

JURNAL
PENGENDALIAN KERAK FERRO KARBONAT DENGAN PENAMBAHAN
ASAM TARTRAT PADA SISTEM HIDROLIK ALAT BERAT BACKHOE



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2018

PENGENDALIAN KERAK FERRO KARBONAT DENGAN PENAMBAHAN ASAM TARTRAT PADA SISTEM HIDROLIK ALAT BERAT BACKHOE

Rizki Novianto, Drs. H. Samsudi Raharjo,S.T,MM.M.T dan
Rubijanto JP., S.T. M.T

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Semarang

Email : Kikyizzy96@gmail.com

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 hidrolik alat berat. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu subtansi. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu subtansi. 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 carbonat*, Pengerakan Ferro karbonat

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 hidolik 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 (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 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 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 FeCO_3 dengan tujuan, mengurangi, mencegah atau

menunda, pembentukan kerak 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 FeCO_3 yang terjadi pada permukaan pipa dan peralatan lainnya (Sediono, dkk., 2011; Ratna, 2011).

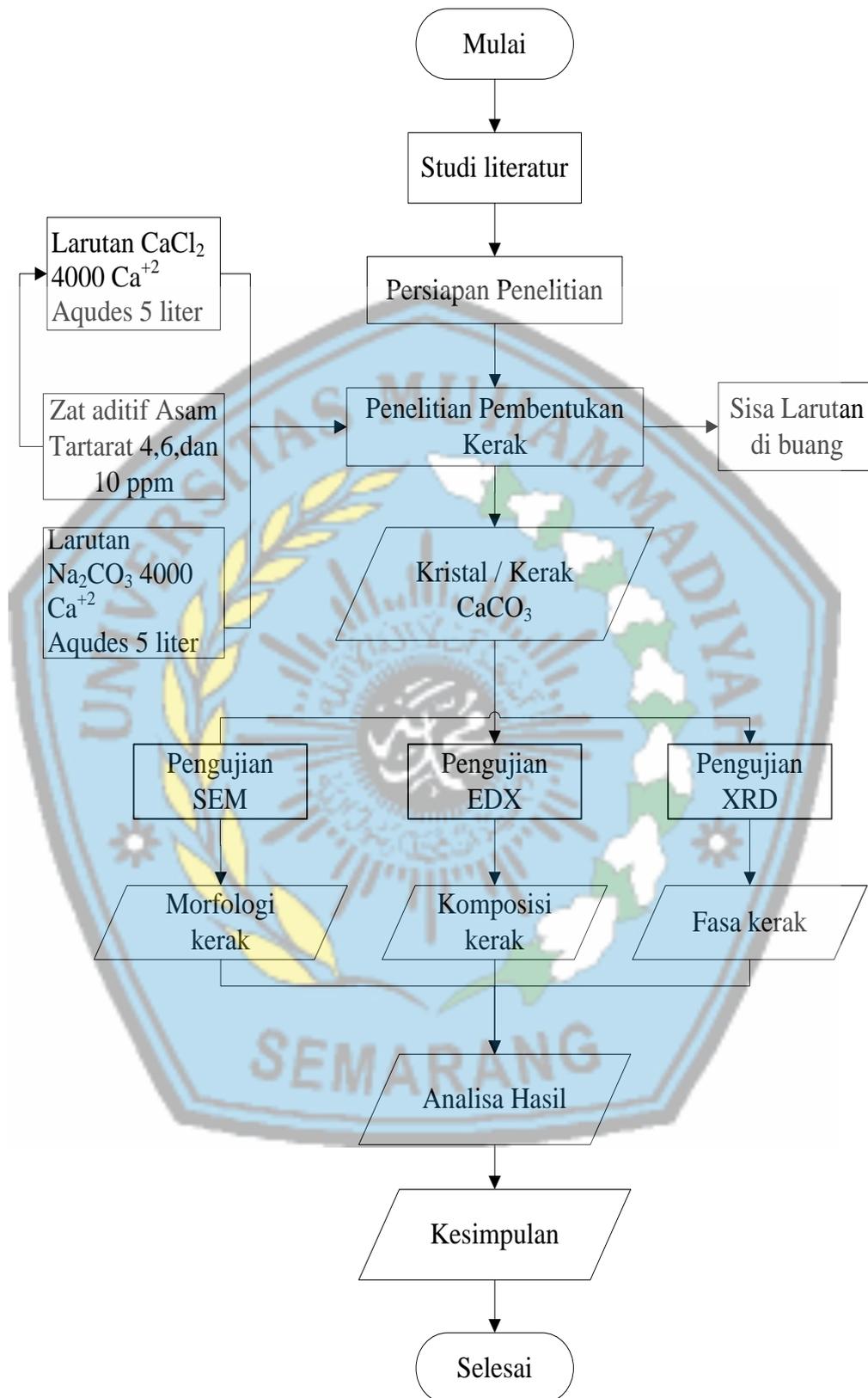
Kerak juga dapat dicegah menggunakan aditif asam tartrat sebagai *inhibitor* untuk mengontrol *impurity* senyawa organik serta komposisi morfologi dan fase kristal FeCO_3 dan mencegah proses *nucleation*, pertumbuhan kristal FeCO_3 (Muryanto .,dkk, 2014; Siswoyo dan Erna., 2005; Mullin, 2004). Hal-hal 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.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_2CO_3 dengan kosentrasi 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_2CO_3 (*Natrium Carboant*) grade : analitik
- Larutan FeCl_2 dengan kosentrasi 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal 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

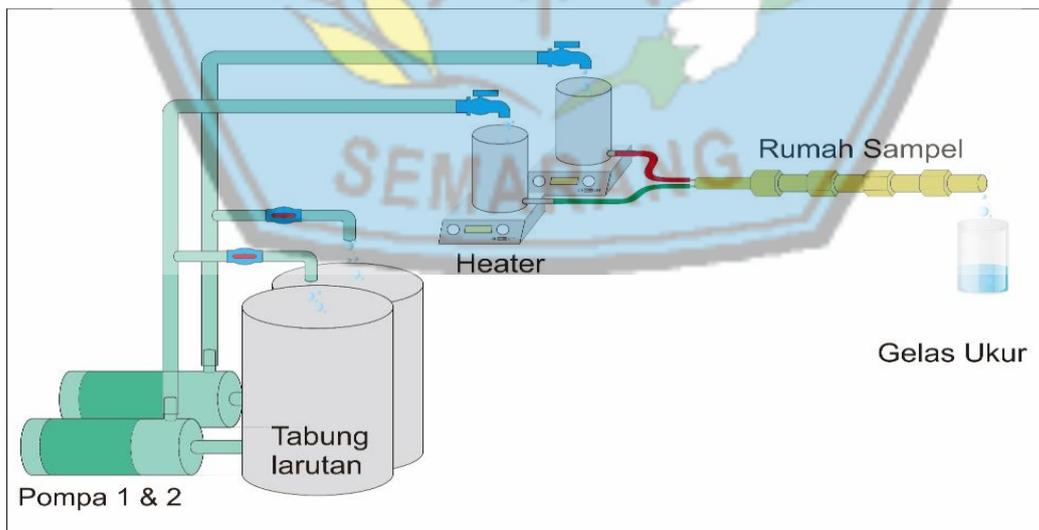


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

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 FeCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_2CO_3 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan FeCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_2CO_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.

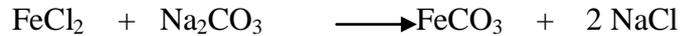
Larutan yang berada didalam bejana 3 dan 4 kemudian secara bersamaan dialirkan menuju kupon, selanjutnya larutan tersebut mengalir dan masuk kedalam bejana penampungan yang kemudian dibuang sebagai limbah. Didalam kupon-kupon larutan FeCl_2 dan Na_2CO_3 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak FeCO_3 . Penambahan asam tartrat dilakukan ketika larutan FeCl_2 dan Na_2CO_3 bertemu di dalam pipa.



Gambar 2 Skema *Closed Circuit Scale Simulator*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan kerak FeCO_3 pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan CaCl_2 dengan Na_2CO_3 dibawah ini



Untuk membuat larutan FeCl_2 dengan Na_2CO_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 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 FeCl_2 3000 ppm Fe^{2+}	= 3000 ml
Volume larutan Na_2CO_3 3000 ppm 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_2 yang disiapkan = 4000 ml

Volume larutan Na_2CO_3 yang disiapkan = 4000 ml

Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal FeCl_2 dan Na_2CO_3 .

Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit

Berat molekul (BM) FeCl_2 = 116 g/mol

Berat Atom (BA) Fe = 56

Berat molekul (BM) Na₂CO₃ = 55,99 g/mol

3000 ppm Fe²⁺ = 3000 Fe/ liter

Untuk volume 4000 ml atau 4 liter, kebutuhan Fe²⁺ adalah

3000 Fe/litert x 4 lt = 12.000 Fe = 12 gram

Sehingga FeCl₂ yang dibutuhkan adalah

(116/ 56) x 12 gram = **24.86 gram**

Mol FeCl₂ : 24.86 / 116 = 0,2 mol

Karena equimolar maka kristal Na₂CO₃ yang dibutuhkan adalah

0,2 x 55,99 = **11.198 gram**

Pembuatan larutan asam tartrat

Asam tartrat 5 ppm = 5 mg dalam 1 liter

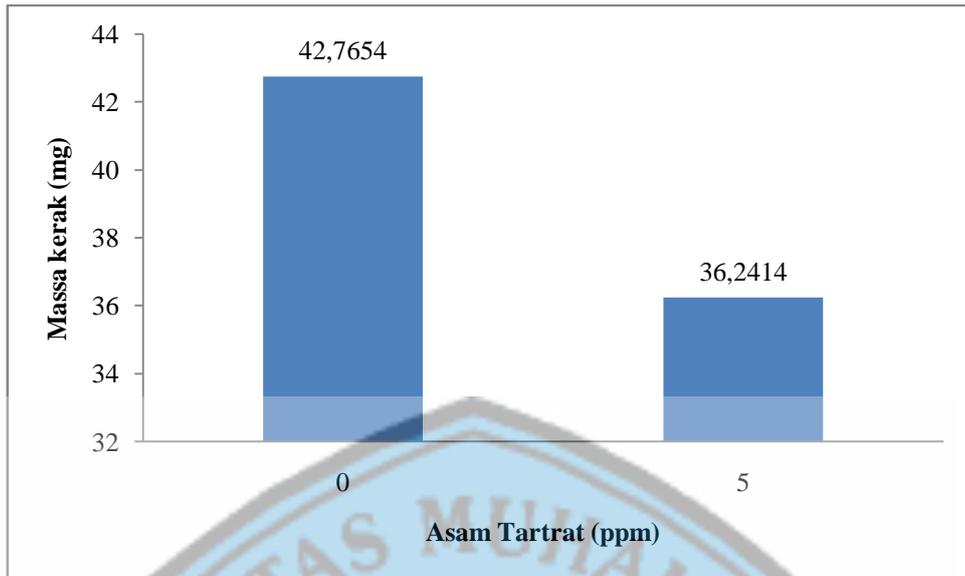
Dari hasil perhitungan seluruhnya dapat dimasukkan dalam tabel sehingga mudah untuk dijadikan pedoman pada saat pembuatan larutan. Setelah semua perhitungan yang diperlukan untuk pembuatan larutan selesai maka dilanjutkan untuk persiapan pembuatan larutan tersebut. Bahan dan peralatan yang diperlukan dalam pembuatan larutan adalah *aquades*, kristal FeCl₂, kristal Na₂CO₃, kristal asam sitrat, timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang kristal FeCl₂ dan kristal Na₂CO₃ sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan kristal FeCl₂. 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 Na₂CO₃ dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan FeCl₂.

Pembentukan Besi (II) karbonat: $\text{FeCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{FeCO}_3 + 2\text{NaCl}$. Untuk membuat larutan FeCl_2 dan Na_2CO_3 , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 mL/menit.

Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan penambahan aditif alumina 5 ppm. Larutan Na_2CO_3 dan 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.

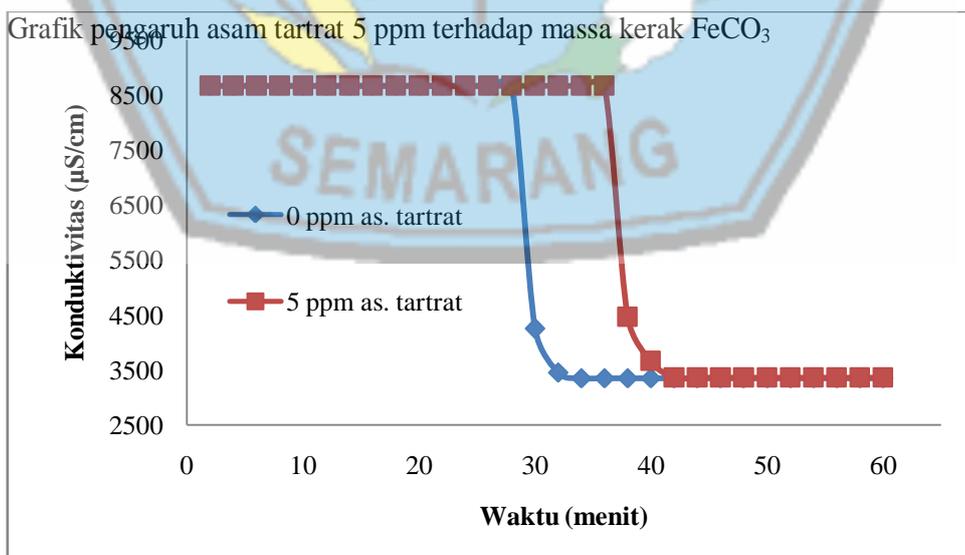
Konduktivimeter akan mengukur nilai konduktivitas larutan (pembacaan digital mulai berjalan dari nol kemudian naik sampai akhirnya berhenti). Angka yang terakhir inilah yang dicatat, dan seterusnya dilakukan berulang-ulang setiap dua menit. Setelah empat jam, pompa dihentikan dan saluran menuju kupon dilepas. Satu jam kemudian kupon diambil dari rumah kupon dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 60°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 FeCO_3 ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3 .Grafik pengaruh asam tartrat 5 ppm terhadap massa kerak FeCO_3

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa 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

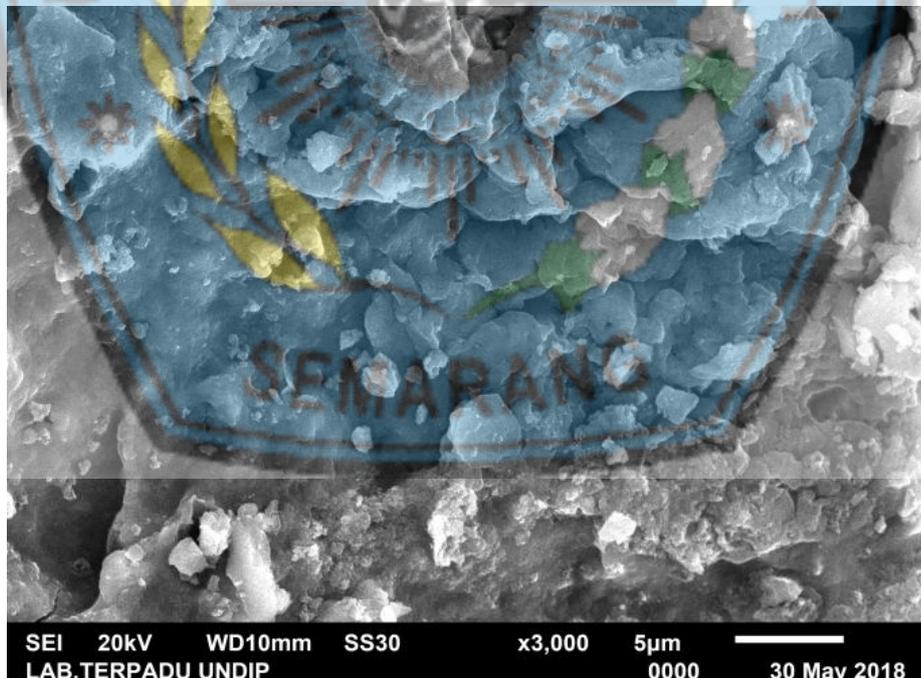


Gambar 4 . Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

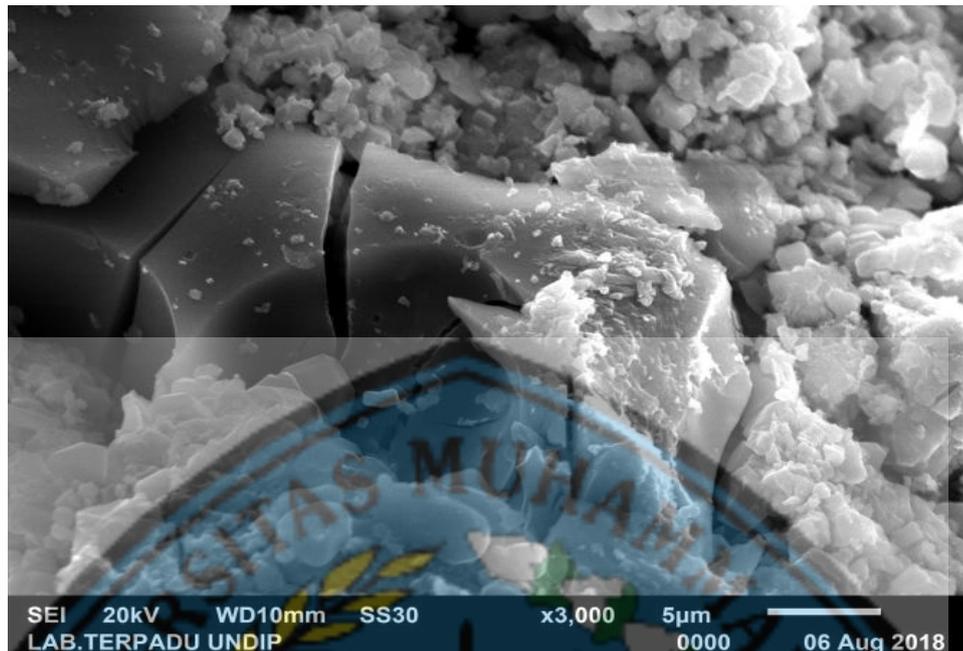
dengan waktu penelitian pada penambahan ion asam tartrat 5 ppm dan tanpa penambah dengan konsentrasi larutan Fe^{2+} 3000 ppm. Waktu induksi untuk tanpa penambahan adalah 28 menit dengan nilai konduktivitas 8660 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan penambahan asam tartrat 5 ppm memiliki waktu induksi 36 menit dengan nilai konduktivitas sebesar 8660 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 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.

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

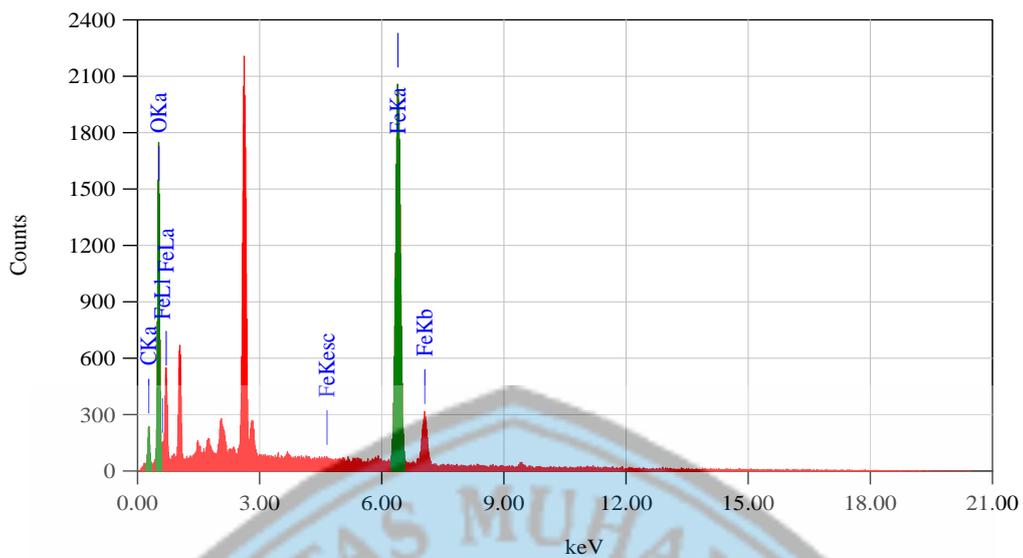


Gambar 6 .Morfologi kerak magnesium karbonat hasil percobaan penambahan aditif asam tartrat 5 ppm

Gambar 5 dan 6. menunjukkan hasil uji SEM (a) tanpa penambahan dan (b) dengan penambahan asam tartrat 5 ppm. Hasil SEM menunjukkan perubahan bentuk kristal dari plate siderit (tanpa penambahan) menjadi bentuk yang menggumpal. Hal ini disebabkan asam tartrat dapat menghambat pembentukan kerak FeCO_3 secara mekanik dan kimiawi. Secara kimiawi, asam tartrat merupakan senyawa asam lemah yang mampu menguraikan kerak FeCO_3 . Selain itu, asam tartrat dapat bereaksi dengan molekul ferro karbonat menjadi molekul lain yang lebih mudah untuk dibersihkan (Holysz et al., 2007).

Pengujian EDS

Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkaikan satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8

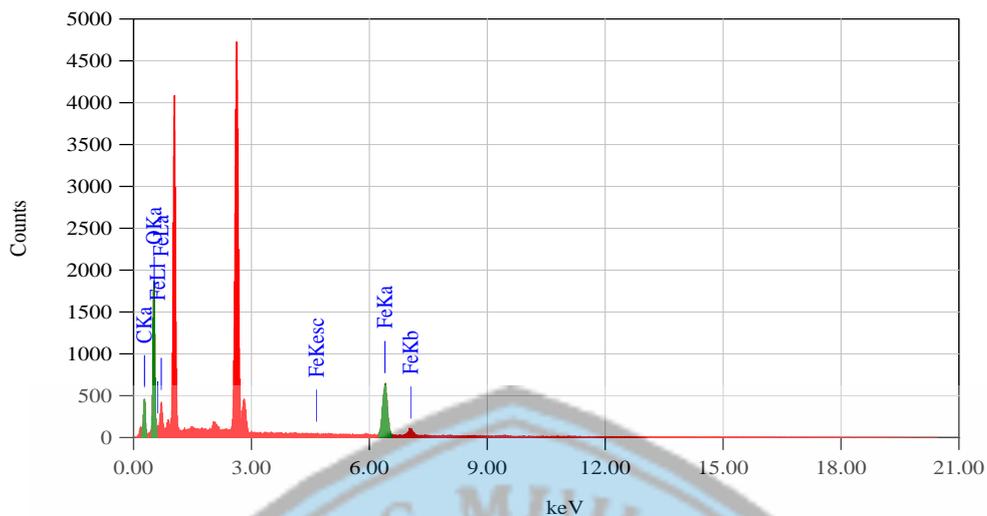


Gambar 7 Hasil Analisis EDS FeCO₃ tanpa penambahan

Tabel 1. Hasil analisa mikro kristal FeCO₃ tanpa penambahan

Element	Wt %
<i>C K</i>	16.7
<i>O K</i>	18.55
<i>Fe K</i>	64.75

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 4.5



Gambar 8. Gambar Hasil Analisis EDS FeCO_3 dengan asam tartrat 5 ppm

Tabel 2. Hasil analisa mikro kristal FeCO_3 +asam tartrat 5 ppm

Element	Wt %
<i>C K</i>	49.68
<i>O K</i>	11.21
<i>Fe K</i>	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_3 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 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 FeCO_3 . Penambahan aditif asam tartrat 5 ppm mampu mengurangi massa kerak 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 FeCO_3 selama proses pertumbuhan kristal sehingga berdampak pada perubahan morfologi kristal 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 (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. CO₂ 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 (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 CO₂ 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 CaCO₃ 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 FeCO₃ 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, Ca²⁺ 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 FeCO₃ 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 CaCO₃ 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 Ca²⁺: 3500 Ppm Dan Aditif Fe²⁺. *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 CaCO₃ 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.