

**EKSPERIMEN PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM (Mg)
PADA PIPA BERALIRAN LAMINER DENGAN PARAMETER
LAJU ALIR 30 ML/MENIT DAN PENAMBAHAN ADITIF
5 PPM ION Cu^{2+}**



JURNAL TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana S-1 pada Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang**

**Disusun oleh:
Vicky Aditya Nugraha**

C2A014009

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2019**

**EKSPERIMEN PEMBENTUKAN KERAK MAGNESIUM (Mg)
PADA PIPA BERALIRAN LAMINER DENGAN PARAMETER LAJU
ALIR 30ML/MENIT DAN PENAMBAHAN ADITIF
5 PPM ION Cu^{2+}**

Vicky Aditya Nugraha
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Semarang

Industri - industri sekarang baik yang berskala besar maupun kecil masih menggunakan pesawat ketel (Boiler) sebagai tenaga pembangkit. Pada boiler memiliki masalah yang kompleks dalam operasionalnya, yang biasa terjadi yaitu suplai air isian ketel yang kurang berkualitas diambil dari sumber mata air sumur, sungai, air laut yang memiliki garam – garam yang akan menjadi kerak dalam proses perpindahan panas dan menghambat proses berjalanya suatu industri. Tujuan diadakanya penelitian ini mengembangkan alat simulator pembentuk kerak, memahami mekanisme pengendalian kerak MgCO_3 dengan penambahan aditif ion Cu^{2+} 5 ppm didalam pipa dan mengkaji morfologi kerak. Hasil yang didapatkan selama pengujian dengan mereaksikan MgCl_2 dan Na_2CO_3 dengan menggunakan larutan Mg^{2+} berkonsentrasi 300 ppm dengan penukaran waktu induksi. Hasil penelitian ini didapatkan waktu induksi tanpa penambahan 24 menit dengan nilai konduktivitas 8522 μS sedangkan dengan penambahan ion Cu^{2+} 5 ppm nilai konduktivitasnya 8636 μS pada lama waktu 30 menit. Dari hasil SEM menunjukan bentuk morfologi kerak MgCO_3 yang semula berbentuk kubus menjadi bentuk yang tidak beraturan dan berukuran lebih kecil.

Kata kunci : Kerak MgCO_3 , ION Cu^{2+} , SEM-EDX, Waktu Induksi, Morfologi Kerak

ABSTRACT

AN EXPERIMENT OF FORMATION MAGNESIUM (Mg) CRUST ON LAMINARY FLOOR PIPES WITH 30ML FLOW PARAMETERS / MINUTES AND ADDITIVE ADDITIONS 5 PPM ION Cu^{2+}

Vicky Aditya Nugraha
Mechanical Engineering Study Programme
University of Muhammadiyah Semarang

Current industries, both large and small are still using boiler as generator power. In boilers having complex problems in their operations, what usually happens is that the air supply quality kettles that are less qualified is taken from well, river, sea air that have salts that will become crust in the heat transfer process and the process that goes on in the industry. The purpose of this research was to develop a crust-forming simulator, to understand the mechanism of MgCO_3 crust control with the addition of Cu^{2+} + 5 ppm ions in the pipe and to assess crustal morphology. The results obtained during the test by reacting MgCl_2 and Na_2CO_3 using a 300 ppm Mg^{2+} + concentrate solution with the exchange of induction time. The results of this study obtained the induction time without the addition of 24 minutes with a conductivity value of 8522 μS whereas with the addition of Cu^{2+} + 5 ppm the conductivity value was 8636 μS for 30 minutes. The SEM results show that the morphological form of MgCO_3 crust which was originally a tomb is an irregular and smaller size.

Keywords: MgCO_3 Crust, ION Cu^{2+} , SEM-EDX, Induction Time , Crust Morphology

PENDAHULUAN

Industri - industri sekarang baik yang berskala besar maupun kecil masih menggunakan pesawat ketel (Boiler) sebagai tenaga pembangkit dan media bantu. Contoh industri tahu, industri rotan, pembangkit listrik masih menggunakan pesawat ketel sebagai media pemanas dan bantu (Rusnoto. 2006). Boiler merupakan pesawat tenaga yang berfungsi mengubah air menjadi uap dengan dipanaskan pada temperatur dan tekanan tertentu, dengan melewati proses pembakaran didalam ruang bakar. Pada boiler memiliki masalah yang komplek dalam operasionalnya, yang biasa terjadi yaitu suplai air isian ketel yang kurang berkualitas diambil dari sumber mata air sumur, sungai, air laut yang memiliki

garam – garam yang akan menjadi kerak dalam proses perpindahan panas (Rusnoto. 2006).

Kerak merupakan senyawa mineral berupa kalsium karbonat, kalsium sulfat, magnesium karbonat dan dalam keadaan tertentu memiliki unsur lain seperti besi serta butiran pasir (Bayu Setya Mandela. 2017). Pengerakan terjadi didalam pipa pemanas pada boiler merupakan masalah yang sangat serius karena dapat mengakibatkan kerugian seperti penyempitan aliran mengakibatkan menurunnya debit dan menambah waktu proses, menambah ketebalan dinding pipa mengakibatkan terhalangnya proses perpindahan panas secara konduksi, terganggunya aliran fluida menyebabkan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa mengalami kerusakan (Sediono, dkk. 2011). Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa pengerakan harus dihambat atau dihilangkan agar proses produksi tidak terganggu dan mengalami kerugian yang cukup besar.

Pembentukan kerak pada dasarnya merupakan fenomena pengkristalan yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya kondisi larutan lewat jenuh, laju alir, temperatur, dan kehadiran pengotor juga adiktif (Muryanto, dkk. 2012).

Bentuk kerak yang paling dikenal adalah kalsium karbonat (CaCO_3). Senyawa lainnya sebagai pembentuk kerak adalah magnesium karbonat (MgCO_3), kalsium sulfat (CaSO_4) dan magnesium klorida (MgCl_2). Model aliran ada dua macam yaitu laminar dan turbulen. Peneliti membatasi masalah untuk meneliti model laminar. Aditif yang digunakan untuk menghambat kerak adalah ion Cu^{2+} . Pemilihan aditif ini berdasarkan bahwa ion Cu^{2+} (tembaga) merupakan jenis ion yang lazim dijumpai sebagai impuritas dalam air terbuka. Kecepatan aliran yang dipilih 30 mL per menit.

TUJUAN PENELITIAN

Untuk mengetahui pembentukan kerak magnesium (Mg) pada pipa dengan parameter laju alir 30 mL/menit dan aditif 5 ppm ion Cu^{2+} .

TINJAUAN PUSTAKA

Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang mengendap serta membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi. Kerak terbentuk karena tercapainya keadaan larutan lewat jenuh, dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal ini akan terlarut kembali jika ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis sementara itu kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis, maka akan mulailah pertumbuhan kristal, dari kristal kecil membentuk kristal dengan ukuran yang lebih besar (penebalan lapisan kerak). Kristal-kristal yang terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Suharso, Buhani. 2012).

Mekanisme pembentukan endapan kerak berhubungan dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} dan Fe^{3+}), maupun anion (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} dan CO_3^{2-}). Kation dan anion yang terlarut dalam air akan membentuk senyawa yang mengakibatkan terjadinya proses kelarutan. Kelarutan sebagai batas suatu zat yang dapat dilarutkan dalam zat pelarut pada kondisi fisik tertentu. Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan waktu kontak antara air dengan media pembentukan (Aghisna Putri Zulullhuda. 2016).

Tabel 2.2. Klasifikasi pengendapan kerak

Jenis	Sifat Utama	Komponen	Reaksi kimia
Hard scale	Umunya berwarna terang, dan apabila terdapat pengotor (minyak atau oksida besi) akan menjadi agak gelap. Hampir tidak larut dalam asam	BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 , dan $2\text{H}_2\text{O}$	$\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ $\text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{SrCl}_2 + \text{CaSO}_4 \rightarrow$ $\text{SrSO}_4 \downarrow + \text{CaCl}_2$
Soft scale	Umunya terang atau agak gelap (jika mengandung		

	pengotor) larutan dalam asam mengandung CO ₂	CaCO ₃ dengan kandungan MgCO ₃ FeCO ₃ SiO ₂ CaSO ₄ 2H ₂ O FeS dan S	$\text{Ca (HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Misc	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H ₂ S berwarna coklat tua sampai hitam	FeS, Fe ₂ O ₃ , H ₂ O, S	$\text{Fe} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS} \downarrow + \text{HFe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{FeS} \downarrow$

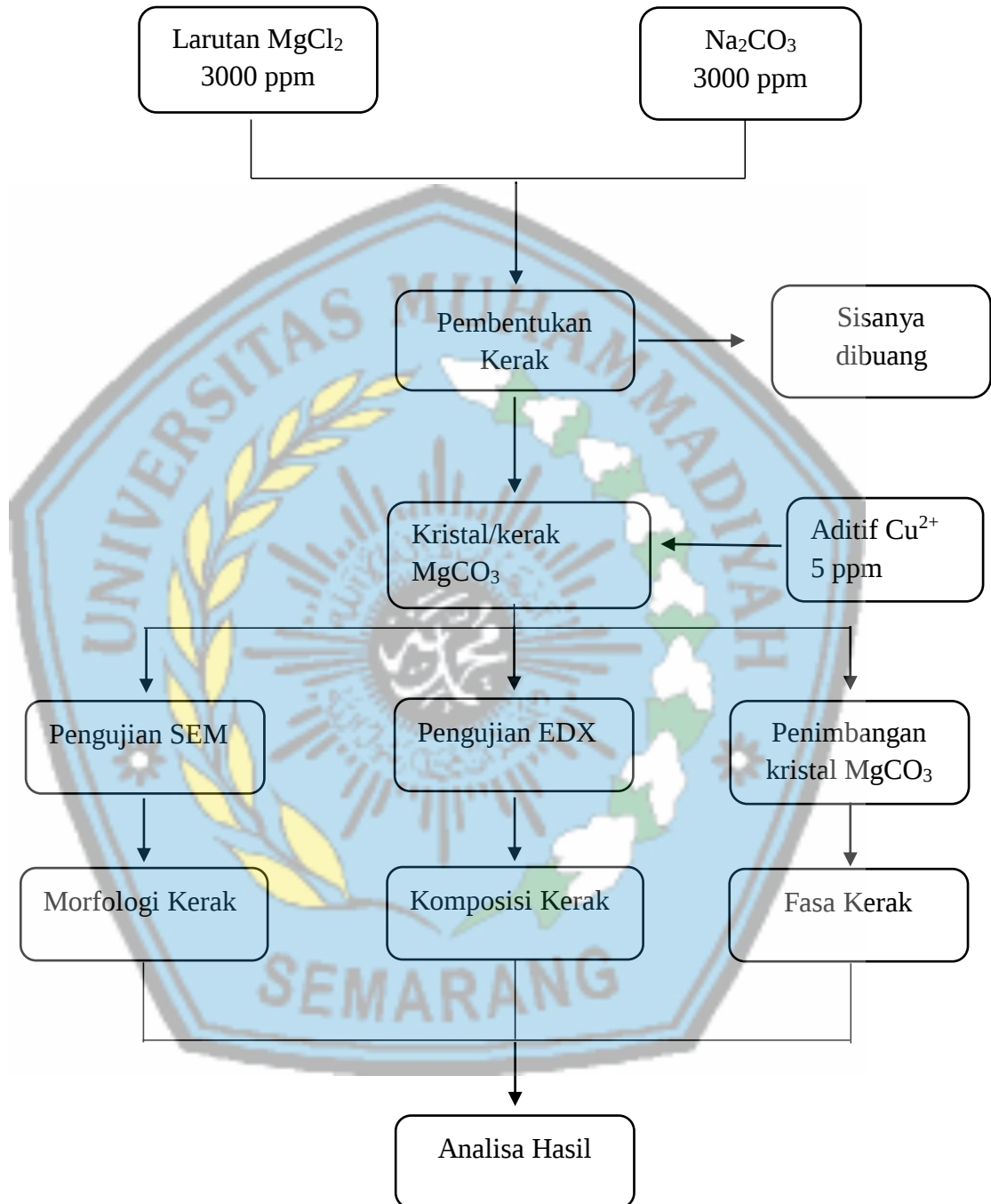
Dari sekian banyak jenis kerak yang dapat terbentuk, hanya sebagian kecil yang seringkali dijumpai pada industri perminyakan. **Tabel 2.3** menunjukkan jenis-jenis kerak yang umum terdapat di lapangan (**Farid Dhanu Panjinugroh, 2016**).

Faktor ataupun kondisi yang mempengaruhi pembentukan kerak magnesium karbonat antara lain adalah perubahan kondisi reservoir (tekanan dan temperatur), alkalinitas air, serta kandungan garam terlarut, dimana kecenderungan terbentuknya kerak kalsium karbonat akan meningkat dengan adanya :

- meningkatnya temperatur
- penurunan tekanan parsial CO₂
- peningkatan pH
- laju alir
- penurunan kandungan gas terlarut secara keseluruhan

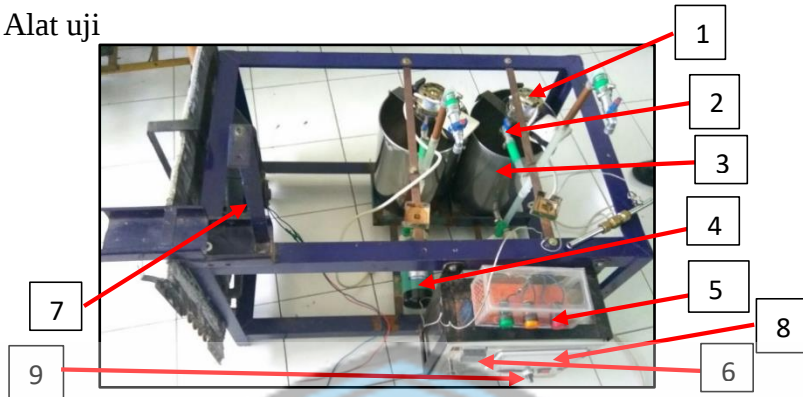
Selain diatas, turbulensi aliran dan lamanya waktu kontak (*contact time*) juga berpengaruh terhadap kecepatan pengendapan dan tingkat kekerasan kristal yang terbentuk (**Antoni dkk, 2011**).

METODE PENELITIAN



Adapun alat dan bahan yang digunakan sebagai berikut

a. Alat uji



Gambar 3.1 Desain prototype Closed Circuit Scale Simulator

Keterangan :

- 1) Bypass
- 2) Kran
- 3) Bak penampung
- 4) Pompa iwaki magnetic
- 5) Lampu Indikator
- 6) Digital Temperature Controller
- 7) Kipas
- 8) Monitor Grafik Panel
- 9) Saklar Pompa

b. Alat Ukur yang digunakan

- 1) Stop Watch
- 2) Timbangan
- 3) Gelas Ukur

c. Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi :

- 1) Larutan MgCl_2 3000 ppm
- 2) Larutan Na_2CO_3 3000 ppm
- 3) Ion Cu^{2+} sebagai aditif dengan Konsentrasi 5 ppm
- 4) Aquades (H_2O)

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 30 ml/menit. Pengujian dilakukan dengan cara *trial and error* sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana terhadap saluran pembuangan limbah atau pengeluaran aliran pada akhir kupon setelah itu dihitung standar deviasinya. Demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir yang stabil 30 ml/menit.

a. Pembuatan Larutan $MgCl_2$, Na_2CO_3

Pembentukan kerak $MgCO_3$ pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan $MgCl_2$ dengan Na_2CO_3 dibawah ini



Untuk membuat larutan $MgCl_2$ dengan Na_2CO_3 pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi kalsium yang direncanakan yaitu 3000 ppm Mg^{2+} dengan laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 3000 ppm Mg^{2+} .

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

- 1) Waktu percobaan = 2 jam
- 2) Laju alir larutan = 30 ml/menit
- 3) Volume larutan yang dibutuhkan ($4 \times 60 \times 25$ ml) = 6000 ml
- 4) Volume larutan $MgCl_2$ 3000 ppm Mg^{2+} = 3000 ml
- 5) Volume larutan Na_2CO_3 3000 ppm Mg^{2+} = 3000 ml
- 6) 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 :
 - 7) Volume larutan $MgCl_2$ yang disiapkan = 4000 ml
 - 8) Volume larutan Na_2CO_3 yang disiapkan = 4000 ml
 - 9) Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal $MgCl_2$ dan Na_2CO_3 .
 - 10) Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit
 - 11) Berat molekul (BM) $MgCl_2$ = 95 g/mol
 - 12) Berat Atom (BA) Mg = 24

- 13) Berat molekul (BM) Na_2CO_3 = 105,99 g/mol
14) 3000 ppm Mg^{2+} = 3000 mg/ liter
15) Untuk volume 4000 ml atau 4 liter, kebutuhan Mg^{2+} adalah
16) $3000 \text{ mg/liter} \times 4 \text{ lt} = 12.000 \text{ mg}$ = 12 gram
17) Sehingga MgCl_2 yang dibutuhkan adalah
18) $(95 / 24) \times 12 \text{ gram}$ = **47,5 gram**
19) Mol MgCl_2 : $47,5 / 95$ = 0,5 mol
20) Karena equimolar maka kristal Na_2CO_3 yang dibutuhkan adalah
21) $0,5 \times 105,99$ = **52,995 gram**

Pengambilan data dilakukan dengan 5 cara antarlain :

- Massa Kerak MgCO_3 untuk mengetahui jumlah kerak yang terbentuk.
- Waktu Induksi untuk mengetahui waktu dimana kerak terbentuk pertama.
- Uji Scanning Electron Microscopy (SEM) mengetahui Morfologi Kerak.
- Uji EDS untuk mengetahui komposisi yang ada didalam kerak Magnesium Karbonat (MgCO_3)
- Uji sinar *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui jenis kerak Magnesium Karbonat (MgCO_3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

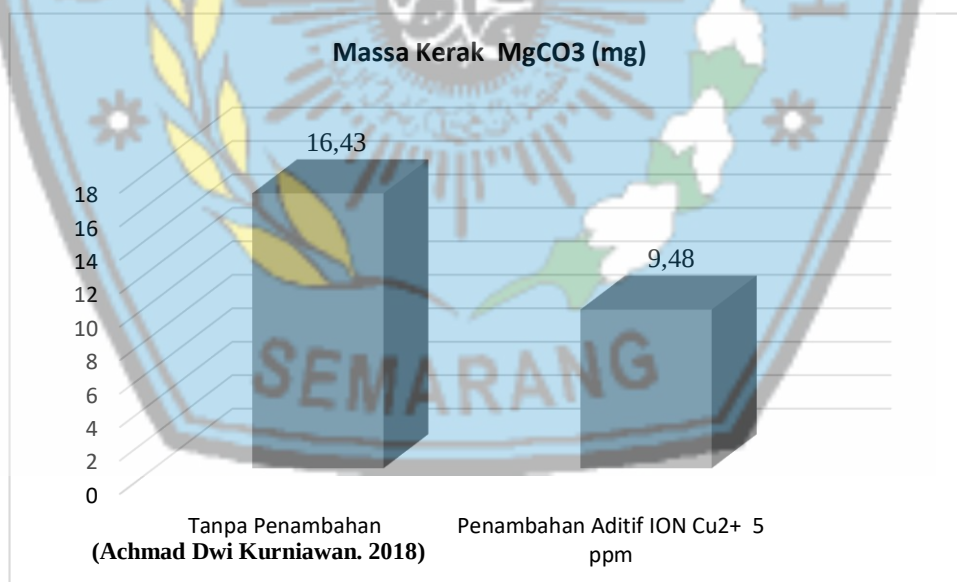
Ion Cu^{2+} ini ditambahkan dalam proses pembentukan kerak dengan tujuan untuk mengurangi pertumbuhan kerak. ION Cu^{2+} yang ditambahkan dalam penelitian ini adalah 5 ppm. ION Cu^{2+} dipilih sebagai aditif untuk menghambat pertumbuhan kerak karena ION Cu^{2+} merupakan zat aditif yang memiliki pengaruh bai dalam menghambat pertumbuhan kerak **Wiji Mangestiyono (2011)**. Kerak MgCO_3 tanpa penambahan dan kerak MgCO_3 dengan penambahan 5 ppm ION Cu^{2+} ditunjukan pada **Gambar 4.1**. Penelitian dilakukan dengan membandingkan penambahan zat aditif ION Cu^{2+} 5 ppm. Pengaruh penambahan ION Cu^{2+} terhadap massa kerak magnesium karbonat ditunjukan pada **Gambar 4.2**.



(a) Kerak MgCO_3 Tanpa penambahan (b) Kerak MgCO_3 dengan penambahan aditif ION Cu^{2+} 5 ppm

Gambar 4.1 Kerak MgCO_3 tanpa dan dengan penambahan aditif ION Cu^{2+} 5 ppm

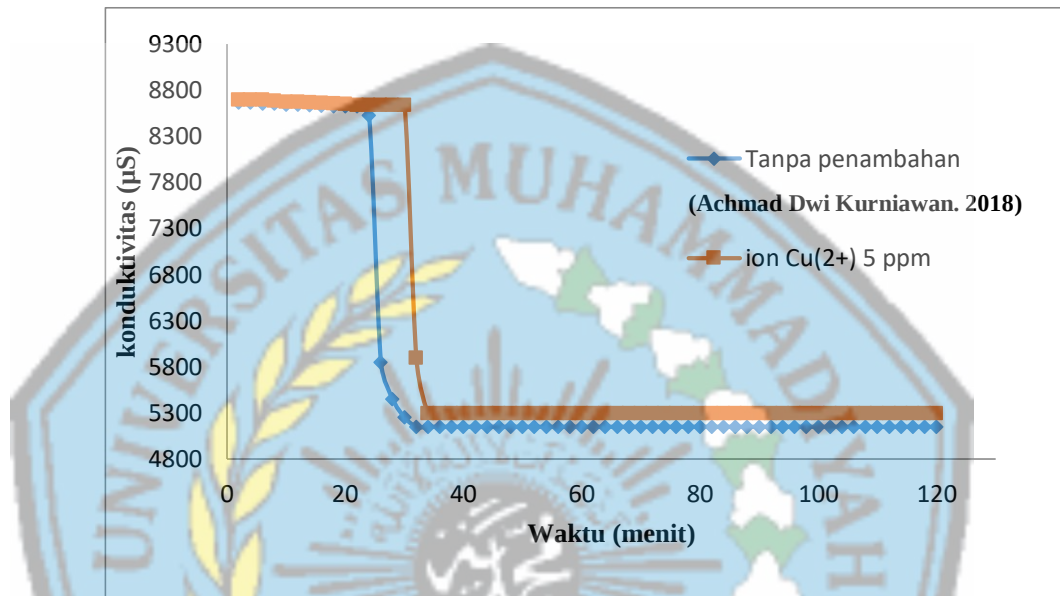
Massa Kerak ditunjukkan pada **Gambar 4.2** tanpa dan dengan penambahan aditif 5 ppm ION Cu^{2+} .



Gambar 4.2. Grafik pengaruh ION Cu^{2+} 5 ppm terhadap massa kerak MgCO_3

Analisa Waktu Induksi

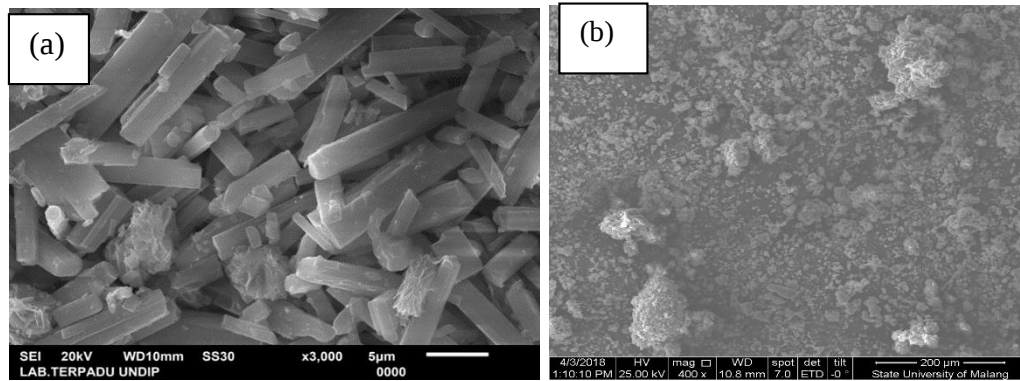
Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh senyawa magnesium karbonat untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion magnesium telah bereaksi dengan ion karbonat dan mengendap membentuk kerak terlihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4.3 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Pengujian SEM

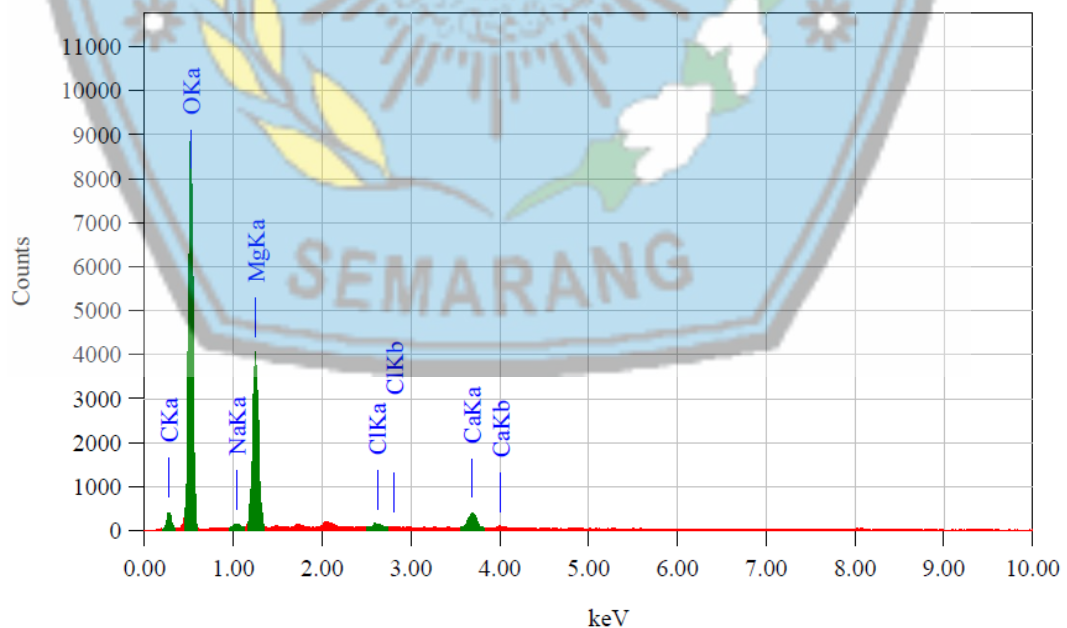
Pengujian morphology bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal untuk membuktikan bahwa ada perubahan morphology kerak akibat penambahan ION Cu^{2+} 5 ppm. Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Morfologi kerak Magnesium Karbonat hasil percobaan (a) Tanpa penambahan zat aditif (Kurniawan. 2018) (b) Dengan penambahan aditif ION Cu^{2+} 5 ppm

Pengujian EDS

Pada prinsipnya mikroskop elektron dapat mengamati morfologi, struktur mikro, komposisi, dan distribusi unsur. Untuk menentukan komposisi unsur secara kualitatif dan kuantitatif perlu dirangkai satu perangkat alat EDS (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi 3000 ppm kerak MgCO_3 dapat dilihat pada **Gambar 4.5**.

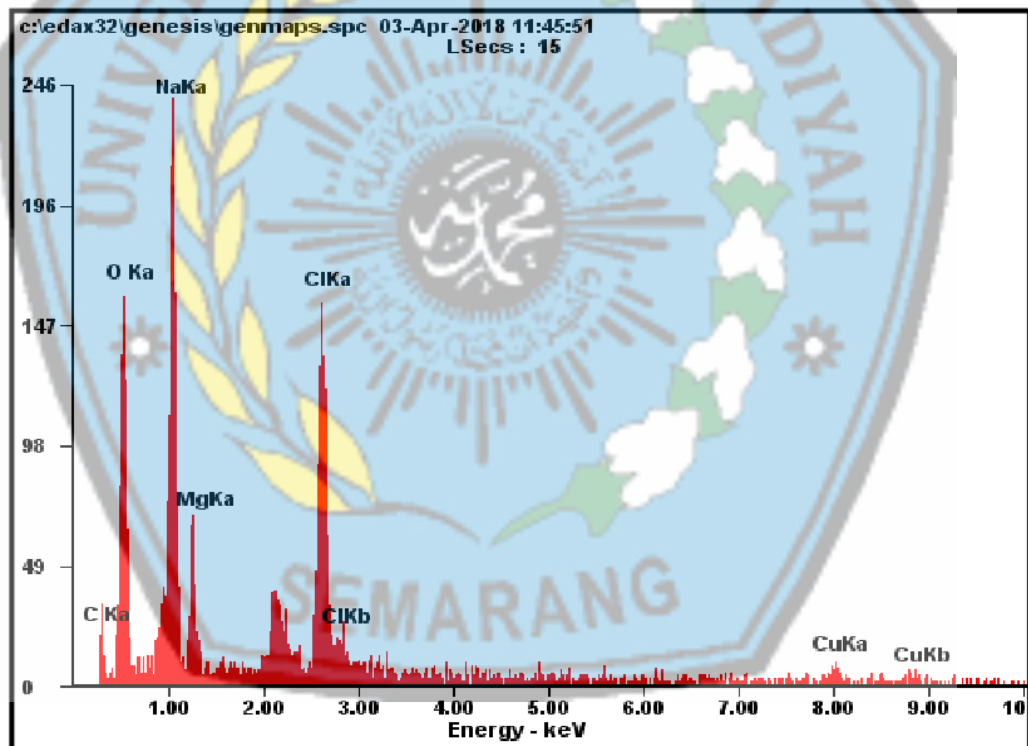


Gambar 4.5 Gambar Hasil Analisis EDS MgCO_3 tanpa penambahan (Kurniawan. 2018)

Tabel 4.1 Hasil analisa mikro kristal MgCO_3 tanpa penambahan

Element	Wt %
C K	43.59
O K	21.23
Mg K	29.19

Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDS hasil percobaan pada penambahan ION Cu^{2+} 5 ppm dengan laju alir 30 mL/menit dan konsentrasi larutan 3000 ppm dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



Gambar 4.6. Gambar Hasil Analisis EDS MgCO_3 dengan ION Cu^{2+} 5 ppm

Tabel 4.2. Hasil analisa mikro kristal magnesium karbonat + ION Cu²⁺ 5 ppm

Element	Wt %
C K	13.68
O K	25.66
Mg K	07.02

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

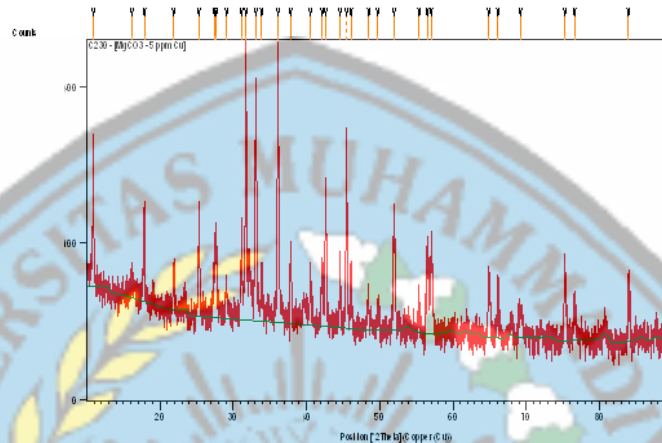
Menurut perhitungan teoritis presentase berat kandungan Mg pada MgCO₃ seharusnya adalah $24/100 \times 100\% = 24\%$ sedangkan hasil analisa mikro dengan tanpa penambahan kandungan Mg = 29.19% dan dengan penambahan ION Cu²⁺ 5 ppm kandungan Mg = 07.02 %. Untuk kadar Karbon (C) seharusnya $12/100 \times 100\% = 12\%$ sedangkan hasil analisa mikro tanpa penambahan didapatkan 43.59% dan untuk penambahan ION Cu²⁺ 5 ppm didapatkan 13.68%. Untuk kadar oksigen seharusnya $16/100 \times 100\% = 16\%$ sedangkan hasil analisa mikro pada konsentrasi tanpa penambahan menunjukan 21.23% dan untuk penambahan ION Cu²⁺ 5 ppm didapatkan hasil 25.66%.

Hasil dari analisa mikro ini meliputi komposisi atom pembentuk Kristal yang dinyatakan dalam presentase atom. Pada presentase diatas jika dibandingkan dengan hitungan teoritis ternyata memiliki perbedaan. Perbedaan hasil analisa mikro ini di akibatkan oleh beberapa sebab yaitu :

1. Adanya konsentrasi larutan dengan penambahan ION Cu²⁺ 5 ppm yang mengakibatkan proporsi MgCO₃ mengalami perubahan.
2. Terdapat kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh terhadap komposisi kristal.

Pengujian XRD

Pengujian XRD merupakan pengujian yang dilakukan dengan tujuan untuk menentukan sistem kristal. Metode difraksi sinar X dapat menerangkan parameter kisi, jenis, struktur, susunan atom yang berbeda pada kristal, adanya ketidaksempurnaan pada kristal, orientasi, butir – butir dan ukuran butir. Hasil pengujian XRD dapat dilihat pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4.7 Hasil Analisis XRD MgCO_3 dengan ION Cu^{2+} 5 ppm

Hasil pengujian XRD dapat dianalisa bahwa kerak magnesium karbonat tersebut memiliki fase dominan magnesit menunjukkan kandungan magnesit dengan kemurnian yang tinggi (64,6 %).

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan adanya penambahan zat aditif Ion Cu^{2+} 5 ppm mampu menurunkan pembentukan massa kerak MgCO_3 . Penelitian ini menghasilkan massa kerak magnesium karbonat setelah penambahan Ion Cu^{2+} 5 ppm adalah 9,48 mg sedangkan tanpa penambahan adalah 16.42 mg.
2. Hasil pengujian waktu induksi yaitu 24 menit (tanpa penambahan) dan 30 menit (dengan penambahan aditif Ion Cu^{2+} 5 ppm), dan memiliki nilai konduktivitas larutan 8522 μS tanpa penambahan sedangkan dengan penambahan Ion Cu^{2+} 5 ppm memiliki nilai konduktivitas 8636 μS .

3. Dari hasil SEM dapat menunjukkan bahwa morfologi kerak Magnesium Karbonat (MgCO_3) sangatlah berbeda, dengan penambahan aditif Ion Cu^{2+} memiliki bentuk yang tidak beraturan semakin kecil sedangkan tanpa penambahan memiliki bentuk kubus berukuran besar.

Saran

1. Penelitian kerak MgCO_3 dapat dilakukan lagi dengan alat yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), dengan menambah atau mengurangi penggunaan kadar aditif serta Ion aditif yang berbeda pula (PMA, PCA, HEDP, dll atau dengan ion Mg, Cu, dll) , dengan jenis aliran transisi maupun turbulen.
2. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium sulfat, strontium sulfat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Dwi Kurniawan. 2018. Eksperimen Pembentukan Kerak Magnesium (Mg) Pada Pipa Beraliran Laminer dengan Parameter Laju Alir 30 ml/menit dan Penambahan Aditif Ion Cu^{2+} 20 ppm.
- Antoni dan Ag. Isjudarto. 2011. Evaluasi Penanggulangan Problem *Scale* Pada *Flowline* Sumur Tlj-Xxx Di Pt. Pertamina Ep Asset Ii *Field* Prabumulih Sumatera Selatan.
- Aghisna Putri Zululhuda. 2016. Analisa Identifikasi Kemungkinan Terbentuknya *Scale* di Lapangan “X” PT. Pertamina Ep Asset 3 Field Jatibarang.
- Bayu Setya Mandela, 2017. Pembentukan Kerak Magnesium Karbonat MgCO_3 Pada Laju Alir 30ml/menit dengan Konsentrasi Mg^{2+} 3000 ppm dan 4000 ppm.
- Farid Dhanu Panjinugroho. 2016. Pengaruh Temperatur dan Zat Adatif Asam Sitrat 20 ppm pada Pembentukan Kristal CaSO_4 (Kalsium Sulfat).
- Muryanto, dkk. 2011. Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum Pada Pipa Beraliran Laminer dengan Parameter Laju Alir dan Aditif Ion Cu^{2+} .
- Rusnoto, 2006. Pencegahan Kerak Dan Korosi Pada Air Isian Ketel Uap.
- Sediono, dkk. 2011. Eksperimen Pembentukan Kerak Gypsum dengan Konsentrasi Ca^{2+} 3500 ppm dan Aditif Fe^{2+} .
- Suharso dan Buhani. 2012. Penanggulangan Kerak. Graha Ilmu. Edisi 2. Hal 1-2.