

JURNAL
PERTUMBUHAN KERAK BARIUM FOSFAT PADA SUHU 30°C DAN 50°C
DALAM SISTEM HEAT EXCHANGER



TUGAS AKHIR

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

Disusun oleh:
Sigit Wratsongko
C2A015060

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SEMARANG
2019

PERTUMBUHAN KERAK BARIUM FOSFAT PADA SUHU 30°C DAN 50°C DALAM SISTEM HEAT EXCHANGER

ABSTRAK

Dunia industri yang menggunakan sistem pemanas (heat exchanger) sering mengalami permasalahan kerak (*scaling/fouling*) sehingga menyebabkan berkurangnya diameter pipa, borosnya energi, besarnya biaya perawatan, tingginya tekanan yang ditimbulkan dan pecahnya pipa tersebut. Untuk itu diperlukan usaha pengontrolan/pertumbuhan kerak pada permukaan dalam pipa. Proses pergerakan barium posfat ($Ba_3(PO_4)_2$) di dalam pipa. Pengaruh variasi suhu terhadap masa kerak $Ba_3(PO_4)_2$ dan pengaruh suhu terhadap morfologi dan komposisi kristal $Ba_3(PO_4)_2$. Proses pengerakkan dilakukan dengan eksperimen pembentukan kerak. Hasil dari penelitian tersebut adalah semakin tinggi suhu membuat kerak yang terbentuk semakin banyak pada suhu 30°C menghasilkan massa kerak 36, 12 mg dan pada suhu 50°C menghasilkan massa kerak 104, 25 mg. Semakin tinggi suhu membuat waktu induksi semakin cepat. Waktu induksi untuk suhu 30°C adalah 48 menit dengan nilai konduktivitas 8664 $\mu S/cm$. Pada suhu 50°C menghasilkan waktu induksi 26 menit dengan nilai konduktivitas 8760 $\mu S/cm$ mulai terbentuk kerak. Analisis SEM menunjukkan perbedaan morfologi antara suhu 30°C dan suhu 50°C adalah morfologi bentuk kristal. Semakin teratur dan besar, hal ini disebabkan pada kondisi suhu yang semakin tinggi kristal terbentuk, semakin ke arah hard scale.

Kata kunci: barium fosfat, suhu, karakterisasi

PENDAHULUAN

Dunia industri yang menggunakan sistim pemanas (*heat exchanger*) sering mengalami permasalahan kerak (*scaling/fouling*) sehingga menyebabkan berkurangnya diameter pipa, borosnya energy, besarnya biaya perawatan, tingginya tekanan yang ditimbulkan, dan pecahnya pipa tersebut. Untuk itu diperlukan usaha pengontrolan pembentukan / pertumbuhan kerak pada permukaan dalam pipa. Pengerakan Barium Fosfat ($\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$) tidak hanya fenomena kristalisasi yang terbentuk dalam proses alami (*biomineralization*), tetapi merupakan masalah yang sering ditemui dalam berbagai kegiatan industri (Setta dan Neville 2014). Hal ini disebabkan karena terdapatnya unsur-unsur pembentuk kerak seperti alkali tanah, barium, klorida, fosfat 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. Kerak merupakan suatu deposit dari senyawa-senyawa anorganik yang terendapkan dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substansi (Kiaei dan Haghtalab, 2014).

Sistim pemanas (*heat exchanger*) adalah alat penukar panas yang sangat dibutuhkan dalam dunia industri seperti industri pembangkit listrik, industri gas, kilang minyak, industri kayu lapis, industri makanan dan industri lain yang menggunakan boiler dalam proses produksinya (Prisyazhniuk, 2009). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pipa yang dipakai dalam dunia industri tersebut mengalami hambatan akibat adanya endapan kerak yang memperkecil diameter pipa sehingga menghambat aliran fluida, air, minyak, gas, dll. Endapan kerak juga dapat terjadi pada sistim pendingin pada pembangkit listrik tenaga nuklir. Kerak akan menyumbat sebagian atau seluruh pipa, menambah peningkatan suhu dalam pipa, tingginya tekanan, lamanya waktu pengaliran yang dibutuhkan, tingginya biaya produksi, serta besarnya dana perawatan pipa (Asnawati, 2001; Hoang dkk, 2007; Tang dkk, 2008; Ketrane dkk, 2009; Al Mutairi dkk, 2009; Paakkonen dkk, 2012; dan Belarbi dkk, 2013). Salah satu contoh adalah perusahaan minyak Indonesia (Pertamina, Tbk) menghabiskan sekitar 6-7 juta dolar per tahun atau

setara dengan Rp 80-90 milyar untuk mengganti pipa geotermal setiap 10 tahun (Suharso dkk, 2010).

Potensi kerak yang disebabkan oleh garam $Ba_3(PO_4)_2$ (Barium Fosfat) dimiliki hampir semua jenis sumber air di dunia seperti air tanah, air payau, air laut serta air limbah. Barium Fosfat membentuk padatan atau deposit yang sangat kuat menempel pada permukaan material. Sejauh ini $Ba_3(PO_4)_2$ merupakan penyebab kerak pada beberapa sistem seperti instalasi *cooling water* (Tzotzi dkk, 2007). Penyebab terjadi kerak di dalam pipa 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 (Asnawati, 2001). Pembentukan kerak dapat dicegah dengan cara pelunakan dan pembebasan mineral air, akan tetapi penggunaan air bebas mineral dalam industri-industri besar membutuhkan biaya yang lebih tinggi (Sousa dan Bertran, 2014).

Peningkatan laju aliran akan memperpendek waktu induksi karena meningkatkan frekuensi pertumbuhan molekul dalam larutan. Tingkat pertumbuhan kristal ditentukan oleh pengaruh suhu dalam sistem aliran. Semakin tinggi suhu maka kecepatan pertumbuhan kristal akan semakin meningkat sehingga jumlah kerak yang terbentuk akan semakin besar. Rabizadeh (2014) menyatakan bahwa dengan meningkatnya temperature mempengaruhi kecepatan pertumbuhan kerak. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu maka semakin besar tumbukan antar ion yang berdampak semakin cepat reaksi pembentukan kerak.

Oleh karena itu, pada penelitian ini mempelajari pengaruh suhu terhadap pembentukan massa kerak $Ba_3(PO_4)_2$, diharapkan mampu menghambat laju pertumbuhan kerak Barium Fosfat yang terbentuk di dalam pipa-pipa industri. Penelitian ini juga mempelajari pengaruh suhu terhadap waktu induksi, mengetahui perubahan mikrosrukture kristal meliputi morfologi dan komposisi Kristal Barium Fosfat.

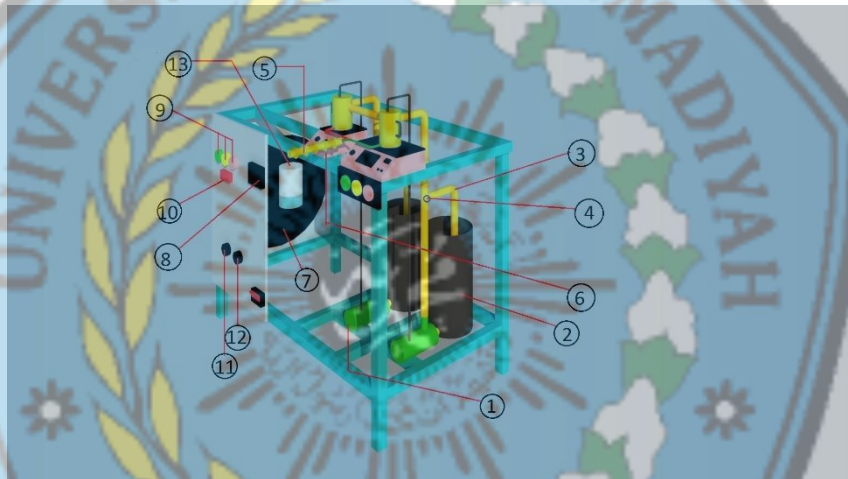
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Larutan Na_3PO_4 dengan konsentrasi 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal Na_3PO_4 (*Natrium Phosphate*) grade : analitik
- Larutan BaCl_2 dengan konsentrasi Ba^{+2} 3000 ppm dibuat dengan melarutkan kristal BaCl_2 (*Barium Chloride Dihydrad*) grade : analitik
- Aquades

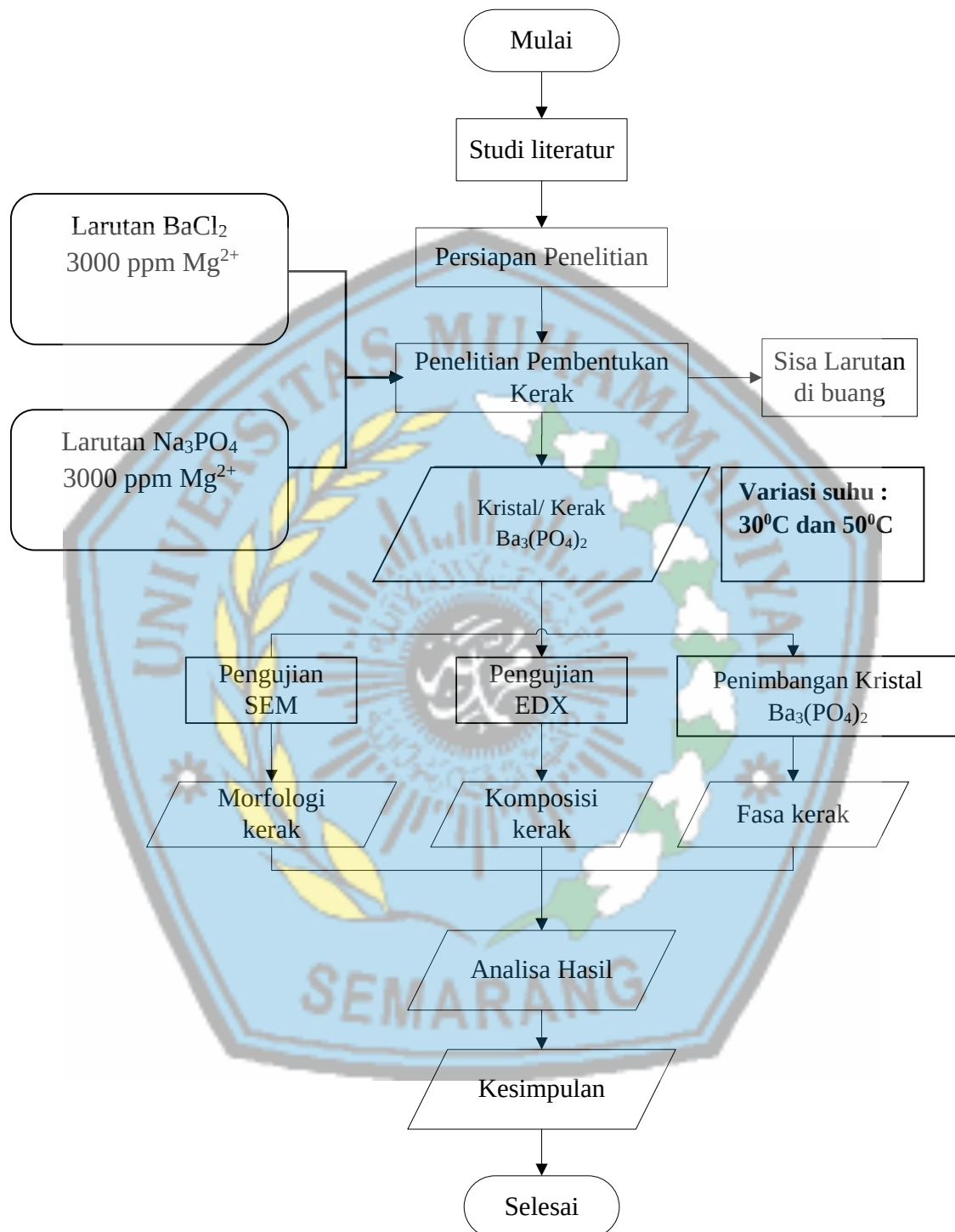
3.2. Alat Penelitian



Gambar : 3.1 Desain *prototype Closed Circuit Scale Simulator* (samraharjo, 2017)

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1) Pompa iwaki magnetic | 8) Grafik Panel |
| 2) Bak penampung | 9) Lampu Indikator |
| 3) <i>Bypass</i> | 10) Temperatur Kontrol |
| 4) Kran | 11) Saklar Heater dan Kipas |
| 5) Pipa | 12) Saklar Pompa |
| 6) heater | 13) Gelas Ukur |
| 7) kipas | |

3.3. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alur Penelitian

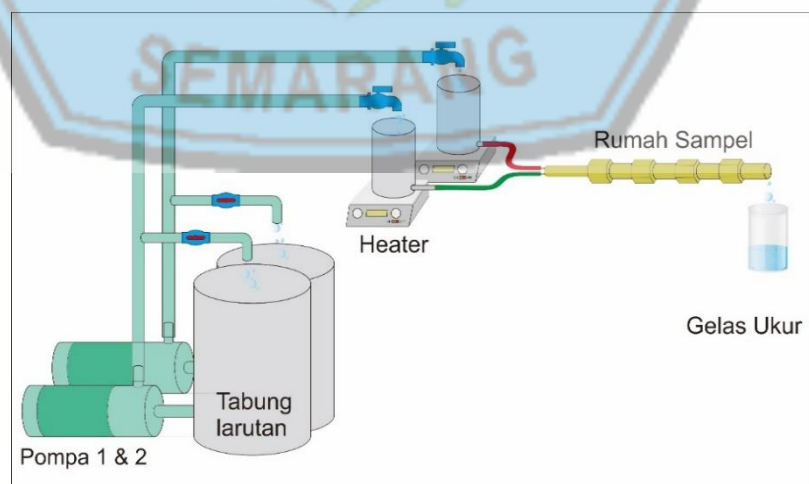
3.4 Langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pertumbuhan kerak pada pipa beraliran laminar dengan melalui tahapan tahapan sebagai berikut ini :

3.4.1. 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 BaCl_2 pada bejana 1 dan 3 dan larutan Na_3PO_4 pada bejana 2 dan 4. Pada alat tersebut dipasang dua buah pompa yang digunakan untuk memompa larutan BaCl_2 dari bejana 1 ke bejana 3 dan larutan Na_3PO_4 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 BaCl_2 dan Na_2PO_4 bereaksi sehingga membentuk kerak. Kerak tersebut mengendap pada dinding-dinding kupon yang disebut sebagai kerak $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$.



Gambar : 3.3 Skema *Closed Circuit Scale Simulator* (samraharjo, 2017)

3.4.2 Pengujian Alat

Pengujian alat meliputi kecepatan aliran meninggalkan kupon tepat sesuai desain yaitu 30 mL/menit dengan 3000 ppm Ba^{2+} . Pengujian dilakukan dengan cara trial and error sebanyak sepuluh kali dengan mengatur harga Δh yaitu selisih ketinggian antara permukaan larutan pada bejana 3 dan 4 terhadap saluran pembuangan limbah atau pengeluaran aliran pada akhir kupon setelah itu dihitung standar deviasinya. Dengan demikian alat yang dibuat mempunyai laju alir yang stabil pada 30 mL/menit.

3.4.3 Pembuatan Larutan BaCl_2 , Na_3PO_4

Pembentukan kerak $\text{Ba}_3(\text{PO}_3)_2$ pada penelitian ini dapat dilihat pada reaksi kimia larutan BaCl_2 dengan Na_3PO_4 dibawah ini



Untuk membuat larutan BaCl_2 dengan Na_3PO_4 pertama-tama dilakukan perhitungan konsentrasi ion Barium yang direncanakan yaitu 3000 ppm Ba^{2+} dengan laju alir sebesar 30 ml/menit. Perhitungan pembuatan larutan diambil konsentrasi larutan 3000 ppm Ba^{2+} .

Cara perhitungan kebutuhan zat dan larutan untuk percobaan dengan 30 mL/menit.

Waktu percobaan	= 1 jam
Laju alir larutan	= 30 ml/menit
Volume larutan yang dibutuhkan (4x60x 25ml)	= 6000 ml
Volume larutan BaCl_2 3000 ppm Ba^{2+}	= 3000 ml
Volume larutan Na_3PO_4 3000 ppm Ba^{2+}	= 3000 ml

Setiap percobaan ada sisa larutan masing - masing ditabung atas sebanyak 8000 ml maka untuk memudahkan pembuatan larutan, kedua jenis larutan tersebut masing-masing disiapkan sebanyak 4000 ml sehingga jumlah larutan yang dibutuhkan adalah :

Volume larutan BaCl_2 yang disiapkan	= 4000 ml
Volume larutan Na_3PO_4 yang disiapkan	= 4000 ml

Kedua larutan dibuat secara terpisah dengan cara melarutkan *aquades* dengan kristal BaCl_2 dan Na_3PO_4 .

Perhitungan kebutuhan larutan untuk laju alir 30 ml/menit

Berat molekul (BM) BaCl_2 = 208 g/mol

Berat Atom (BA) Ba = 137 g/mol

Berat molekul (BM) Na_3PO_4 = 164 g/mol

3000 ppm Ba^{2+} = 3000 mg/ liter

Untuk volume 4000 ml atau 4 liter, kebutuhan Ba^{2+} adalah

$3000 \text{ mg/liter} \times 4 \text{ lt} = 12.000 \text{ mg}$ = 12 gram

Sehingga BaCl_2 yang dibutuhkan adalah

$(208 / 137) \times 12 \text{ gram}$ = 18,22 gram

Mol BaCl_2 : $18,22 / 137$ = 0,133 mol

Karena equimolar maka kristal Na_3PO_4 yang dibutuhkan adalah

$0,133 \times (2/3) \times 164$ = 14,54 gram

Equimolar adalah konsentrasi yang sama dengan satuan mol dalam satu liter larutan, 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*, larutan BaCl_2 , larutan Na_3PO_4 , timbangan analitik, gelas ukur, labu takar, pengaduk dan kertas saring. Pembuatan larutan dimulai dengan menimbang larutan BaCl_2 dan larutan Na_3PO_4 sesuai dengan hasil perhitungan. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *aquades* sebanyak satu liter dan larutan BaCl_2 . 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_2PO_4 dilakukan dengan cara yang sama seperti pada pembuatan larutan BaCl_2 . Untuk membuat larutan BaCl_2 dan Na_3PO_4 , dilakukan perhitungan konsentrasi larutan dengan laju alir 30 mL/menit.

3.4.4 Persiapan Pipa Uji

Jenis kupon yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis kupon yang terbuat dari pipa tembaga (*seamless copper tube*) dengan kadar tembaga antara 60-90%. Kupon adalah komponen yang dipasang pada sistem aliran yang diharapkan disitulah akan terjadi pengendapan kerak barium fosfat. Kupon berbentuk pipa yang selanjutnya dikerjakan melalui proses permesinan menjadi bentuk pipa.



Gambar 3.4 Kupon dan Rumah Kupon

Jumlah kupon ada empat dipasang dari bawah ke atas masuk ke rumah kupon. dimensi kupon adalah; panjang 30 mm diameter luar 10 mm dan diameter dalam 9 mm. Sebelum dipasang pada rumahnya terlebih dahulu kupon dipoles hingga permukaan bagian dalam menjadi kasar dan di ukur kekasarannya. Selanjutnya dicelupkan ke dalam cairan HCl selama 3 menit kemudian dibilas dengan air bersih dan terakhir dibilas dengan aquades. Setelah itu dikeringkan memakai hairdryer, dengan demikian kupon siap dipasang pada rumah kupon.

3.5 Pengambilan Data

Pengambilan data (percobaan) dilakukan dengan temperature 30⁰C dan 50⁰C. Larutan Na₃PO₄ dan BaCl₂ masing-masing sebanyak lima 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.

Conductivitymeter 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 satu 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.

3.6 Pengujian SEM, Microanalyzer (EDX)

Pengujian SEM dan EDX Microanalyzer bisa dilakukan pada instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM-EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian microalyser bertujuan untuk mengetahui komposisi kristal. Pada pengujian ini yang dilakukan terdahulu adalah langkah persiapan yaitu pemberian nomor pada spesimen dan pelapisan spesimen dengan AuPd (*Aurum Paladium*). Pada proses ini spesimen diletakkan padaudukan sesuai dengan nomor identifikasi dan selanjutnya dimasukkan kedalam mesin *Sputter Coater*. Setelah spesimen dimasukkan kedalam tabung kaca pada *Sputter Coater* dilakukan penghisapan udara yang berada dalam ruang kaca sehingga udara di dalam tabung habis dan dilanjutkan dengan pengisian gas argon kedalam tabung kaca. Setelah itu barulah dilakukan coating AuPd terhadap spesimen di dalam tersebut.

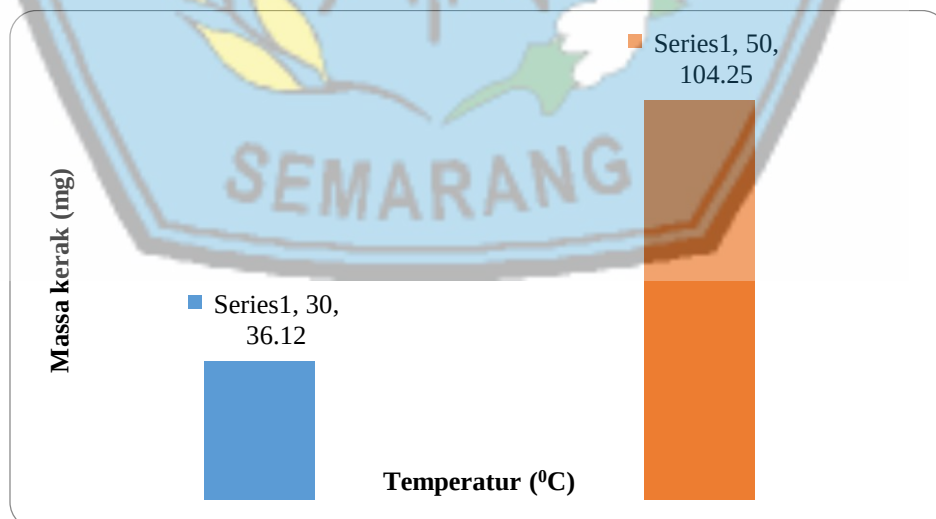
Langkah berikutnya spesimen dimasukkan ke dalam SEM sesuai dengan nomor identifikasi pengambilan fokus. Selanjutnya dilakukan

penghisapan udara pada alat tersebut sehingga terjadi kevakuman, Kemudian dilakukan pengambilan gambar, pengaturan resolusi dan ukuran pembesaran dikendalikan melalui *software* yang secara langsung terbaca pada monitor SEM. Setelah mendapatkan hasil pengujian SEM seperti yang diharapkan maka dilanjutkan untuk mengkaji struktur mikro dengan menggunakan alat *microanalyser* dimana perangkat keras dan *software* telah dipasang integrated dalam alat SEM sehingga tidak perlu melepas atau memindahkan spesimen, dengan mengambil luasan tertentu yang akan dilakukan analisa instrument hanya memerlukan waktu yang sebentar untuk mengetahui komposisi kristal baik dalam prosentase berat maupun atom.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Suhu Terhadap Massa Kerak Barium Fosfat ($\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$)

Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap massa kerak Barium Fosfat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu terhadap pembentukan massa kerak Barium Fosfat. Laju alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 mL/menit dengan konsentrasi Ba^{2+} 3000 ppm. Pengaruh suhu terhadap massa kerak Barium Fosfat ditunjukkan pada Gambar 4.6.

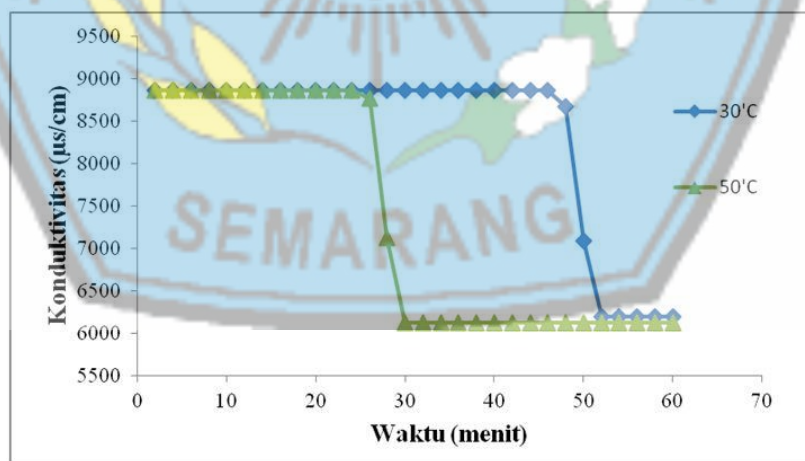


Gambar 4.6. Grafik hubungan antara suhu pada konsentrasi Ba^{2+} 3000 ppm dengan massa kerak Barium Fosfat.

Pada Gambar 4.6, menunjukkan bahwa pada laju alir stabil 30 mL/menit dan konsentrasi Ba^{2+} 3000 ppm menunjukkan semakin tinggi suhu semakin besar massa kerak Barium Fosfat yang terbentuk. Pada suhu 30°C menghasilkan massa kerak 36,12 mg, sedangkan pada suhu 50°C menghasilkan massa kerak 104,25 mg. Suhu yang semakin besar menyebabkan jumlah tumbukan ion Ba^{2+} dan PO_4^{3-} dalam larutan semakin banyak. Banyaknya tumbukan ion tersebut mengakibatkan jumlah laju reaksi akan meningkat sehingga kerak Barium Fosfat yang terbentuk semakin banyak.

4.2 Analisa Waktu Induksi

Analisa yang dilakukan yaitu tentang waktu yang dibutuhkan oleh ion Barium Fosfat untuk membentuk inti kristal pertama kali. Waktu induksi ditandai dengan menurunnya nilai konduktivitas larutan secara tajam yang menandakan bahwa ion Barium telah bereaksi dengan ion Fosfat dan mengendap membentuk kerak. Waktu induksi untuk suhu 30°C dan 50°C masing-masing menunjukkan nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada Gambar 4.7. grafik hubungan antara konduktivitas dengan waktu.



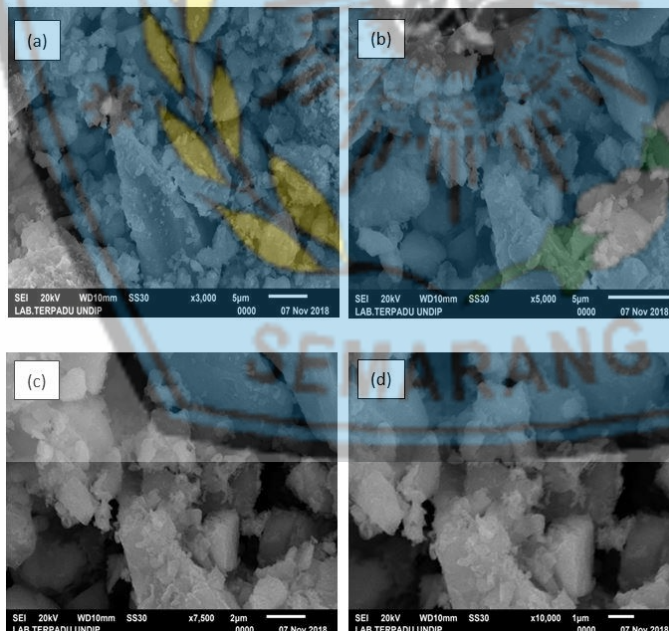
Gambar 4.7 Grafik hubungan konduktivitas dengan waktu

Gambar 4.7 merupakan grafik hubungan antara konduktivitas (S/m) larutan dengan waktu penelitian variasi suhu 30°C dan 50°C . Pada waktu

tertentu terjadi penurunan secara signifikan. Titik penurunan tersebut merupakan waktu induksi. Waktu induksi untuk suhu 30°C adalah 48 menit dengan nilai konduktivitas 8664 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pada suhu 50°C menghasilkan waktu induksi 26 menit dengan nilai konduktivitas 8760 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hal ini menunjukkan semakin besar suhu, semakin cepat pula waktu induksi yang terjadi. Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal Barium Fosfat terbentuk (Muryanto dkk, 2014).

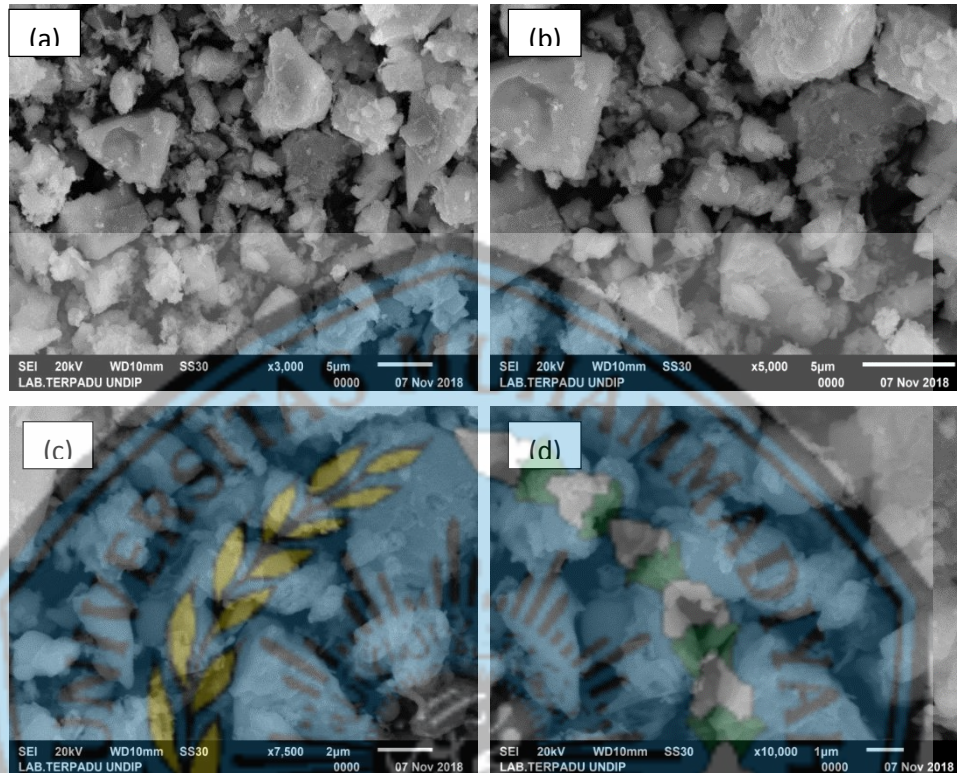
4.3 Pengujian SEM

Pengujian SEM dan pengujian *microanalyser* bisa dilakukan pada suatu instrumen yaitu dengan menggunakan perangkat SEM/EDX. Pengujian SEM dilakukan untuk mengkaji morfologi kristal sedangkan pengujian *microanalyser* bertujuan untuk mengetahui komposisi Barium Fosfat ($(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2)$). Kajian morfologi adalah kajian yang meliputi kekasaran kristal, ukuran kristal, bentuk kristal, proses pengintian serta fenomena pembentukan kristal. Hasil pengujian SEM pada suhu 30°C dapat dilihat pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8. Morfologi kerak Barium Fosfat hasil percobaan dengan variasi suhu 30°C dengan berbagai perbesaran (a) 3000X, (b) 5000X (c) 7500X dan (d) 10000X

Hasil pengujian SEM pada suhu 50°C ditunjukkan pada Gambar 4.9



Gambar 4.9. Hasil analisis SEM Barium Fosfat Pada Suhu 50°C dengan perbesaran (a) 3000X (b) 5000X (c) 7500X (d) 10000X

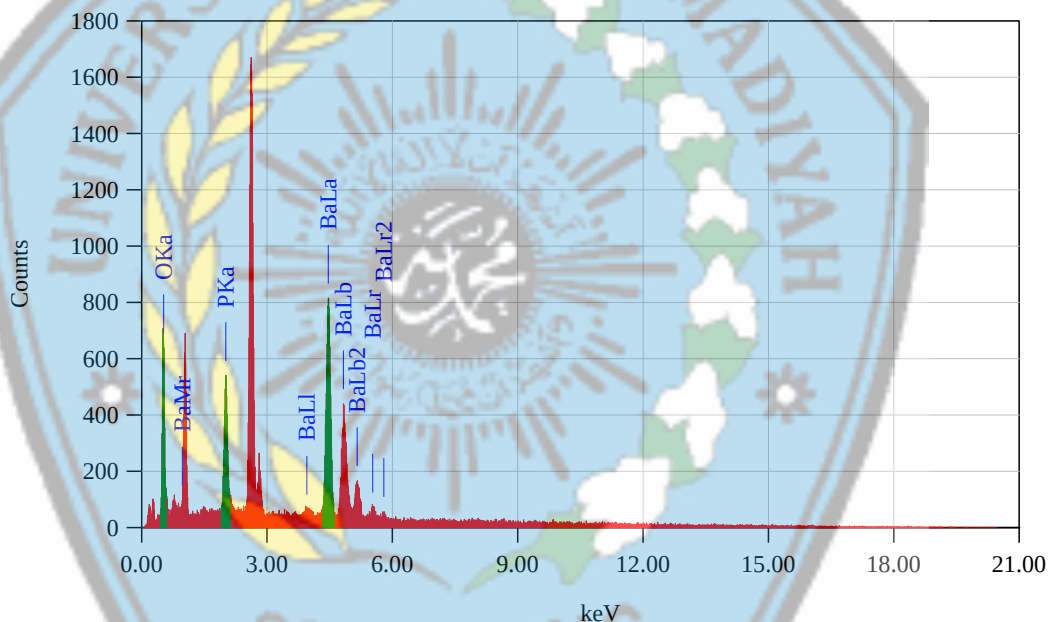
Setelah melakukan pengamatan terhadap hasil SEM yang di cantumkan pada Gambar 4.9 dengan berbagai perbesaran. Proses pembentukan kristal yang dilakukan melalui percobaan dimana dengan menggunakan konsentrasi larutan Barium Fosfat 3000 ppm dan laju alir 30 mL/menit denga variasi suhu 30°C, dan 50°C. Perbedaan morfologi antara suhu tersebut adalah semakin tinggi suhu, semakin besar ukuran dan teratur morfologi kristal. Fase magnesite kerak barium fosfat memiliki bentuk kristal monoklin.

Dari kedua hasil uji SEM tersebut menandakan bahwa suhu yang lebih besar mampu meningkatkan pembentukan fase magnesite yang merupakan jenis fasa *hardscale*. Apabila kristal ini terbentuk dan mengendap di dalam pipa maka akan menghasilkan kerak yang sulit untuk dibersihkan dari suatu sistem perpipaan. Jenis kristal lainnya barium fosfat yaitu *barringtonite*, dan

nesquehonite merupakan jenis *softscale* yang lebih mudah dibersihkan apabila menempel pada dinding dalam pipa (Holysz dkk, 2007).

4.4 Pengujian EDX

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 EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*). Hasil Pengujian EDX hasil percobaan pada laju alir 30 mL/menit pada konsentrasi 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.10.

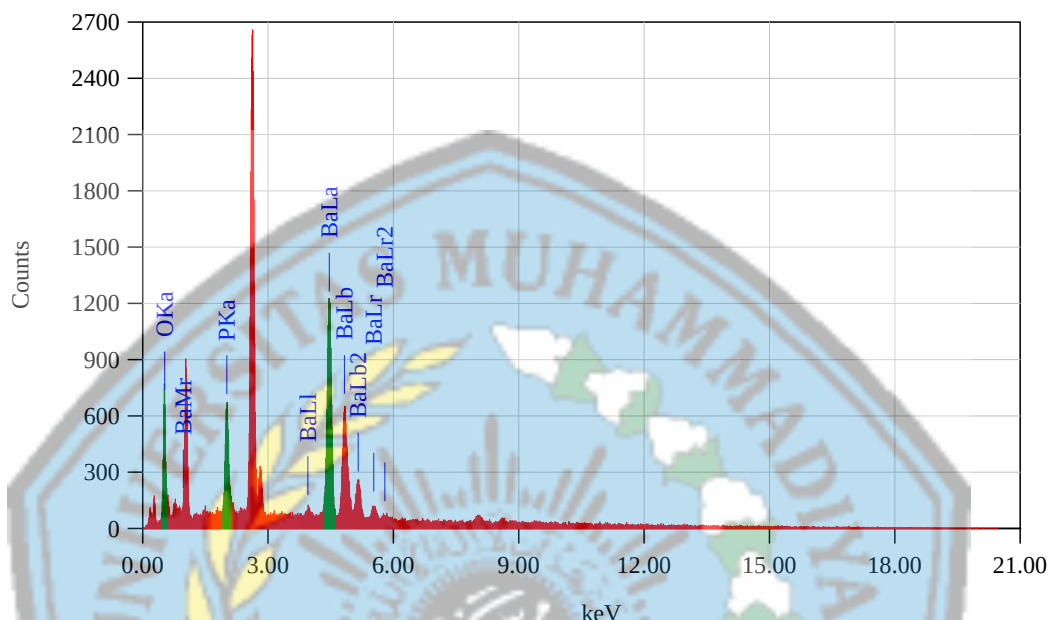


Gambar 4.10. Hasil Analisis EDX suhu 30⁰C

Tabel 4.4. Hasil analisa mikro kristal barium fosfat pada suhu 30⁰C

Element	Wt %
O K	20.84
P K	9.98
Ba K	69.18

Sedangkan untuk Hasil Pengujian EDX hasil percobaan pada suhu 50°C laju alir 30 mL/menit dan konsentrasi larutan 3000 ppm dapat dilihat pada Gambar 4.11



Gambar 4.11. Gambar Hasil Analisis EDX pada suhu 50°C

Tabel 4.5. Hasil analisa mikro kristal barium fosfat pada suhu 50°C

Element	Wt %
O K	19,33
P K	8.46
Ba K	72.21

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

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

1. Adanya konsentrasi larutan dengan variabel suhu 30°C dan 50°C sehingga proporsi Barium Fosfat mengalami perubahan.
2. Adanya kandungan natrium dan klorid dalam kristal sehingga berpengaruh komposisi kristal.

Simpulan

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

1. Semakin tinggi suhu membuat kerak yang terbentuk semakin banyak. Pada suhu 30°C menghasilkan massa kerak 36,12 mg, dan pada suhu 50°C menghasilkan massa kerak 104,25 mg.
2. Semakin tinggi suhu waktu induksi semakin cepat. Waktu induksi untuk suhu 30°C adalah 48 menit dengan nilai konduktivitas 8664 $\mu\text{S/cm}$ mulai menurun nilai pada suhu 50°C menghasilkan waktu induksi 26 menit dengan nilai konduktivitas 8760 $\mu\text{S/cm}$.
3. Dari hasil SEM antara perbedaan morfologi antara suhu 30°C, dan 50°C adalah morfologi bentuk kristal semakin teratur dan besar. Hal ini disebabkan pada kondisi suhu yang semakin tinggi kristal yang terbentuk semakin ke arah hard scale.
4. Dari hasil SEM dan EDX dengan variasi suhu 30°C dan 50°C terlihat perbedaannya yaitu bentuk berubah menjadi semakin jelas, hal ini karena peningkatan suhu dapat membuat bentuk kristal Barium Fosfat ($\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$) menjadi terbentuk sepenuhnya.

Saran

Saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian yaitu:

1. Penelitian kerak Barium Fosfat dapat dilakukan kembali dengan alat penelitian yang sama dengan mengubah parameternya seperti material kupon (baja tahan karat, kuningan, dll), penggunaan aditif yang berbeda (PMA, PCA, HEDP, dll atau dengan ion Mg, Cu, dll), dengan jenis aliran turbulen, dll.
2. Penelitian untuk jenis kerak yang lain (seperti kerak barium karbonat, strontium karbonat dan mineral fosfat yang lain) dapat dilakukan menggunakan alat penelitian ini.