

# PENANGANAN KERAK PADA HANDLING EQUIPMENT MACHINE

Rizki Novianto<sup>1</sup>

## ABSTRAK

Pengerakan Ferro karbonat tidak hanya fenomena kristalisasi yang terbentuk dalam proses alami (*biomineralization*), tetapi merupakan masalah yang sering ditemui dalam berbagai alat berat seperti bulldozer (Alice et al., 2011). Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti besi dan karbonat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada peralatan berat. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti pada pipa pipa hidrolis alat berat. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti alkalin, magnesium, kalsium, klorid, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti *cooling tower, heat exchangers, pipe, casing manifold, tank* dan peralatan industri lainnya

**Kata Kunci:** *Ferro karbonat*, Kerak, Ferro Karbonat, Handling Equipment

## PENDAHULUAN

Pengerakan Ferro karbonat tidak hanya fenomena kristalisasi yang terbentuk dalam proses alami (*biomineralization*), tetapi merupakan masalah yang sering ditemui dalam berbagai alat berat seperti bulldozer (Alice et dkk., 2011). Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti besi dan karbonat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada peralatan berat. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti pada pipa pipa hidrolis alat berat. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Hisyam,dkk, 2013).

Ferro karbonat ( $\text{FeCO}_3$ ) merupakan kerak yang terbentuk dalam proses alami dan menjadi masalah yang sering ditemui dalam pipa hidrolis pada alat berat (Akhyari ,dkk., 2012). Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak

---

<sup>1</sup> Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

seperti alkalin, magnesium, kalsium, klorid, sulfat dalam jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan. Kerak biasanya mengendap dan tumbuh pada peralatan industri seperti *cooling tower, heat exchangers, pipe, casing manifold, tank* dan peralatan industri lainnya (Alice dkk., 2011; Holyz ,dkk., 2004). (Isopecus ,dkk., 2010; Hisyam, 2013; Gourdon , dkk., 2011).

Potensi kerak yang disebabkan oleh kerak besi (II) karbonat dimiliki hampir semua jenis alat berat seperti *bulldozer, backhoe, loader* dan beberapa alat berat yang lain. Besi (II) karbonat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan pipa hidrolis. Sejauh ini  $\text{FeCO}_3$  merupakan penyebab kerak pada beberapa sistem seperti pipa hidrolis alat berat (Tzotzi ,dkk., 2007; Amor dkk., 2004). Penyebab terjadi kerak di dalam pipa hidrolis akan mengurangi diameter serta menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut, sehingga menimbulkan masalah terhambatnya aliran fluida. Terganggunya aliran fluida tersebut menyebabkan tekanan semakin tinggi, sehingga pipa mengalami kerusakan (Basim ,dkk., 2012).

Metode mengatasi pembentukan kerak di industri minyak dan gas biasanya dengan menerapkan bahan kimia yang dikenal sebagai *inhibitor* untuk mengontrol pertumbuhan kristalisasi  $\text{FeCO}_3$  dengan tujuan, mengurangi, mencegah atau menunda, pembentukan kerak  $\text{FeCO}_3$  (Alimi ,dkk., 2007; Azimi and Papangelakis, 2010; Rabizadeh,dkk., 2014). Inhibitor biasanya diinjeksikan kedalam larutan yang secara kontinyu maupun periodik metode ini mampu mengendalikan proses *nucleation*, pertumbuhan kristal  $\text{FeCO}_3$  yang terjadi pada permukaan pipa dan peralatan lainnya (Sediono, dkk., 2011; Ratna, 2011).

Kerak juga dapat dicegah menggunakan aditif asam tartrat sebagai *inhibitor* untuk mengontrol *impurity* senyawa organik serta komposisi morfologi dan fase kristal  $\text{FeCO}_3$  dan mencegah proses *nucleation*, pertumbuhan kristal  $\text{FeCO}_3$  (Muryanto .,dkk, 2014; Siswoyo dan Erna., 2005; Mullin, 2004). Hal-hal inilah yang mendasari untuk dilakukan suatu penelitian lebih lanjut mengenai inhibitor yang lebih efektif yaitu dengan inhibitor asam tartrat .

Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan asam tartrat sebagai *inhibitor* diharapkan mampu menghambat laju pertumbuhan kerak magnesium karbonat yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri. Penelitian ini juga mempelajari mengetahui perubahan fasa morfologi kristal dan pertumbuhan massa kerak.

## METODOLOGI

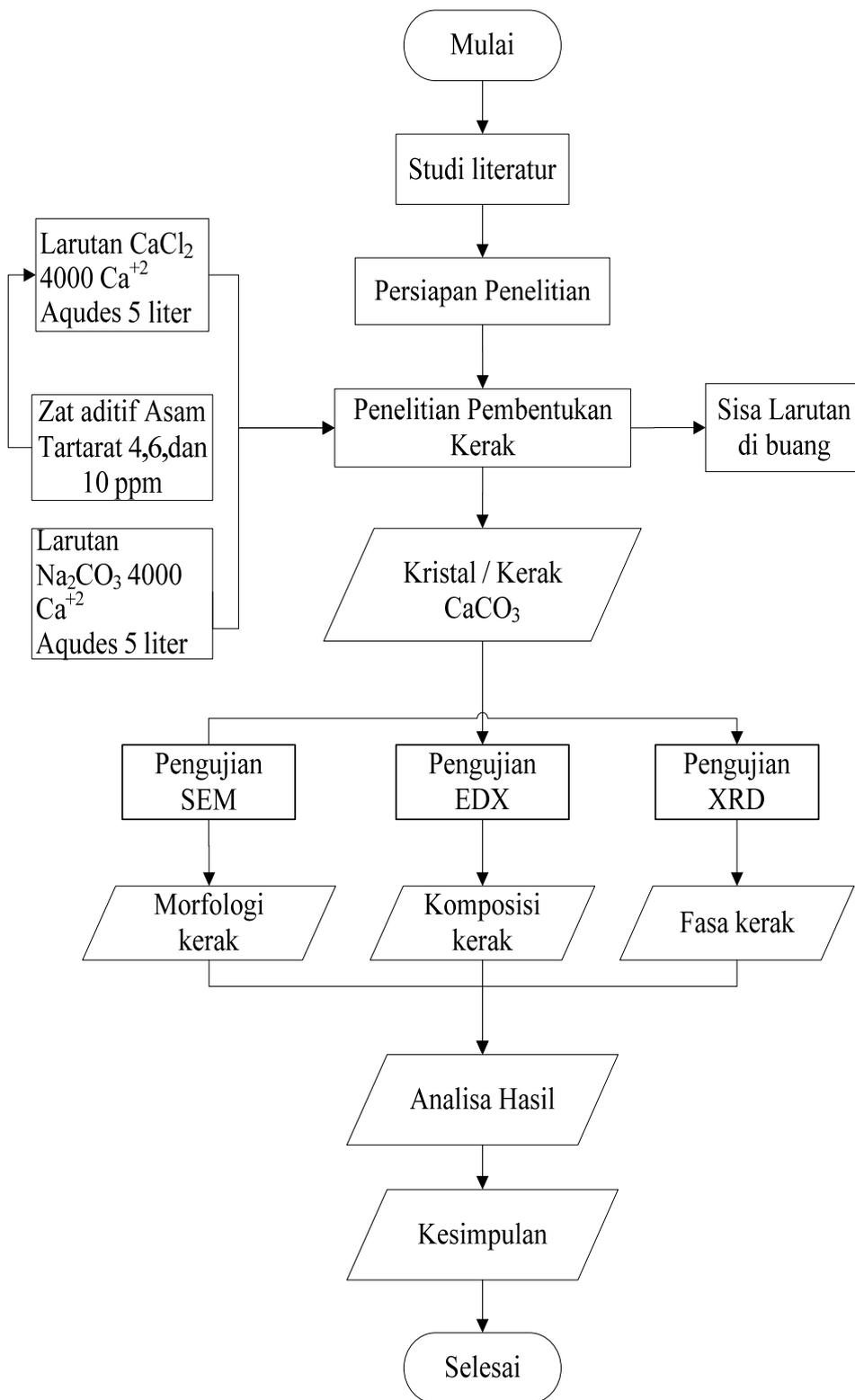
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dengan konsentrasi 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (*Natrium Carboant*) grade : analitik
- Larutan  $\text{FeCl}_2$  dengan konsentrasi 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal  $\text{FeCl}_2$  (*Calcium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Asam tartrat  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$  dengan konsentrasi 5 ppm, dengan melarutkan kristal asam tartrat grade analitik.
- Aquades

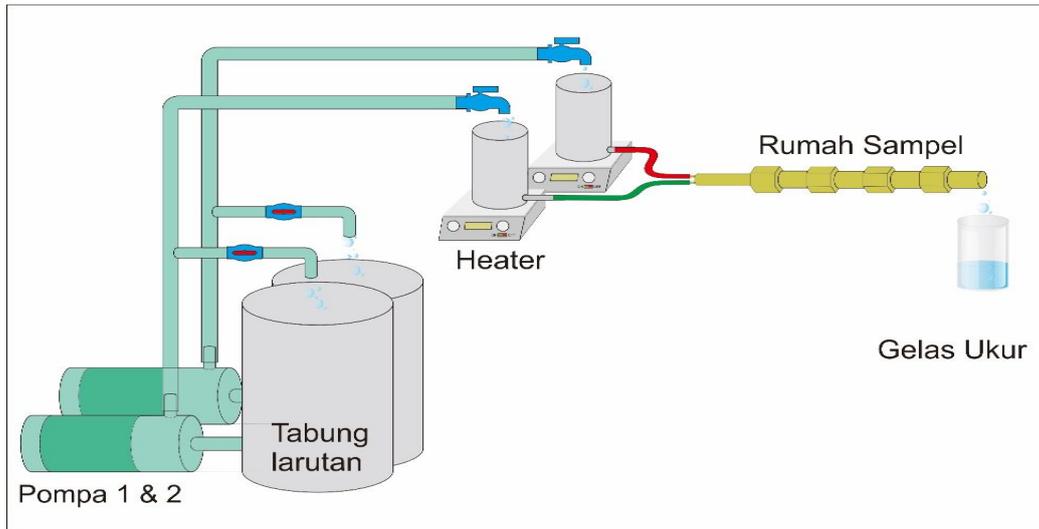
### Alat Eksperimen Pembentukan kerak

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat yang di rancang sendiri oleh peneliti terdahulu. Alat tersebut terdiri dari empat buah bejana yaitu dua bejana dibawah (1,2) dengan kapasitas 6 liter dan dua bejana diatas ( 3, 4) dengan kapasitas 0,8 liter. Kegunaan bejana tersebut adalah untuk menampung larutan  $\text{FeCl}_2$  pada bejana 1 dan 3 dan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan  $\text{FeCl}_2$  dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dari bejana 2 ke bejana 4. Permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 dijaga agar keduanya mempunyai ketinggian yang sama dan dapat diatur naik atau turun guna mendapatkan perbedaan ketinggian permukaan dengan pengeluaran akhir dari rumah kupon sehingga dapat digunakan untuk mengatur laju aliran.

Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak  $\text{FeCO}_3$ . Penambahan asam tartrat dilakukan ketika larutan  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bertemu di dalam pipa.



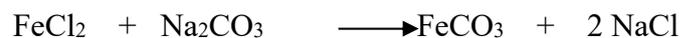
**Gambar 1** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 2** Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan kerak  $\text{FeCO}_3$  pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan  $\text{CaCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dibawah ini



Untuk membuat larutan  $\text{FeCl}_2$  dengan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 3000 ppm dengan laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 3000 ppm  $\text{Fe}^{2+}$ .

Cara perhitungan kebutuhan zat dan larutan untuk percobaan dengan laju alir 30 ml/menit.

- Waktu percobaan = 1 jam
- Laju alir larutan = 30 ml/menit
- Volume larutan yang dibutuhkan (4x60x 25ml) = 6000 ml
- Volume larutan  $\text{FeCl}_2$  3000 ppm  $\text{Fe}^{2+}$  = 3000 ml
- Volume larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  3000 ppm  $\text{Fe}^{2+}$  = 3000 ml
- Volume larutan asam sitrat = 1000 ml

Setiap percobaan ada sisa larutan masing - masing ditabung atas sebanyak 800 ml maka untuk memudahkan pembuatan larutan, kedua jenis larutan tersebut masing-masing disiapkan sebanyak 4000 ml sehingga jumlah larutan yang dibutuhkan adalah :

Volume larutan FeCl<sub>2</sub> yang disiapkan = 4000 ml  
 Volume larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang disiapkan = 4000 ml  
 Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal FeCl<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.  
 Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit  
 Berat molekul (BM) FeCl<sub>2</sub> = 116 g/mol  
 Berat Atom (BA) Fe = 56  
 Berat molekul (BM) Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> = 55,99 g/mol  
 3000 ppm Fe<sup>2+</sup> = 3000 Fe/ liter  
 Untuk volume 4000 ml atau 4 liter, kebutuhan Fe<sup>2+</sup> adalah  
 3000 Fe/litert x 4 lt = 12.000 Fe = 12 gram  
 Sehingga FeCl<sub>2</sub> yang dibutuhkan adalah  
 (116/ 56 ) x 12 gram = **24.86 gram**  
 Mol FeCl<sub>2</sub> : 24.86 / 116 = 0,2 mol  
 Karena equimolar maka kristal Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang dibutuhkan adalah  
 0,2 x 55,99 = **11.198 gram**  
 Pembuatan larutan asam tartrat  
 Asam tartrat 5 ppm = 5 mg dalam 1 liter

Dari hasil perhitungan seluruhnya dapat dimasukkan dalam tabel sehingga mudah untuk dijadikan pedoman pada saat pembuatan larutan. Setelah semua perhitungan yang diperlukan untuk pembuatan larutan selesai maka dilanjutkan untuk persiapan pembuatan larutan tersebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal FeCl<sub>2</sub>, kristal Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, kristal asam sitrat, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring.

Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal FeCl<sub>2</sub> dan kristal Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal FeCl<sub>2</sub> kedalam bejana kemudian diaduk dan dilanjutkan lagi dengan memasukkan *aquades* kedalam bejana hingga volumenya mencapai lima liter dan diaduk lagi sampai merata. Setelah larutan tercampur merata maka dilakukan penyaringan dengan kertas saring 0,22 µm. Sebelum digunakan larutan disimpan dalam bejana tertutup agar terhindar dari debu. Pembuatan larutan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan FeCl<sub>2</sub>.

Pembentukan Besi (II) karbonat:  $\text{FeCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{FeCO}_3 + 2\text{NaCl}$ . Untuk membuat larutan  $\text{FeCl}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 mL/menit.

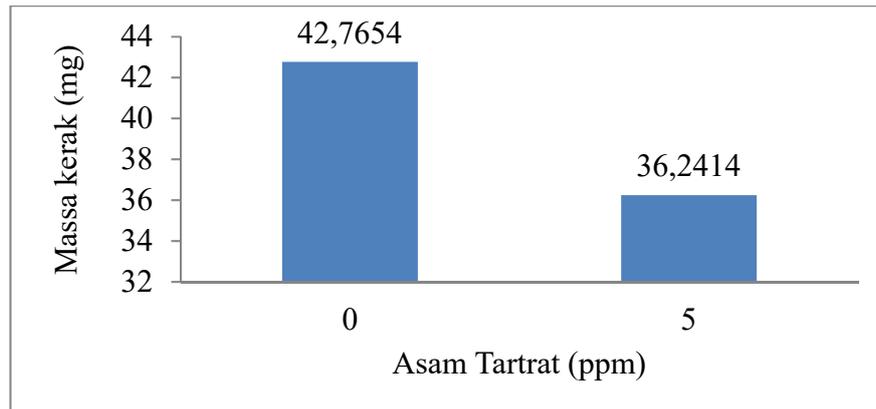
Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan penambahan aditif alumina 5 ppm. Larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  dan  $\text{FeCl}_2$  masing-masing sebanyak empat liter dimasukkan masing-masing ke dalam bejana 1 dan bejana 2. Setelah itu pompa dihidupkan dan larutan naik mengisi sampai batas atas bejana 3 dan bejana 4, kemudian pompa dimatikan. Beberapa saat kemudian pompa dihidupkan kembali dan larutan mulai mengisi kupon, dengan demikian percobaan telah dimulai. Pencatatan waktu pada saat yang sama juga diaktifkan dimana setiap dua menit sekali perlu dilakukan pengukuran terhadap konduktivitas larutan. Untuk melakukan pengukuran konduktivitas larutan, larutan yang keluar dari kupon ditampung pada bejana kecil yang terbuat dari plastik dan sesegera mungkin elektroda conductivitymeter dimasukkan.

Konduktivimeter akan mengukur nilai konduktivitas larutan (pembacaan digital mulai berjalan dari nol kemudian naik sampai akhirnya berhenti). Angka yang terakhir inilah yang dicatat, dan seterusnya dilakukan berulang-ulang setiap dua menit. Setelah empat jam, pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan dikeringkan dalam oven dengan suhu  $60^\circ\text{C}$  selama dua belas jam. Penimbangan massa kerak dilakukan pada waktu kerak masih menempel pada kupon. Selanjutnya selisih massa kupon dengan kerak dikurangi massa kupon tanpa kerak adalah massa kerak itu sendiri.

Asam tartrat ditambahkan dalam proses pembentukan kerak dilakukan dengan tujuan untuk menghambat pertumbuhan kerak. Asam tartrat yang ditambahkan dalam penelitian ini adalah 5 ppm. Asam tartrat dipilih sebagai aditif untuk menghambat pertumbuhan kerak karena asam tartrat merupakan asam lemah yang memiliki daya hambat yang kuat terhadap pembentukan kerak dan ramah lingkungan. Penelitian dilakukan dengan membandingkan tanpa penambahan zat aditif dan penambahan asam tartrat 5 ppm. Pengaruh penambahan asam tartrat terhadap massa kerak  $\text{FeCO}_3$  ditunjukkan pada **Gambar 3**.

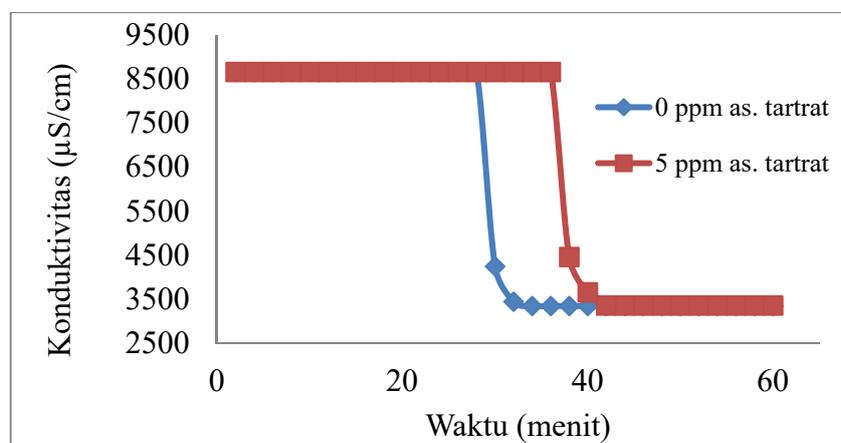
Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa  $\text{FeCO}_3$  untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan

menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion besi telah bereaksi dengan ion karbonat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk penambahan asam tartrat 5 ppm dan tanpa penambahan masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda dengan waktu penelitian pada penambahan ion asam tartrat 5 ppm dan tanpa penambah dengan konsentrasi larutan  $\text{Fe}^{2+}$  3000 ppm.



**Gambar 3** .Grafik pengaruh asam tartrat 5 ppm terhadap massa kerak  $\text{FeCO}_3$

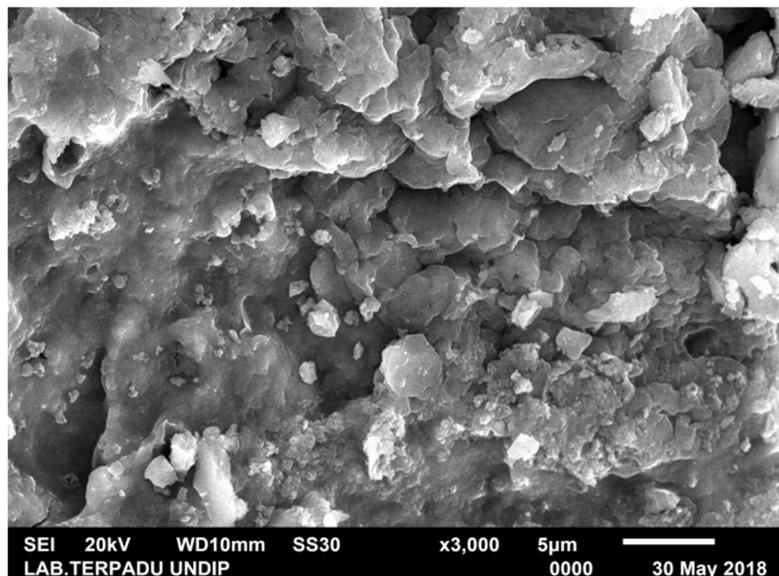
Waktu induksi untuk tanpa penambahan adalah 28 menit dengan nilai konduktivitas  $8660 \mu\text{S/cm}$  sedangkan penambahan asam tartrat 5 ppm memiliki waktu induksi 36 menit dengan nilai konduktivitas sebesar  $8660 \mu\text{S/cm}$ . Waktu tersebut merupakan waktu induksi dikarenakan ion larutan mulai bereaksi untuk membentuk inti kristal. Berdasarkan gambar tersebut asam tartrat 5 ppm mampu meningkatkan waktu induksi sebesar 22.2% dari waktu induksi tanpa penambahan aditif.



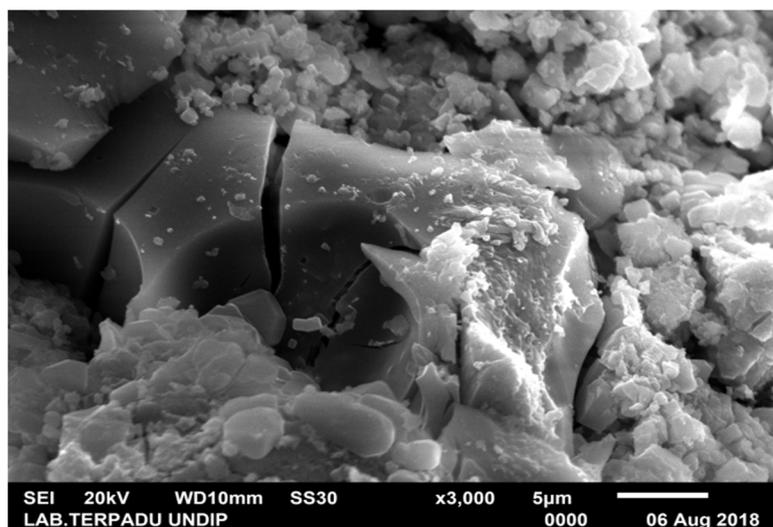
**Gambar 4** . Pengaruh Asam Tartrat 5 ppm terhadap Massa Kerak  $\text{FeCO}_3$

## Pengujian SEM

Pengujian morphology bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal untuk membuktikan bahwa ada perubahan morphology kerak akibat penambahan asam tartrat 5 ppm. Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal.



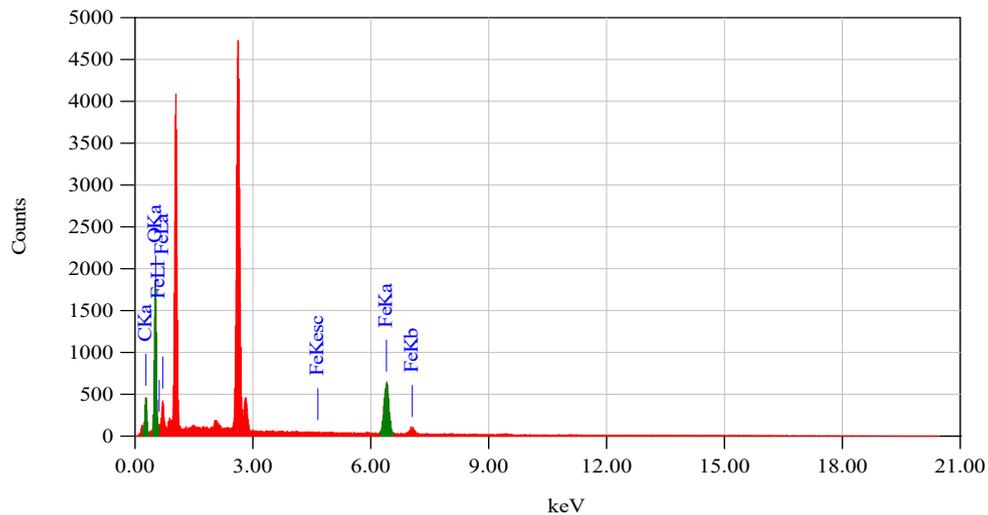
**Gambar 5** Morfologi Kerak Magnesium Karbonat Hasil Percobaan Tanpa Penamban Zat Aditif



**Gambar 6** .Morfologi Kerak Magnesium Karbonat Hasil Percobaan Dengan Penambahan Aditif Asam Tartrat 5 Ppm



Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada penambahan asam tartrat 5 ppm dengan laju alir 30 mL/menit dan konsentrasi larutan 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Gambar Hasil Analisis EDS FeCO<sub>3</sub> dengan asam tartrat 5 ppm

**Tabel 2.** Hasil analisa mikro kristal FeCO<sub>3</sub> +asam tartrat 5 ppm

Element	Wt %
C K	49.68
O K	11.21
Fe K	39.12

Hasil analisa mikro meliputi komposisi atom pembentuk kristal yang dinyatakan dalam presentase atom. Presentase diatas bila dibandingkan dengan hitungan secara teoritis ternyata mempunyai perbedaan.

Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Fe pada FeCO<sub>3</sub> seharusnya adalah  $56/100 \times 100\% = 56\%$  sedangkan hasil analisa mikro dengan kandungan Fe tanpa penambahan = 64.75% sedangkan pada penambahan asam tartrat 5 ppm adalah 39.12%. Untuk kadar carbon (C) seharusnya  $12/100 \times 100\% = 12\text{ wt}\%$  sedangkan hasil analisa mikro didapatkan tanpa penambahan = 16.7%

sedangkan pada penambahan asam tartrat 5 ppm = 49.68%. Untuk kadar oksigen seharusnya  $16/100 \times 100\% = 16\%$  sedangkan hasil analisa mikro tanpa penambahan = 18.55% sedangkan pada penambahan asam tartrat 5 ppm = 11.21%.

Perbedaan hasil analisa mikro ini di akibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya konsentrasi larutan dengan penambahan asam tartrat 5 ppm sehingga proporsi  $\text{FeCO}_3$  mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh komposisi kristal.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan zat aditif asam tartrat 5 ppm memiliki pengaruh yang cukup besar menurunkan pembentukan massa kerak  $\text{FeCO}_3$ . Penambahan aditif asam tartrat 5 ppm mampu mengurangi massa kerak  $\text{FeCO}_3$  sebesar 15.5%.
2. Hasil pengujian waktu induksi, Waktu induksi untuk tanpa penambahan adalah 28 menit dengan nilai konduktivitas 8660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  sedangkan penambahan asam tartrat 5 ppm memiliki waktu induksi 36 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8660  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
3. Dari hasil SEM antara tanpa penambahan dan dengan penambahan asam tartrat 5 ppm mengalami perubahan pada morfologi siderit. Untuk analisa EDX dihasilkan analisa komposisi atom Fe, C dan O. Hal tersebut karena aditif mampu menempel pada permukaan kristal  $\text{FeCO}_3$  selama proses pertumbuhan kristal sehingga berdampak pada perubahan morfologi kristal  $\text{FeCO}_3$ .

## DAFTAR PUSTAKA

Basim O. Hasan, Graham J. Nathan, Peter J. Ashman, Richard A. C. 2012. The Effects of temperature and Hydrodynamics on The Crystallization Fouling Under Cross Flow conditions, Journal applied Thermal Engineering. Volume, 36 : 210-218

- Gourdon. 2011. The Effects of Flow Velocity on Crystallization Fouling in Falling Film Black Liquor Evaporators. Proceeding of International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning, 4 : 23-30
- Hisyam, 2013. Pembentukan kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) di dalam pipa beraliran laminar pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif. In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik (Vol. 1, No. 1).
- Holysz, L., Szczes, A., Chibowski, E. (2007). Effects of a static magnetic field on water and electrolyte solutions. Journal of Colloid and Interface Science, 316(2), 996-1002.
- Isopescus, R., Mateescu, C., Mihai, M., Dabija, G. (2010). The effects of organic additives on induction time and characteristics of precipitated calcium carbonate. Chemical Engineering Research and Design, 88, 1450-1454.
- J. Hernandez, A. Muñoz and J. Genesca, 2012. Formation of iron-carbonate scale-layer and corrosion mechanism of API X70 pipeline steel in carbon dioxide-saturated 3% sodium chloride. AfinidAd LXIX, 560
- Lilian R. M. F., Haroldo A. P., Luciana S. S., Ana C. T., 2015. CO<sub>2</sub> Corrosion in the Region Between the Static and Turbulent Flow Regimes. Materials Research. 2015; 18(2): 245-249
- Ma'mun, H., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2013). Pembentukan kerak kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) di dalam pipa beraliran laminar pada laju alir 30 ml/menit hingga 50 ml/menit dan penambahan aditif asam malat. In Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik (Vol. 1, No. 1).
- Mullin J.W. 2004. Crystallization. Butterworth Heinemann : Boston, MA. 280:185-198.
- Muryanto, S., Bayuseno, A. P., Ma'mun, H., Usamah, M. (2014). Calcium carbonate scale formation in pipes: effect of flow rates, temperature, and malic acid as additives on the mass and morphology of the scale. Procedia Chemistry, 9, 69-76.
- Omkar A. Nafday, Srdjan N., 2005. IRON CARBONATE SCALE FORMATION AND CO<sub>2</sub> CORROSION IN THE PRESENCE OF ACETIC ACID. Institute for Corrosion and Multiphase Technology, Ohio University, No. 05295

- Rabizadeh, T., Caroline., Reacock, Liane G. B. 2014. Carboxylic acid : Effective for Calcium Sulfate Precipitation. Mineralogical
- Raharjo S. Muryanto S., J. Jamari, A.P Bayuseno, 2016, 'Modeling and optimization of CaCO<sub>3</sub> precipitated from laminar-flow water in the presence of citric acid at an elevated temperature', *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol 11 (15), pp: 8533-8539.
- Raharjo S., A.P. Bayuseno, , J. Jamarib, M. Muryanto, S., 2016, 'Calcium carbonate scale formation in copper pipes on laminar flow', *Matec web of conferences*, 58, 01029.
- Ratna, P., S. (2011), Studi Penanggulangan Problem Scale Dari Near-Wellbore Hingga Flowline di Lapangan Minyak Limau, Fakultas Teknik UI, Depok.
- Rehan Anthony De Motte, 2016. A Combined Experimental and Modelling Approach to Elucidate FeCO<sub>3</sub> Scale Formation Kinetics. Dissertation. The University of Leeds Institute of Functional Surfaces, iFS School of Mechanical Engineering.
- S. Raharjo, S. Muryanto, J. Jamari and A. P. Bayuseno, 2016, 'Optimization of Calcium Sulfate Precipitated in the Laminar Flow Pipe through Response Surface Modeling of Temperature, Ca<sup>2+</sup> Concentration and Citric acid Additives', *Oriental Journal of Chemistry*, ISSN 0970-020 X, Vol 32 (6), pp: 3145-3154.
- Saeid K., Mokhtar C. I., Bothi R., Hamed M., Seyed S. E., Majid M., 2016. Formation of Nano-Scale FeCO<sub>3</sub> Protective Corrosion Product in Carbon Dioxide-Saturated 3% Sodium Chloride Solution. *Engineering Materials*, ISSN: 1662-9795, Vol. 740, pp 3-8
- Samsudi et al., 2016. Coulding CaCO<sub>3</sub> Scale deposition on the pump system lamunaif art low audition of citive acids. BISTECH, 2016.
- Sediono, W., Bayuseno, A. P., Muryanto, S. (2011). Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Dengan Konsentrasi Ca<sup>2+</sup>: 3500 Ppm Dan Aditif Fe<sup>2+</sup>. *Momentum*, 7(2).
- Siswoyo, Erna, K. (2005), Identifikasi Pembentukan Scale, Jurusan Teknik Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta.

Tzotzi, C., Pahiadaki, T., Yiantsios, S.G., Karabelas, A.J., Andritsos, N. (2007). A study of CaCO<sub>3</sub> skala formation and inhibition in RO and NF membrane processes. *Journal of Membrane Science*, 296(1), pp.171-184.

Winia F., Tor H., Tonje B., Patrick R., 2012. Effect of Precorrosion and Temperature on the Formation Rate of Iron Carbonate Film. Pipeline technology conference.

PENULIS:

**RIZKI NOVIANTO**

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

Email : [Kikyizzy96@gmail.com](mailto:Kikyizzy96@gmail.com)