMU DASAR, vol.2 no.1.

F. Grases, J. Perelló, B. Isern and A. Costa-Bauzá, 2007, *Myo-inositol hexakisphosphate (phytate) inhibits calcium carbonate crystallisation in hard water*. Water SA vol. 33 no. 5 October 2007

Kozic V. and Lipus L.C, (2003), *Magnetic water treatment for a less tenacious scale*. Journal Chem. Inf. Comput. Sci., 43, 1815-1819

Zhaofeng Mao, Jianhua Huang, 2007, *Habit modification of calcium carbonate in the presence of malic acid*, Chem., 180, 453-460

S. Muryanto, A.P. Bayuseno, W. Sediono, W. Mangestiyono, Sutrisno, (2012), *Development of a versatile laboratory project for scale formation and control*, Chemical Engineers.

C. Y. Tai, W. C. Chien, (2003), *Interpreting the effect of operating variables on the induction period of CaCl₂-NaCO₃ system by a cluster coagulation model*. Chem. Eng. Science 58, 3233-324