

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Kerak

Kerak adalah suatu lapisan oksida dari senyawa-senyawa anorganik yang mengendap dan membentuk timbunan kristal pada permukaan suatu substrat. Pengerakan pada saluran pipa air atau pipa industri, limbah pabrik, boiler, minuman buah, tekstil pewarna, limbah rumah sakit, dan berbagai saluran pipa lainnya merupakan masalah yang sangat serius karena dapat mengakibatkan kerugian besar pada industri tersebut. Proses pembentukan kerak merupakan akibat keadaan hydrodinamik dan thermal dalam suatu sistem atau akibat dari kinetik kimia, keadaan termodinamika dan sifat-sifat zat kimia seperti alkalin, kalsium, klorida, sulfat, nitrat, besi, seng, tembaga, fosfat, atau aluminium yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kadar air, kondisi larutan lewat jenuh, laju air, temperatur, tipe dan jenis pengotor (unwated matetials), jumlah inhibitor untuk menyerap ion, tingkat indek kalsium (Calsium Saturated Index), pH, dan faktor lainnya (Merdah & Yassin, 2007).

Penyebab terjadinya endapan kerak pada pipa di industri karena terdapatnya senyawa-senyawa pembentuk kerak dalam air dengan jumlah yang melebihi kelarutannya pada keadaan kesetimbangan sehingga terbentuk kristal. Kristal tersebut akan memperkecil diameter dan menghambat aliran fluida pada sistem pipa tersebut. Terganggunya aliran fluida menyebabkan tekanan semakin tinggi sehingga kemungkinan pipa mengalami kerusakan (Asnawati, 2001).  
terlihat pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1.** Endapan kerak dalam Pipa (Raharjo,2016)

## 2.2. Boiler

Boiler adalah mesin kalor (thermal engineering) yang mentransfer energi – energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin 1988). Boiler atau ketel steam adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan steam. Steam diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Boiler mengubah energi – energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar.



**Gambar 2.2.** Boiler

Sumber : [www.google.com](http://www.google.com)

Boiler terdiri dari 2 komponen utama, yaitu :

- 1) Furnace (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- 2) Steam Drum yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial steam (energi panas).

Boiler pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklasifikasikan ketel steam tergantung kepada sudut pandang masing – masing (Muin, 1998).

Boiler Pipa Api ( Fire Tube Boiler) Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa –pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa – pipa api tersebut. Pipa - pipa api berada atau terendam didalam air yang akan diuapkan. Volume air kira – kira  $\frac{3}{4}$  dari tangki ketel.

Jumlah pass dari boiler tergantung dari jumlah laluan vertikal dari pembakaran diantara furnace dan pipa –pipa api. Laluan gas pembakaran pada furnace dihitung sebagai pass pertama boiler jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo, 2008).

Dalam perancangan boiler ada beberapa faktor penting yang harus dipertimbangkan agar boiler yang direncanakan dapat bekerja dengan baik sesuai dengan yang dibutuhkan. Faktor yang mendasari pemilihan jenis boiler adalah sebagai berikut :

- a. Kapasitas yang digunakan
- b. Kondisi steam yang dibutuhkan
- c. Bahan bakar yang dibutuhkan
- d. Konstruksi yang sederhana dan perawatan mudah
- e. Tidak perlu air isian yang berkualitas tinggi Kerugian ketel pipa api :
  - 1) Tekanan steam hasil rendah

- 2) Kapasitas kecil
- 3) Pemanasan relatif lama Prinsip aliran gas dalam ketel steam pipa api ada 3 macam :

- Konstruksi dua laluan (pass) Konstruksi ini merupakan konstruksi ketel scotch yang mula – mula lorong api yang besar dibutuhkan untuk mendapatkan bidang – bidang pemanas yang luas.
- Konstruksi tiga laluan (pass) Konstruksi ini gas asap melewati jalan yang lebih panjang sebelum meninggalkan cerobong, sehingga dapat menaikkan efisiensi kalor, akan tetapi tenaga yang dibutuhkan draft fan akan membesar akibat kerugian tekanan gas asap.
- Konstruksi empat laluan (pass) Konstruksi ini merupakan unit yang mempunyai efisiensi yang lebih tinggi, karena jalan asap menjadi lebih panjang, maka tenaga draft fan

Siklus Rankine ideal terdiri dari 4 tahapan proses : 1-2 kompresi isentropik dengan pompa 2-3 penambahan panas dalam boiler secara isobar 3-4 ekspansi isentropik pada turbin 4-1 pelepasan panas pada kondenser secara isobar dan isothermal Air masuk pompa pada kondisi 1 sebagai cairan jenuh dan dikompresi sampai tekanan operasi boiler. Temperatur air akan meningkat selama kompresi isentropik karena menurunnya volume spesifik air. Air memasuki boiler sebagai cairan terkompresi (compressed liquid) pada kondisi 2 dan akan menjadi uap superheated pada kondisi 3. Dimana panas diberikan ke boiler pada tekanan yang tetap. Boiler dan seluruh bagian yang menghasilkan steam ini disebut steam generator. Uap superheated pada kondisi 3 kemudian akan memasuki turbin

### 2.2.1 Komponen- komponen Boiler

- a) Furnace (Ruang bakar)

Furnace (ruang bakar) berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas dan nyala

api/gas asap. Dinding ruang bakar umumnya dilapisi dengan pipa-pipa. Semakin cepat laju peredaran air, pendinginan dinding pipa bertambah baik dan kapasitas steam yang dihasilkan bertambah besar.

Idealnya, furnace harus memanaskan bahan sebanyak mungkin sampai mencapai suhu yang seragam dengan bahan bakar. Kunci dari operasi furnace yang efisien yaitu terletak pada pembakaran bahan bakar yang sempurna dengan udara berlebih yang minim. Furnace beroperasi dengan efisiensi yang relatif rendah (paling rendah 7%) dibandingkan dengan peralatan pembakaran lainnya seperti boiler (dengan efisiensi lebih dari 90%). Hal ini disebabkan oleh suhu operasi yang tinggi dalam furnace. Secara umum bentuk ruang bakar terdiri atas bentuk silinder dan bentuk kotak.

b). Furnace terdiri dari beberapa bagian utama yaitu :

1. Stack (Cerobong asap) Cerobong asap berfungsi untuk membuang gas asap yang tidak dipakai lagi ke udara bebas, untuk mengurangi polusi disekitar instalasi boiler, sehingga proses pembakaran dapat berlangsung dengan baik. Dengan cerobong asap pengeluaran gas asap dapat lebih sempurna.
2. Burner Pada prinsipnya burner adalah transduser yang berguna untuk mengubah satu bentuk energi ke bentuk energi yang lain. Dalam kasus ini burner berfungsi untuk mengubah energi kimia yang terdapat dalam bahan bakar, menjadi energi panas di dalam furnace melalui suatu reaksi kimia dalam nyala api. Kunci utama burner adalah untuk membakar bahan bakar seefisien mungkin dan menghasilkan heat flux yang optimum. Pada premix burner konvensional, bahan bakar dicampurkan dengan udara primer yang mengalir ke dalam burner. Aliran udara primer harus dimaksimalkan tanpa menaikkan tinggi nyala api dalam burner.
3. Steam Drum  
Steam drum merupakan tempat penampungan air panas dan pembangkitan steam. Steam masih bersifat jenuh (saturated).

#### 4. Superheater Komponen

merupakan tempat pengeringan steam dan siap dikirim melalui main steam pipe dan siap untuk menggerakkan turbin steam atau menjalankan proses industri.

#### 5 Turbin Steam

Turbin steam berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh steam menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin berputar generator juga ikut berputar.

#### 6 Kondensor

Kondensor berfungsi untuk mengkondensasikan steam dari turbin (steam yang telah digunakan untuk memutar turbin).

#### 7 Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energi putar dari turbin menjadi energi listrik.

#### 8 Economizer

Komponen ini merupakan ruangan pemanas yang digunakan untuk memanaskan air dari air yang terkondensasi dari sistem sebelumnya maupun air umpan baru.

#### 9 Safety valve

Komponen ini merupakan saluran buang steam jika terjadi keadaan dimana tekanan steam melebihi kemampuan boiler menahan tekanan steam.

#### 10 Blowdown valve

Komponen ini merupakan saluran yang berfungsi membuang endapan yang berada di dalam pipa steam.



### 2.3. Pembentukan kerak

Mekanisme pembentukan endapan kerak berhubungan dengan komposisi air di dalam formasi. Secara umum, air mengandung ion-ion terlarut, baik itu berupa kation ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ ), maupun anion ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  dan  $\text{CO}_3^{2-}$ ). 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 (Ratna, 2011).

Proses terlarutnya ion-ion dalam air formasi merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan waktu kontak (*contact time*) antara air dengan media pembentukan. Air mempunyai batas kemampuan dalam menjaga senyawa ion-ion tersebut tetap dalam larutan, kemudian pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu, ketika harga kelarutan terlampaui, maka senyawa tersebut tidak akan terlarut lagi, melainkan terpisah dari pelarutnya dalam bentuk padatan (Ratna, 2011).

Dalam proses produksi, perubahan kelarutan terjadi seiring dengan penurunan tekanan dan perubahan temperatur selama produksi. Perubahan angka kelarutan pada tiap zat terlarut dalam air formasi akan menyebabkan terganggunya keseimbangan dalam air formasi, sehingga akan terjadi reaksi kimia antara ion positif (kation) dan ion negatif (anion) dengan membentuk senyawa endapan yang berupa kristal (Ratna, 2011).

Proses pembentukan kristal  $\text{CaSO}_4$  dapat dikategorikan dalam tiga tahapan pokok, yaitu :

#### 1. Tahap Pembentukan Inti (nukleasi)

Ion-ion yang terkandung dalam suatu fluida akan mengalami reaksi kimia untuk membentuk inti kristal. Inti kristal yang terbentuk halus sehingga tidak akan mengendap dalam proses aliran.

#### 2. Tahap Pertumbuhan Inti

Pertumbuhan inti kristal akan menarik molekul-molekul yang lain, sehingga inti akan tumbuh menjadi butiran yang lebih besar, dengan diameter 0,001 – 0,1  $\mu$  (ukuran koloid), kemudian tumbuh lagi sampai diameter 0,1 – 10  $\mu$  (kristal halus). Kristal akan mulai mengendap saat pertumbuhannya mencapai diameter > 10  $\mu$  (kristal kasar).

### 3. Tahap Pengendapan

Kecepatan pertumbuhan kristal dipengaruhi oleh ukuran dan berat jenis kristal yang membesar pada tahap sebelumnya. Proses pembentukan juga dipengaruhi oleh aliran fluida pembawa, ketika kristal akan mengendap apabila kecepatan pengendapan lebih besar dari kecepatan aliran fluida (Siswoyo dan Erna, 2005).

#### 2.4 Jenis kerak dan faktor yang mempengaruhi pembentukannya

Ion yang berbentuk padatan dan mempunyai kecenderungan untuk membentuk endapan kerak antara lain adalah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), gipsum atau kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ) dan barium sulfat ( $\text{BaSO}_4$ ). Endapan kerak yang lain adalah stronsium sulfat ( $\text{SrSO}_4$ ) yang mempunyai intensitas pembentukan rendah dan Magnesium karbonat ( $\text{MgCO}_3$ ), yang biasa terbentuk pada peralatan pemanas, yaitu *boilers* dan *heater traters*, serta kerak dengan komponen besi, seperti *iron carbonate* ( $\text{FeCO}_3$ ), *iron sulfide* ( $\text{FeS}$ ) dan *iron oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), seperti yang terlihat pada **Tabel 2.1** (Ratna, 2011).

Kerak dapat dikenali dengan mengklasifikasikannya berdasarkan komposisi yang membentuk kerak dan jenis pengendapannya. Berdasarkan komposisinya, cara umum kerak dibedakan menjadi kerak karbonat, kerak sulfat, serta campuran dari keduanya. Sedangkan berdasarkan jenis pengendapannya, klasifikasi kerak dapat dilihat pada **Tabel 2.2** (Siswoyo dan Erna, 2005)



Tabel 2.1. Jenis komponen endapan kerak.

Chemical name	Chemical formula	Mineral name
Water soluble scale Natrium chloride	NaCl	Halite
Acid soluble scale Calcium carbonat Iron carbonat Iron sulfide Iron oxide Iron oxide Magnesium hydroxide	CaCO <sub>3</sub> FeCO <sub>3</sub> FeS <sub>7</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Mg(OH) <sub>2</sub>	Calcite Siderite Trolite Hematite Magnetit Brucite
Acid insoluble scale Calcium sulfat Calcium sulfat	CaSO <sub>4</sub> CaSO <sub>4</sub>	Anhydrate Gypsum

Tabel 2.2. Klafikasi pendedapan kerak

Jenis	Sifat Utama	Komponen	Reaksi kimia
<b>Hard scale</b>	Umunya berwarna terang, dan apabila terdapat pengotor (minyak atau oksida besi) akan menjadi agak gelap. Hampir tidak larut dalam asam	BaSO <sub>4</sub> , SrSO <sub>4</sub> , CaSO <sub>4</sub> , dan 2H <sub>2</sub> O	$BaCl_2 + Na_2SO_4 \rightarrow$ $BaSO_4 \downarrow + 2H_2O$ $SrCl_2 + CaSO_4 \rightarrow$ $SrSO_4 \downarrow + CaCl_2$
<b>Soft scale</b>	Umunya terang atau agak gelap (jika mengandung pengotor) larutan dalam asam mengandung CO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> dengan kandungan MgCO <sub>3</sub> FeCO <sub>3</sub> SiO <sub>2</sub> CaSO <sub>4</sub>	$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3$ $\downarrow + CO_2 + H_2O$

		2H <sub>2</sub> O FeS dan S	
<b>Misc</b>	Tidak mudah larut dalam asam mengandung H <sub>2</sub> S berwarna coklat tua sampai hitam	FeS, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,H <sub>2</sub> 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.

**Tabel 2.3. Endapan kerak yang umum terdapat di ladang minyak**

Jenis kerak	Rumus kimia	Faktor yang berpengaruh
Kalsium karbonat (kalsit)	CaCO <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan tekanan</li> <li>• Perubahan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> <li>• Perubahan keasamaan (pH)</li> </ul>
Kalsium sulfat Gypsum (sering hemi-Hydrate anhydrite)	CaSO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub> · <sup>1</sup> / <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O CaSO <sub>4</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahanm tekan dan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> </ul>
Barium sulfat Strontium sulfat	BaSO <sub>4</sub> SrSO <sub>4</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahanm tekan dan temperatur</li> <li>• Kandungan garam terlarut</li> </ul>
Komponen besi Besi Sulfat Sulfide besi Ferrous hydroxide Rerric hydroxide	FeCO <sub>3</sub> FeS Fe(OH) <sub>2</sub> Fe(OH) <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korosi</li> <li>• Kandungan gas terlarut</li> <li>• Derajat keasamaan (pH)</li> </ul>

## 2.5 Kristalisasi

Kristalisasi adalah peristiwa pembentukan partikel-partikel zat padat dalam suatu fase homogen. Kristalisasi dari larutan dapat terjadi jika padatan terlarut dalam keadaan berlebih (diluar kesetimbangan), maka sistem akan mencapai kesetimbangan dengan cara mengkristalkan padatan terlarut (Dewi dan Ali, 2003). Kristalisasi senyawa dalam larutan langsung pada permukaan transfer panas dimana kerak terbentuk memerlukan tiga faktor simultan yaitu konsentrasi lewat jenuh (*supersaturation*), terbentuknya inti kristal dan waktu kontak yang memadai. Pada saat penguapan, kondisi jenuh (*saturation*) dan kondisi lewat jenuh (*supersaturation*) dicapai secara simultan melalui pemekatan larutan dan penurunan daya larut seimbang saat kenaikan suhu menjadi suhu penguapan.

Dalam keadaan larutan lewat jenuh beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Inti kristal akan terlarut bila ukurannya lebih kecil dari ukuran partikel kritis (inti kritis), sementara kristal-kristal akan berkembang bila ukurannya lebih besar dari partikel kritis. Apabila ukuran inti kristal menjadi lebih besar dari inti kritis maka akan terjadi pertumbuhan kristal. Laju pertumbuhan kristal ditentukan oleh laju difusi zat terlarut pada permukaan kristal dan laju pengendapan zat terlarut pada kristal tersebut. Daya dorong difusi zat-zat terlarut adalah perbedaan antara konsentrasi zat-zat terlarut pada permukaan kristal dan pada larutan. Kristal-kristal yang telah terbentuk mempunyai muatan ion lebih rendah dan cenderung untuk menggumpal sehingga terbentuklah kerak (Lestari, 2008).

### 2.5.1 Sistem Kristal

Sistem kristal dapat dibagi ke dalam 7 sistem kristal. Sistem kristal tersebut adalah kubus, *tetragonal*, *ortorombik*, *heksagonal*, *trigonal*, *monoklin*, dan *triklin*. Secara keseluruhan, dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

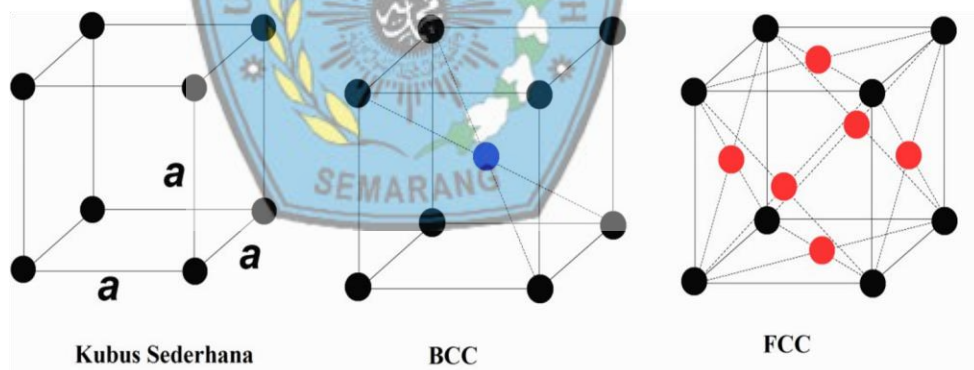
Tabel 2.4 Tabel Sistem Kristalisasi

No.	Sistem Kristal	Kisi Bravais	Panjang rusuk	Besar sudut-sudut
1.	Kubus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> <li>Berpusat badan</li> <li>Berpusat muka</li> </ul>	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
2.	<i>Tetragonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> <li>Berpusat Badan</li> </ul>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
3.	<i>Ortorombik</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> <li>Berpusat badan</li> <li>Berpusat muka</li> <li>Berpusat muka A, B, atau C</li> </ul>	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
4.	<i>Monoklin</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> <li>Berpusat muka C</li> </ul>	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$
5.	<i>Triklin</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> </ul>	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
6.	<i>Rombohedral</i> atau <i>Trigonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> </ul>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
7.	<i>Heksagonal</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sederhana</li> </ul>	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$
<b>Total</b>	7 Sistem Kristal	14 Kisi Bravais		

### 2.5.2 Sistem Kristal Kubus

Sistem kristal kubus memiliki panjang rusuk yang sama ( $a = b = c$ ) sertamemiliki sudut ( $\alpha = \beta = \gamma$ ) sebesar  $90^\circ$ . Sistem kristal kubus ini dapat dibagi ke dalam 3 bentuk yaitu kubus sederhana (*simple cubic/ SC*), kubus berpusat badan (*bodycentered cubic/ BCC*) dan kubus berpusat muka (*Face-centered Cubic/ FCC*).

Berikut bentuk dari ketiga jenis kubus yaitu pada kubus sederhana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) kubus, pada kubus BCC, masing-masing terdapat satu atom pada semua pojok kubus, dan terdapat satu atom pada pusat kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna biru). Pada kubus FCC, selain terdapat masingmasing satu atom pada semua pojok kubus, juga terdapat atom pada diagonal dari masing-masing sisi kubus (yang ditunjukkan dengan atom warna merah) seperti pada **Gambar 2.3**



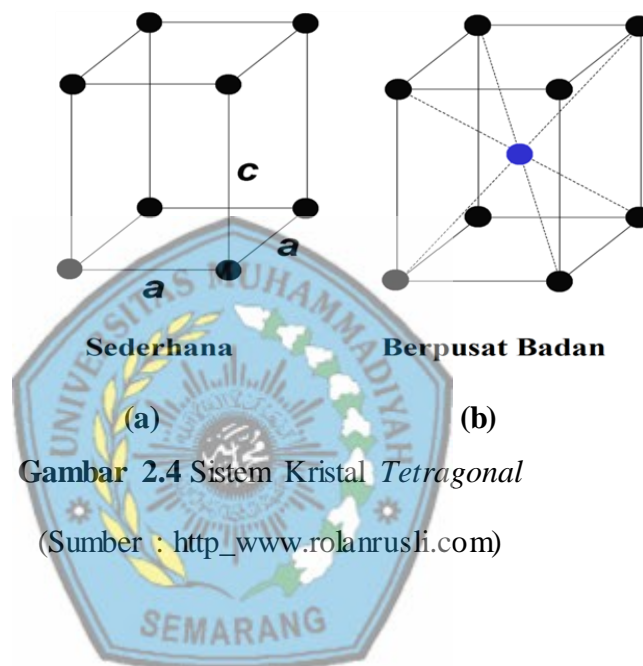
**Gambar 2.3** Sistem Kristal Kubus

(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

### 2.5.3 Sistem Kristal Tetragonal

Pada sistem kristal *tetragonal*, dua rusuknya yang memiliki panjang sama ( $a = b \neq c$ ) dan semua sudut ( $\alpha = \beta = \gamma$ ) sebesar  $90^\circ$ . Pada sistem kristal *tetragonal* ini hanya memiliki dua bentuk yaitu sederhana dan berpusat badan.

Pada bentuk *tetragonal* sederhana, mirip dengan kubus sederhana, dimana masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) *tetragonal*. Sedangkan pada *tetragonal* berpusat badan, mirip pula dengan kubus berpusat badan, yaitu memiliki 1 atom pada pusat *tetragonal* (ditunjukkan pada atom warna biru), dan atom lainnya berada pada pojok (sudut) *tetragonal* seperti pada **Gambar 2.4**.

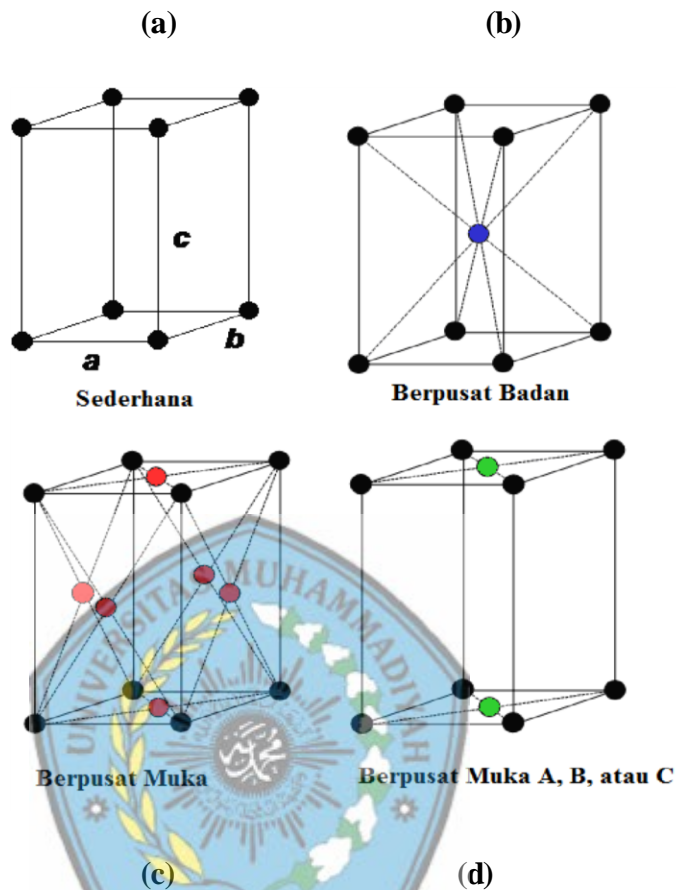


**Gambar 2.4** Sistem Kristal *Tetragonal*

(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

#### 2.5.4 Sistem Kristal Ortorombik

Sistem kristal *ortorombik* terdiri atas 4 bentuk, yaitu : *ortorombik* sederhana, *body center* (berpusat badan) (yang ditunjukkan atom dengan warna merah), berpusat muka (yang ditunjukkan atom dengan warna biru), dan berpusat muka pada dua sisi *ortorombik* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau). Panjang rusuk dari sistem kristal *ortorombik* ini berbeda-beda ( $a \neq b \neq c$ ), dan memiliki sudut yang sama ( $\alpha = \beta = \gamma$ ) yaitu sebesar  $90^\circ$ . Gambar sistem kristal *ortomobrik* dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.

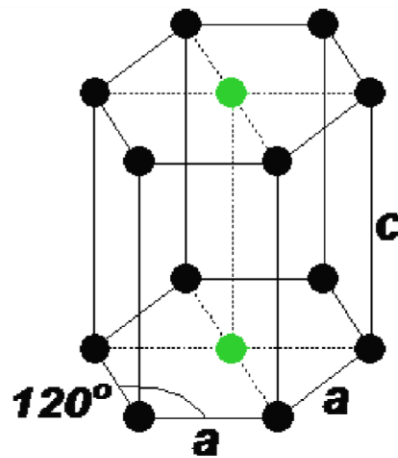


Gambar 2.5 Sistem Kristal *Ortorombik*

(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

### 2.5.5 Sistem Kristal Heksagonal

Pada system kristal ini, sesuai dengan namanya *heksagonal* (*heksa* = enam), maka system ini memiliki 6 sisi yang sama. System kristal ini memiliki dua nilai sudut yaitu  $90^\circ$  dan  $120^\circ$  ( $\alpha = \beta = 90^\circ$  dan  $\gamma = 120^\circ$ ), sedangkan panjang rusuk-rusuknya adalah  $a = b \neq c$ . semua atom berada pada sudut-sudut (pojok) *heksagonal* dan terdapat masing-masing atom berpusat muka pada dua sisi *heksagonal* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau) seperti pada **Gambar 2.6**.

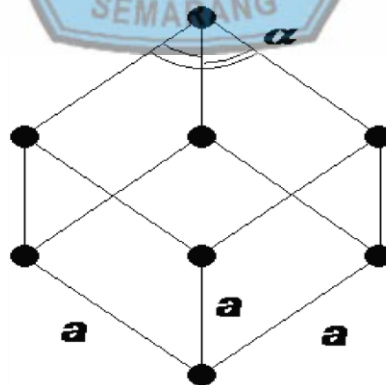


**Gambar 2.6** Sistem Kristal Heksagonal

(Sumber : [http\\_www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))

### 2.5.6 Sistem Kristal Rombohedral atau Trigonal

Pada sistem kristal ini, panjang rusuk memiliki ukuran yang sama ( $a = b \neq c$ ), sedangkan sudut-sudutnya adalah  $\alpha = \beta = 90^\circ$  dan  $\gamma = 120^\circ$  seperti pada **Gambar 2.7**.



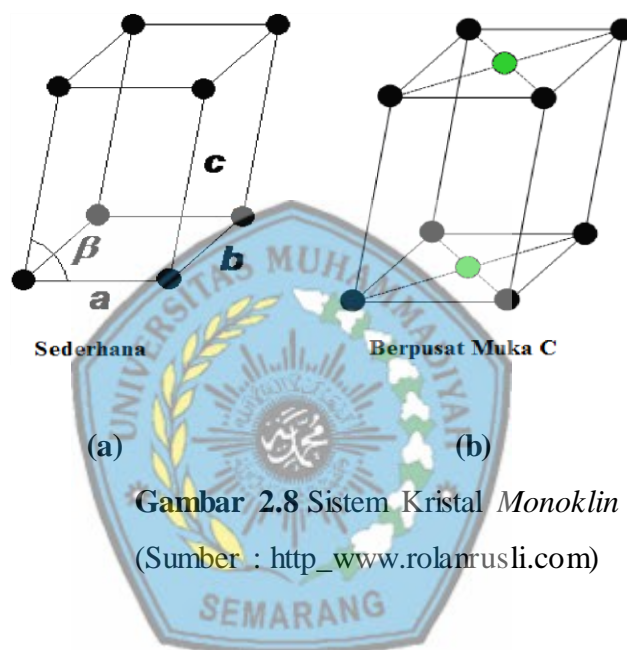
**Gambar 2.7** Sistem Kristal Rombohedral atau Trigonal

(Sumber : [http\\_www.rolanrusli.com](http://www.rolanrusli.com))



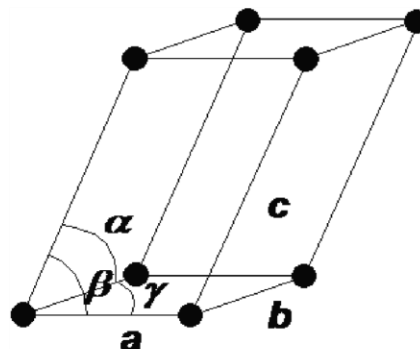
### 2.5.7 Sistem Kristal Monoklin

Sistem kristal *monoklin* terdiri atas 2 bentuk, yaitu : *monoklin* sederhana dan berpusat muka pada dua sisi *monoklin* (yang ditunjukkan atom dengan warna hijau) seperti pada Gambar 2.8. Sistem kristal *monoklin* ini memiliki panjang rusuk yang berbeda-beda ( $a \neq b \neq c$ ), serta sudut  $\alpha = \gamma = 90^\circ$  dan  $\beta \neq 90^\circ$  seperti pada **Gambar 2.8**.



### 2.5.8 Sistem Kristal Triklin

Pada sistem kristal *triklin*, hanya terdapat satu orientasi. Sistem kristal ini memiliki panjang rusuk yang berbeda ( $a \neq b \neq c$ ), serta memiliki besar sudut yang berbeda-beda pula yaitu  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ . Sistem kristal *triklin* dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9** Sistem Kristal Triklin

(Sumber : <http://www.rolanrusli.com>)

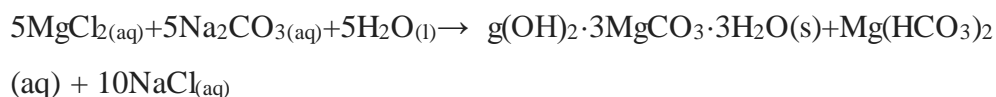
## 2.6 Kerak Magnesium Karbonat ( $\text{MgCO}_3$ )

Magnesium, (Mg), merupakan garam anorganik yang merupakan padatan putih. Bentuk karbonat magnesium yang paling umum adalah garam anhidrat disebut magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ) dan di, tri, dan pentahydrates dikenal sebagai barringtonite ( $\text{MgCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), nesquehonite ( $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), dan lansfordite ( $\text{MgCO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) (Margarete et al., 2005) Beberapa bentuk dasar seperti artinite ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), hydromagnesite ( $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), dan dypingite ( $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) juga terjadi sebagai mineral. Magnesit terdiri dari kristal trigonal putih. Garam anhidrat praktis tidak larut dalam air, aseton, dan amonia. Semua bentuk magnesium karbonat bereaksi asam. Magnesium karbonat mengkristal dalam struktur kalsit mana di  $\text{Mg}^{2+}$  dikelilingi oleh enam atom oksigen. Magnesium karbonat dihidrat memiliki struktur triklinik, sementara trihidrat memiliki struktur monoklinik.

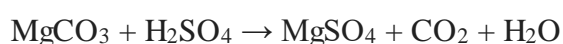
Magnesium karbonat biasanya diperoleh dengan pertambangan magnesit mineral. Magnesium karbonat dapat dibuat di laboratorium oleh reaksi antara setiap garam magnesium larut dan natrium bikarbonat:



Ketika larutan magnesium klorida (atau sulfat) ditambahkan dengan larutan natrium karbonat, endapan magnesium karbonat terbentuk:



Reaksi magnesium karbonat dengan asam menghasilkan magnesium halida atau magnesium sulfat dengan melepaskan karbon dioksida dan air:



Magnesium merupakan unsur terbanyak kedelapan yang ada di kerak bumi yang secara alami ditemukan dalam bentuk senyawa berupa dolomit ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ); magnesit ( $\text{MgCO}_3$ ); brusit ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) dan karnalit ( $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Terdapat enam sumber bahan baku untuk memproduksi magnesium diantaranya magnesit, dolomit, karnalit, serpentinit, bikosfit dan air laut (Park, 2008). Kelimpahan magnesium dalam air laut cukup tinggi sehingga air laut merupakan sumber paling besar untuk industri magnesium. Dari 1 m<sup>3</sup> air laut terdapat kira-kira satu juta ton magnesium (~0,001 ppm). Proses ekstraksi logam ini yang seringkali digunakan adalah Proses Dow.

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 :

- a. meningkatnya temperatur
- b. penurunan tekanan parsial CO<sub>2</sub>
- c. peningkatan pH
- d. laju alir
- e. 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 (Antony dkk, 2011).

Menurut penelitian D.S.Perwitasari dkk (2018) menganalisa Struvite ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) dengan menggunakan ion  $\text{Cu}^{2+}$  hasilnya bahwa struvite dapat menyerap potensial berkenaan dengan logam berat dalam larutan. Tingkat presipitasi struvite berkurang dengan adanya peningkatan kandungan logam ion. Analisis mineralogi ini telah digunakan untuk mengidentifikasi fase mineralogi dari presipitasi padat. Struvit merupakan mineral utama yang mengendalikan ion MAP memulihkan larutan pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan PH awal 6,5. Proporsi struvit yang signifikan yang mengandung logam berat diendapkan dalam larutan. Pengotor *sylvite* kecil terbentuk pada semua endapan. Padatan jika diamati tidak ada mineral bantalan logam sekunder spesifik yang ditemukan dalam logam berat. Kristal struvite memiliki morfologi prismatic, sementara ada distorsi morfologi dengan adanya logam berat pada permukaan kristal.

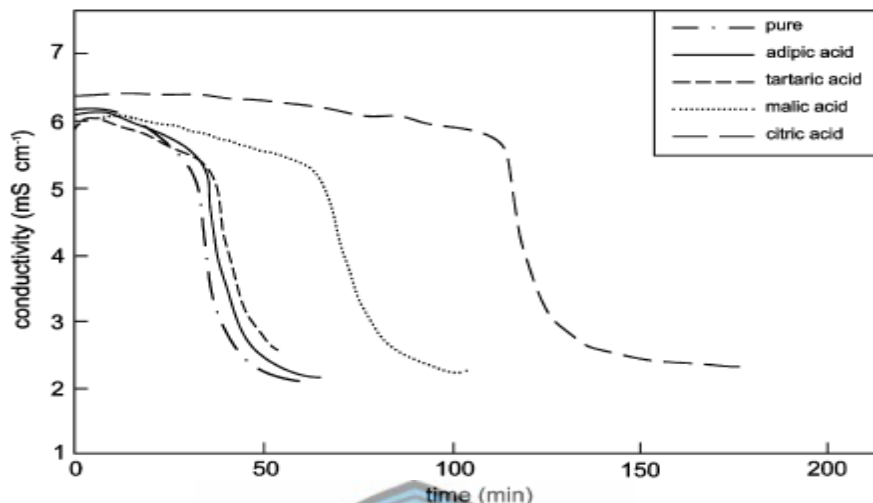
## 2.7 Waktu Induksi

Waktu induksi merupakan waktu yang dibutuhkan oleh ion dalam larutan untuk bereaksi sehingga membentuk inti kristal. Semakin kecil waktu induksi berarti semakin cepat inti kristal terbentuk, sebaliknya bila semakin besar berarti semakin lama inti kristal terbentuk. Inti kristal selanjutnya menjadi pusat-pusat pertumbuhan kerak sehingga semakin banyak inti yang terjadi akan semakin banyak jumlah kerak yang terbentuk. Ini berarti bahwa bila waktu induksi kecil maka jumlah kerak yang terbentuk akan semakin banyak (Ma'mun dkk,2013).

Cara mendapatkan waktu induksi digunakan pendekatan tertentu agar mudah untuk diamati. Pada umumnya waktu induksi didekati dengan melihat nilai konduktivitas larutan dimana bila terjadi penurunan nilai konduktivitas yang signifikan maka hal ini menandakan bahwa ion-ion mulai bereaksi membentuk inti kristal. Dari grafik didapatkan waktu induksi yaitu ditandai dengan perubahan garis yang signifikan (Sediono dkk,2011).

Sebelum terjadi pengintian garis mempunyai kecenderungan mendatar, setelah terjadi pengintian maka garis akan menurun cukup tajam.

Menurut Singh dan Middendorf (2007) menyajikan sebuah diagram tentang hubungan antara konduktivitas dan waktu sebagai berikut :



**Gambar 2.10** Waktu induksi tanpa aditif dan dengan penambahan beberapa aditif terhadap pembentukan kerak gipsum (Singh, N, B.Middendorf, 2007)

## 2.8 Penambahan aditif $\text{Cu}^{2+}$

Penggunaan aditif untuk zat yang kompleks, dalam menyesuaikan kebiasaan kristal serta kemurniannya. Pada konsentrasi rendah maka akan mempengaruhi kinetik *nucleation* dan pertumbuhan kristal. Hal ini menunjukkan bahwa aditif berfungsi untuk menghambat pertumbuhan kristal dengan cara memperlambat laju pertumbuhan kristal, meningkatkan nukleasi heterogen, mengendalikan dan menstabilkan endapan *polymorph*. Hal ini mempengaruhi jumlah aditif pada pengendapan garam yang berkaitan dengan adsorpsi pada permukaan. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya kerak yaitu dengan menjaga anion-kation pembentuk kerak tetap berada dalam larutannya. *Scale inhibitor* adalah suatu bahan kimia yang berfungsi menjaga anion-kation pembentuk kerak tetap berada dalam larutannya, sehingga diharapkan tidak terjadi pengendapan (Reddy dan Hoch,2010).

Menurut hasil penelitian Wiji Mangestiyono (2011) bahwa Penambahan aditif  $\text{Cu}^{2+}$  sebesar 10 ppm pada laju alir 50 ml/menit mampu menurunkan laju pertumbuhan kerak rata-rata menjadi  $2.179 \times 10^{-6}$  gram/menit dari sebelumnya  $5.624 \times 10^{-6}$  gram/menit. Penurunan laju pertumbuhan kerak yang terjadi adalah sebesar 61% maka bisa disimpulkan bahwa aditif

$\text{Cu}^{2+}$  mempunyai pengaruh baik untuk menghambat pertumbuhan kerak gipsium.

## 2.9 Aliran Laminer

Kata laminar berasal dari bahasa latin lamina, yang berarti lapisan atau plat tipis. Sehingga, aliran laminar berarti aliran yang berlapis-lapis. Lapisan-lapisan fluida akan saling bertindihan satu sama lain tanpa bersilangan seperti pada Gambar 2.11



aliran laminar adalah aliran fluida yang bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah dan fluidanya bergerak sejajar (laminae) & mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran fluida.

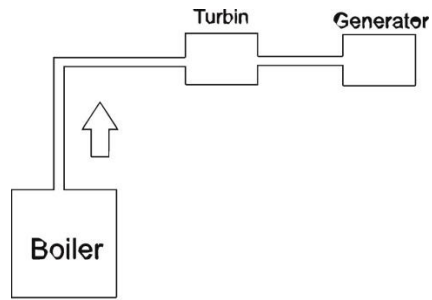
Partikel fluida mengalir atau bergerak dengan bentuk garis lurus dan sejajar. Laminar adalah ciri dari arus yang berkecepatan rendah, dan partikel sedimen dalam zona aliran berpindah dengan menggelinding (rolling) ataupun terangkat (saltation). Pada laju aliran rendah, aliran laminar tergambar sebagai filamen panjang yang mengalir sepanjang aliran. Aliran laminar mempunyai Bilangan Reynold lebih kecil dari 2300 (Faruk, U dan Kamiran, 2012).

Faruk, U. dan Kamiran, 2012. Analisis Pengaruh Aliran Turbulen Terhadap Karakteristik Lapisan Batas pada Plat Datar Panas, Jurnal Sains dan Seni, ITS Vol.1 No.1.



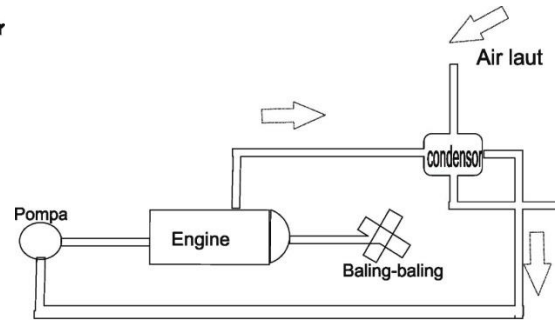
### 3.0 Gambar Aplikasi

Dari hasil penelitian ini bisa diaplikasikan ke dalam beberapa mesin diantaranya adalah



Sistem Pembangkit Listrik

Gambar.2.12



Sistem Pendingin Pada Mesin

Gambar 2.13



Sistem Pemadaman Kebakaran

Gambar 2.14