

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Garam

Garam (NaCl) atau natrium klorida merupakan zat mineral yang sangat penting bagi kesehatan manusia dan hewan, serta industri. Bentuk mineral halit, atau garam batu, kadang-kadang disebut garam biasa untuk membedakannya dari kelas senyawa kimia yang disebut garam.

(Frank Osborne Wood, 2020)



**Gambar 2. 1** Kristal Garam (Sumber: USGeological Survey)

Sifat garam biasa ditunjukkan dalam;

Properties of Salt	
Name of compound	sodium chloride
Chemical formula	NaCl
Formula weight	58,443
Colour	colourless or white when pure; coloured splotches (e.g., blue, purple) when impure
Lustre	vitreous
Physical form	transparent to translucent cubic crystals; also powder or granules
Mohs hardness	2 1/2
Density at 0° C (32° F)	2.17 g/cm <sup>3</sup>
Melting point	801° C (1,474° F)
Boiling point	1,465° C (2,669° F)
Solubility	water (s)*; glycerol (s); alcohol (ss)†; hydrochloric acid (i)‡
* (s) = soluble; † (ss) = slightly soluble; ‡ (i) = insoluble	

**Gambar 2. 2** Sifat dari Garam (Sumber:Encyclopædia Britannica)

Garam sangat penting untuk kesehatan manusia dan hewan. Garam meja, digunakan secara universal sebagai bumbu, berbutir halus dan memiliki kemurnian tinggi. Untuk memastikan bahwa zat higroskopis ini (yaitu, menyerap air) akan tetap mengalir bebas ketika terpapar ke atmosfer, sejumlah kecil natrium aluminosilikat, tricalcium fosfat, atau magnesium silikat ditambahkan. Garam beryodium — yaitu, garam yang ditambahkan sejumlah kecil kalium iodida — banyak digunakan di daerah di mana yodium kurang dari makanan,

kekurangan yang dapat menyebabkan pembengkakan kelenjar tiroid , yang biasa disebut goiter . Ternak juga membutuhkan garam; itu sering tersedia dalam blok padat.

Industri pengepakan daging, pembuatan sosis, perawatan ikan, dan pengolahan makanan menggunakan garam sebagai pengawet atau bumbu atau keduanya. Ini digunakan untuk menyembuhkan dan menjaga kulit dan sebagai air garam untuk pendinginan.

Dalam industri kimia , garam diperlukan dalam pembuatan natrium bikarbonat (soda kue), natrium hidroksida (soda kaustik), asam klorida , klor , dan banyak bahan kimia lainnya. Garam juga digunakan dalam pembuatan sabun , glasir, dan enamel porselen dan masuk ke dalam proses metalurgi sebagai fluks (suatu zat yang mendorong peleburan logam). Ketika diterapkan pada salju atau es, garam menurunkan titik leleh campuran. Dengan demikian, sejumlah besar garam digunakan di iklim utara untuk membantu membersihkan jalan dari akumulasi salju dan es. Garam digunakan dalam peralatan pelembut air yang menghilangkan senyawa kalsium dan magnesium dari air .

(Frank Osborne Wood, 2020)

Garam dapat dikategorikan menjadi empat jenis berdasarkan metode pemulihan (Kostick, 2005).

1. Garam evaporasi (atau garam pan vakum)

Sebuah natrium klorida dengan kemurnian tinggi, berbutir halus diproduksi oleh penguapan mekanis dari air garam menggunakan panas, umumnya dalam kombinasi dengan vakum. Metode yang paling banyak digunakan adalah merebus air garam jenuh di bawah vakum parsial dalam bejana tertutup yang dipanaskan dengan uap yang disebut panci vakum.

2. Garam surya (*Solar Salt*)

Garam surya dihasilkan oleh penguapan kolam dangkal, atau danau garam alami, oleh matahari dan angin. Air asin dipompa melalui serangkaian kolam konsentrat, menjadi semakin asin saat air menguap. Ketika air garam menjadi jenuh itu ditransfer ke kolam kristalisasi di mana garam disimpan sebagai hasil penguapan. Air garam sisa kemudian dikeringkan dan garam dipanen. Prosesnya memakan waktu hingga lima tahun.

3. Garam batu

Garam batu diproduksi dengan menambang, menghancurkan, dan menyaring endapan garam alami.

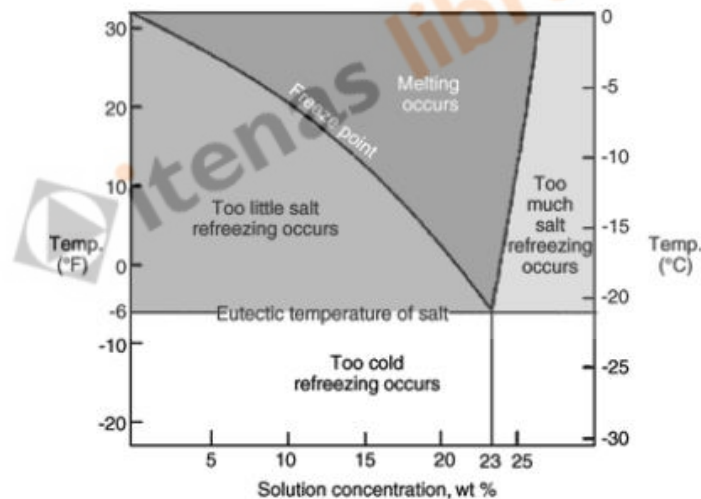
4. Garam asin (atau garam dalam asin)

Air garam adalah air garam alami; air garam yang dihasilkan dari penambangan larutan garam batu; atau, lebih jarang, dari pembubaran garam matahari atau endapan danau

playa alami. Ini dapat digunakan secara langsung sebagai bahan baku untuk pembuatan bahan kimia atau diproses di pabrik penguapan.

## 2.2 Komposisi Garam

Natrium klorida secara alami ada dalam bentuk kubik, kristal. Dalam keadaan murninya, ia tidak berwarna dan terdiri dari 60,663% berat Cl, berat atom 35,4527 (8), dan 39,337% berat Na, berat atom 22,989768 (9). Natrium klorida yang telah diproduksi secara komersial dapat berupa kristal diskrit dalam berbagai rentang ukuran, butiran bubuk halus, dan pelet atau blok terkompresi. Jika diamati dengan pembesaran, semua bentuk natrium klorida berbentuk kristal. Tergantung pada gradasi dan bentuk komersialnya, garam bisa berwarna putih, abu-abu, kemerahan, atau bahkan kecoklatan. Warnanya dapat dikaitkan dengan kotoran yang ada, baik yang tersumbat atau pada permukaan kristal. Kristal besar dari halit yang tampaknya mengkristal kembali yang ditemukan di beberapa tambang garam tidak berwarna dan transparan.



**Gambar 2. 3** Diagram fasa Garam (Sumber : Kirk Othmer)

Garam larut dalam pelarut polar, tidak larut dalam jenis nonpolar. Kelarutan natrium klorida murni dalam air dan pelarut lainnya diberikan pada Gambar 2.4.

**Table 3. Solubility of Pure Sodium Chloride**

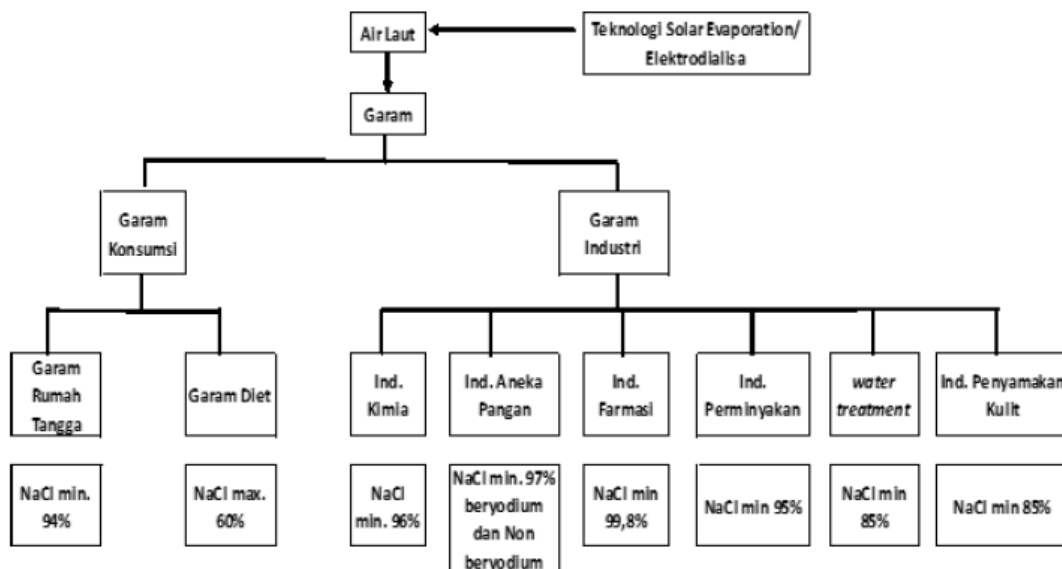
Solvent	Temperature, °C	NaCl, g/100 g solvent
ethanol	25	0.065
ethylene glycol	25	7.15
formic acid	25	5.21
glycerol	25	10
hydrochloric acid		insol
liquid ammonia	-40	2.15
methanol	25	1.40
monoethanolamine	25	1.86
water	0	35.7
	100	39.12
	120	39.8

**Gambar 2. 4** Kelarutan NaCl Murni (Sumber : Kirk Othmer)

Larutan natrium klorida murni dalam air memiliki pH 7. Diagram fase untuk sistem natrium klorida-air ditunjukkan pada Gambar 2. Komposisi campuran eutektik, 23,31% berat NaCl, juga dapat dinyatakan sebagai 37,68% berat  $\text{NaCl}_2\text{H}_2\text{O}$  dan 62,32% berat air. Pada suhu rendah, air garam lebih pekat dari pada 23,31% berat deposit NaCl yang besar, kristal dari natrium klorida dihidrat monoklinik. Kristal-kristal ini, meskipun penampilannya mirip dengan es, bersifat birefringent dan menyebabkan pembekuan timbunan garam jalan raya yang lembab selama penyimpanan dalam cuaca dingin.

### 2.3 Jenis Garam dan Pemanfaatannya

Berbeda dengan klasifikasi garam dunia, klasifikasi garam nasional secara garis besar dikelompokkan menjadi dua jenis garam yaitu garam konsumsi dan garam industri. Pengklasifikasian tersebut didasarkan pada Peraturan Menteri Perindustrian No. 88/M-IND/PER/10/2014 tentang perubahan atas Peraturan Menteri Perindustrian No. 134/M-IND/PER/10/2009 tentang peta panduan (roadmap) pengembangan klaster industri garam (Gambar 2.5).



**Gambar 2. 5** Pengelompokan Garam Berdasarkan Permenperin No. 88/M-IND/PER/10/2014.

(Sumber: Permenperin No. 88/M-IND/PER/10/2014)

Berdasarkan Permenperin No. 88/M-IND/PER/10/2014 yang dimaksud dengan garam konsumsi adalah garam yang digunakan untuk konsumsi masyarakat atau dapat diolah menjadi garam rumah tangga dan garam diet. Garam rumah tangga adalah garam konsumsi beryodium dengan kandungan NaCl minimal 94% atas dasar basis kering (adbk) dengan kandungan air maksimum 7%, bagian yang tidak larut dalam air maksimum 0,5 mg/Kg (adbk), Kadmiun (Cd) maksimum 0,5 mg/Kg, Timbal (Pb) maksimum 10,0 mg/ Kg, Raksa (Hg) maksimum 0,1 mg/kg dan cemaran Arsen (As) maksimum 0,1 mg/Kg serta Kalium Iodate (KIO<sub>3</sub>) minimal 30 mg/kg yang berbentuk padat dan dapat dikonsumsi langsung oleh masyarakat. Sementara itu, yang dimaksud dengan garam diet adalah garam konsumsi beryodium berbentuk cairan/padat dengan kadar NaCl maksimum 60% (adbk) serta Kalium Iodate (KIO<sub>3</sub>) 30 mg/Kg yang dapat dikonsumsi langsung oleh masyarakat.

Garam industri pada peraturan Menteri Perindustrian No. 88 Tahun 2014 tersebut adalah garam yang digunakan sebagai bahan baku/bahan penolong yang digunakan pada proses produksi pada industri kimia, industri aneka pangan, industri farmasi, industri perminyakan, industri penyamakan kulit dan water treatment. Garam industri yang digunakan tersebut memiliki spesifikasi teknis yang berbeda-beda bergantung pada jenis industrinya.

1. Garam Industri Kimia adalah jenis garam yang digunakan untuk memproduksi senyawa kimia antara lain Chlor Alkali Plant (CAP), dengan standar *high grade*, dengan kadar

NaCl minimum 96% (adbk), kadar air (b/b) maksimum 2,5%, Calsium (Ca) maksimum 0,1%. Hasil produk CAP digunakan untuk industri kertas, industri PVC, sabun (deterjen) dan tekstil.

2. Garam industri aneka pangan adalah garam beryodium maupun tidak beryodium yang digunakan sebagai bahan baku/bahan penolong pada industri aneka pangan untuk memproduksi makanan atau minuman. Spesifikasi teknis yang dibutuhkan pada garam industri aneka pangan adalah garam beryodium maupun tidak beryodium dengan standar *food grade* dan telah diolah dengan tingkat kehalusan tertentu dengan kadar NaCl minimum 97% (adbk), Calsium (Ca) maksimum 0,06%, Magnesium (Mg) maksimum 0,06%, kadar air (b/b) maksimum 0,5%, bagian yang tidak larut dalam air maksimum 0,5% dan cemaran logam Kadmium (Cd) maksimum 0,5 mg/Kg, Timbal (Pb) maksimum 10 mg/Kg, Raksa (Hg) maksimum 0,1 mg/Kg dan Arsen (As) maksimum 0,1 mg/Kg untuk garam beryodium minimum 30 mg/Kg. Garam jenis ini banyak digunakan untuk industri mie, bumbu masak, biskuit, minuman gula, kecap, mentega dan pengalengan ikan.
3. Garam industri farmasi adalah jenis garam yang digunakan pada industri farmasi sebagai bahan baku/bahan penolong dengan spesifikasi kadar NaCl minimal 99,8% (adbk), kadar impurities mendekati 0%. Garam jenis ini banyak digunakan untuk pembuatan cairan infus, cairan pembersih darah (*Haemodialisa*) atau garam murni.
4. Garam industri perminyakan adalah garam yang digunakan sebagai bahan penolong pada proses pengeboran minyak. Spesifikasi garam industri perminyakan yaitu garam dengan kadar NaCl minimal 95% (adbk), Sulfat (SO<sub>4</sub>) maksimum 0,5%, Calsium (Ca) maksimum 0,2% dan Magnesium (Mg) maksimum 0,3% dengan kadar air 3% sampai dengan 5%.
5. Garam industri penyamakan adalah garam yang digunakan sebagai bahan penolong pada proses penyamakan kulit. Spesifikasi garam untuk industri tersebut adalah garam yang peruntukannya sebagai bahan penolong dengan standar NaCl minimal 85% (adbk).
6. Garam *water treatment* adalah garam yang digunakan sebagai bahan penolong pada proses penjernihan air dan/atau pelunakan air pada *boiler*. Spesifikasi yang dibutuhkan pada garam untuk *water treatment* adalah kadar NaCl minimal 85% yang peruntukannya sebagai bahan penolong untuk penjernihan air. Sedangkan, untuk

pelunakan air pada *boiler* dibutuhkan spesifikasi garam dengan tingkat kadar NaCl minimal 95%.

## 2.4 Proses pembuatan garam

### 2.4.1 Proses pembuatan garam secara umum

Terdapat 4 jenis cara memproduksi garam;

#### 1. Pertambangan larutan diikuti evaporasi mekanik

Sebuah endapan garam di bawah tanah dapat ditambang dengan cara mengebor sumur halite, caranya dengan menyuntikkan air segar atau air daur ulang melalui selubung sumur untuk melarutkan garam, dan dibiarkan beberapa waktu sampai air garam mencapai kejenuhan natrium chloride. Pertambangan larutan disebut juga sumur kelas III dengan kedalaman 150 hingga 1500 m, metode ini dapat beroperasi dengan satu sumur atau dihubungkan dengan beberapa sumur. Brine diproduksi dari sebuah sumur yang disuntikkan air ke dalam endapan garam melalui pipa kemudian mengekstraksi air garam melalui anulus konsentris antara pipa dan selubung sumur. Air disuntikkan kedalam satu sumur di sebuah multi ladang air garam yang terlarutkan. Air garam yang dihasilkan diekstraksi melalui sumur lain di dalam ladang air garam. Impuritis yang tidak larut seperti anhidrit mengendap di bawah tanah, sedangkan air garam natrium klorida jenuh disebut green brine (tidak diolah atau dimurnikan, dipompa ke tangka penampungan di permukaan. Teknologi solution mining harus memperhatikan ukuran dan bentuk gua dan meminimalkan potensi penurunan permukaan tanah. Air garam hijau dipompa dari gua bawah tanah dan diangkut melalui pipa ke sekitar penyulingan garam untuk diproses menjadi butiran garam atau bias juga digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi chloroalkali. Butiran garam diproduksi di dalam vacuum pan evaporator untuk menghilangkan warna menjadi putih, hampir seluruh garam food grade yang dijual di amerika serikat diproduksi dengan vacuum pan evaporator dari brine jenuh, sebelum proses penguapan air garam dapat diolah secara kimiawi untuk menghilangkan hardness mineral yang mempengaruhi kemurnian garam, dan dapat menyebabkan kerak pada evaporator. Treatment ini mengurangi jumlah kalsium terlarut, magnesium, dan beberapa sulfat. Senyawa kimia yang digunakan untuk memproses green brine adalah calcium hydroxide,  $\text{Ca(OH)}_2$ ;

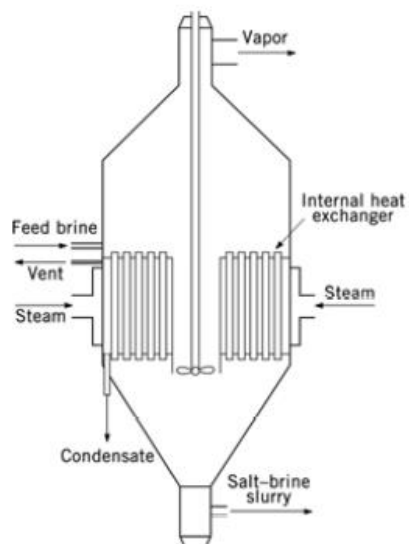


sodium carbonate,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; sodium hydroxide,  $\text{NaOH}$ ; calcium chloride,  $\text{CaCl}_2$ ; flocculating agents; dan stack gas,  $\text{CO}_2$ . Perawatan asam sulfat atau klorinasi dapat digunakan untuk itu menghilangkan hidrogen sulfida, dan asam klorida menetralkan air garam yang digunakan dalam produksi sel diafragma dari klorin dan soda kaustik. Pemurnian air garam menjadi semakin penting untuk produksi garam dengan kemurnian tinggi untuk digunakan dalam produksi kloralkali, terutama di Eropa di mana garam kering digunakan secara luas untuk tujuan ini.

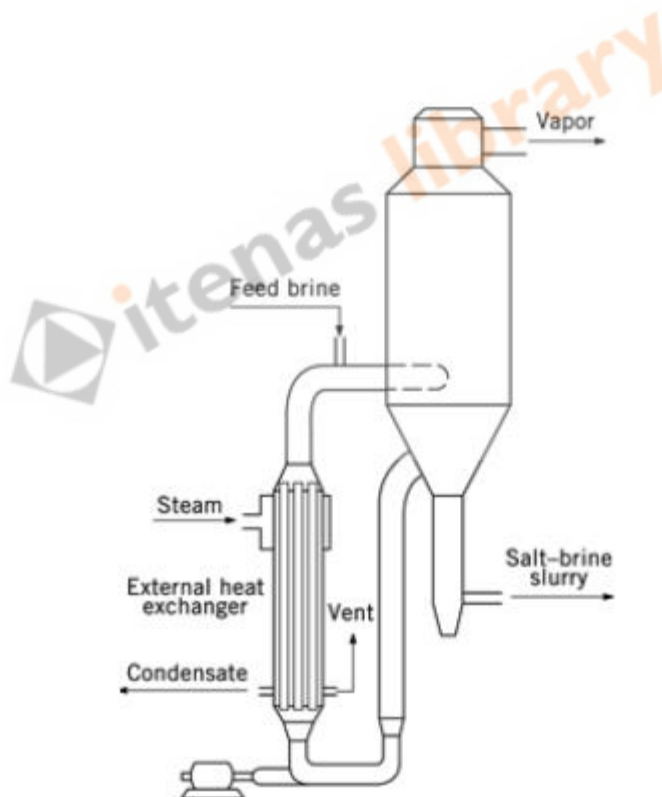
Air diuapkan dari air garam yang dimurnikan menggunakan evaporator rekompresi (Gbr. 2.6 dan 2.7). Sistem multi-efek biasanya berisi tiga atau empat bejana evaporasi sirkulasi paksa (Gbr. 2.7) yang terhubung bersama dalam satu seri. Panas disuplai oleh uap dari boiler dan uap ini diumpukan dari satu evaporator ke evaporator berikutnya untuk meningkatkan efisiensi energi dalam sistem multi-efek. Evaporator sirkulasi paksa kompresi ulang uap terdiri dari crystallizer, kompresor, dan scrubber uap. Feed brine memasuki bejana crystallizer, dimana garam diendapkan. Uap ditarik, diserap, dan dikompresi untuk digunakan kembali dalam pemanas. Akhirnya, weak brine dari proses tersebut didaur ulang ke gua tambang larutan. Garam yang mengkristal dikeluarkan dari kaki elutriasi sebagai slurry. Evaporator kompresi ulang lebih hemat energi daripada evaporator efek ganda, tetapi membutuhkan daya listrik berbiaya lebih tinggi untuk masukan energi.

Pengembangan single stage compressors telah mengurangi biaya secara signifikan. Selama abad ke-20, produsen garam membuat kemajuan signifikan dalam menurunkan konsumsi energi dan dalam mengurangi penggaraman dan pengotor di evaporator. slurry garam dari salah satu jenis evaporator dikeringkan terlebih dahulu dengan sentrifugasi atau pengeringan vakum, diikuti dengan rotary kiln atau pengeringan unggun terfluidisasi. Kadar air produk akhir adalah 0,05% atau kurang.





**Gambar 2. 6** Calandria evaporator



**Gambar 2. 7** Forced- Circulation evaporator

## 2. Open Pans Evaporator

Metode yang jarang digunakan untuk menghasilkan garam evaporasi adalah melalui penambahan panas dalam *pans* terbuka. Prosesnya menciptakan serpihan garam, bukan kristal. Serpihan terbentuk di permukaan air garam dan didukung oleh tegangan permukaan. Serpihan garam ditambang secara terus menerus untuk meningkatkan ukurannya. Serpihan tersebut mengendap ke dasar panci sebagai kristal berbentuk hopper. Produk dikumpulkan dengan penggaruk mekanis, dan dikeringkan. Proses tersebut dipengaruhi oleh banyak variabel yang dapat mempengaruhi kualitas produksi, seperti suhu lingkungan, kelembaban, dan kemurnian air garam.

Pasar untuk serpihan garam ada dalam aplikasi makanan yang menginginkan produk garam serpihan yang lebih kasar. Karena proses saringan tidak hemat energi, proses ini dimodifikasi untuk membuatnya lebih murah untuk diproduksi. Salah satu variasi yang masih digunakan adalah proses Alberger, metode penggiling yang dimodifikasi secara radikal yang menghasilkan kombinasi serpihan garam dan kristal garam. Garam Albergue kurang padat daripada garam evaporasi. Garam kosher dapat dibuat dengan proses Alberger. Garam dendritik, konfigurasi kepingan salju, dibuat dengan mengubah kristal kisi dengan prussiate kuning soda (YPS) (sodium hexacyanoferrate) ke air garam. Kristal dendritik memiliki kepadatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan garam evaporasi dan lebih rapuh. Garam yang dimurnikan dapat diproduksi melalui proses rekristalisasi, tetapi tidak lagi digunakan secara luas di Amerika Serikat karena alasan ekonomi. Brine dibuat dengan melarutkan halit, garam batu atau garam surya dimurnikan dan kemudian diumpankan ke vacuum pans evaporator untuk menghasilkan garam evaporasi dengan kemurnian tinggi.

Pembuatan garam dengan proses open pan ini menggunakan bahan baku brine yang berasal dari proses pemanasan air laut. Proses ini disebut juga proses "Grainer", dimana air laut dijenuhkan dengan cara memanaskan pada heater pada suhu 230°F (110°C). Larutan brine panas kemudian diumpankan pada graveller yang berfungsi untuk memisahkan calcium sulfate pada larutan brine. Larutan brine kemudian didinginkan pada flasher dengan suhu yang dijaga agar garam (NaCl) masih dalam kondisi larut dalam air. Larutan brine dingin kemudian diumpankan ke open pan yang berfungsi untuk menguapkan air

dengan suhu operasi 205°F (96°C) sehingga dihasilkan kristal garam yang kemudian dipisahkan dari mother liquor pada centrifuge. Mother liquor kemudian direcycle kembali pada open pan pan, sedangkan kristal garam yang terpisah kemudian ditambahkan kalium yodat untuk penambahan kandungan yodium pada garam sehingga dihasilkan sodium chloride.

Sodium chloride kemudian dikeringkan pada dryer dan kemudian disaring untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Sodium chloride kemudian siap dikemas dan dipasarkan. Yields yang dihasilkan pada proses ini adalah 99,9%

### 3. Penambangan bawah tanah konvensional

Batuan garam didapatkan dari hasil penggalian yang kedalamannya tidak begitu dalam. Batuan garam juga terkenal dengan sebutan karang garam, batuan garam terbentuk akibat mengeringnya samudra pada jutaan tahun yang lalu. Cadangan terbesar garam batu ditemukan di Amerika Serikat, Kanada, Jerman, Eropa timur, dan Cina. Karena adanya tekanan dari dalam bumi maka terbentuklah kubah garam, kejadian ini bisa ditemukan di Amerika Serikat di sepanjang pantai teluk Texas dan Louisiana.

Pengolahan garam batu secara umum terdiri dari beberapa tahap mulai dari penggalian batuan lalu proses crushing, grinding, screening lalu dihasilkan garam. Berikut ini adalah tahapan secara detail pengolahan garam batu yang dilakukan oleh beberapa perusahaan tambang garam.

1. Sedimen garam bawah tanah biasanya ditemukan oleh *prospectors* dengan mencari air atau minyak. Ketika garam terdeteksi, bor berongga digunakan untuk mengambil sampel di beberapa lubang teratur di seluruh area sedimen. Sampel ini dianalisis untuk menentukan apakah pertambangan garam akan menguntungkan.
2. Ketika sebuah area telah dipilih untuk mulai pertambangan, lubang digali hingga ke tengah sedimen atau deposit garam. Kemudian mesin bergergaji digunakan untuk memotong slot dengan tinggi sekitar 6,0 inci (15 cm), lebar sekitar 66 kaki (20 m, dan kedalamannya sekitar 10 kaki (3 m) hingga ke dasar lapisan. Proses ini dikenal sebagai *undercutting*. Serangkaian lubang dibor ke dalam garam yang telah di-*undercut* dengan bor listrik yang mengandung

sedikit tungsten karbida. Lubang ini diisi dengan bahan peledak seperti dinamit atau amonium nitrat. Tutup peledak listrik dipasang dengan kabel panjang, dan ledakan dilakukan dari jarak yang aman. Pemotongan dan peledakan diulang dan meninggalkan bentuk pilar garam untuk mendukung daerah atap pertambangan. Hal ini dikenal sebagai metode ruang-dan-pilar dan juga digunakan di tambang batubara.

3. Potongan-potongan garam batu yang telah hancur lalu diangkut ke area penghancuran bawah tanah. Di sini mereka melewati kisi yang dikenal sebagai grizzly yang akan mengumpulkan potongan-potongan kecil berukuran sekitar 9 inci (23 cm). Potongan yang lebih besar hancur dalam silinder berputar di antara rahang dengan logam berduri. Garam tersebut kemudian diangkut ke luar tambang menuju ke area proses penghancuran sekunder dimana grizzly yang lebih kecil dan crusher yang lebih kecil akan mengurangi ukuran partikel garam menjadi sekitar 3,2 inci (8 cm). Pada proses ini benda asing seperti kotoran akan dihapus dari garam, proses yang dikenal sebagai *picking*. Logam akan dihapus oleh magnet dan bahan-bahan lain dengan tangan. Material batuan-batuan juga dapat dihilangkan dalam Penghancur Bradford, yaitu drum metal yang berputar dengan lubang kecil di bagian bawah. Garam dimasukkan ke drum, lalu dipecah ketika bertubrukan di bagian bawah, dan melewati lubang. Batuan-batuan umumnya lebih keras dari garam, sehingga tidak pecah dan tidak akan melewati alat tersebut. Garam yang lolos kemudian dipindahkan ke area penghancuran tersier, di mana grizzly paling kecil dan crusher akan menghasilkan ukuran partikel sekitar 1,0 inci (2,5 cm). Jika diinginkan partikel garam lebih kecil, maka garam dilewatkan melalui penggiling terdiri dari dua silinder logam bergulir terhadap satu sama lain. Jika diinginkan garam murni, maka garam dilarutkan dalam air untuk membentuk air garam untuk diproses lebih lanjut. Biasanya garam dihancurkan atau ditumbuk lalu dilewatkan melalui penyaring untuk dipisahkan berdasarkan ukuran, dituangkan ke dalam *bag packing*, dan dikirim ke konsumen.

#### 4. Solar salt evaporation

Solar salt evaporation dihasilkan dari penguapan alami air laut. Penguapan dilakukan dengan radiasi matahari dan aksi angin, menghasilkan air garam pekat yang mengandung garam mineral terlarut. Proses pemisahan jenis kristal dikenal sebagai kristalisasi fraksional. Kalsium karbonat, yang kurang larut dalam air garam pekat, adalah yang pertama mengkristal. Proses penguapan matahari komersial yang relatif sederhana membutuhkan lahan datar yang luas, curah hujan rendah, sinar matahari yang melimpah, dan sedikit angin untuk memberikan hasil yang optimal. Lokasi di dekat sumber air asin, seperti pantai atau danau air asin, sangat ideal. Juga bermanfaat untuk memiliki akses ke alat transportasi yang tidak mahal untuk mengangkut produk akhir, setelah diproduksi. Jika lokasi produksi terletak di dekat pantai dan lokasi perairan maka merupakan keuntungan ekonomi bagi kapal pemuat bulk. Konsentrasi padatan terlarut di air laut, meskipun bervariasi menurut lokasi dan kedalaman, rata-rata 3,5 wt% (3,6 Be°) dan 77% dari total padatan terlarut, yaitu 2,7% berat air laut (lihat Tabel 1), adalah natrium klorida. Volume air laut harus dikurangi hingga 90% sebelum natrium klorida mulai mengkristal pada konsentrasi 25,8% berat NaCl (25,4 Be°). Presipitasi natrium klorida yang paling menguntungkan terjadi antara 26 Be° dan 29 atau 30 Be°. Di atas 30 Be°, kadar magnesium yang tinggi mengurangi laju penguapan ke tingkat yang tidak dapat diterima. Pada 29 Be°, 72% dari NaCl telah mengendap; di 30 Be°, 79% telah mengendap. Larutan yang tersisa adalah air garam magnesium yang sangat pekat, disebut sebagai bittern karena rasanya yang pahit. Bittern baik dapat dibuang atau dikumpulkan untuk kristalisasi produk tambahan. Air garam yang pekat ditambahkan ke natrium klorida yang mengkristal di kolam kristalizer dan proses kristalisasi berlanjut.

Garam yang diproduksi dengan tenaga surya menghasilkan 400.000 ton / tahun natrium klorida dengan luas lahan 4000 ha atau lebih, tergantung pada kondisi iklim. Kontrol air garam yang tepat selama konsentrasi dan hasil kristalisasi yaitu dengan kemurnian > 99,7% NaCl pada basis kering. Produksi garam matahari dimulai saat air laut, memasuki sistem kolam surya dan bergerak secara bergantian dari satu kolam ke kolam berikutnya baik dengan memompa atau dengan gravitasi. Jumlah aliran dikontrol dengan gerbang mekanis untuk menjaga kepadatan air asin target dan ketinggian kolam. Besi,

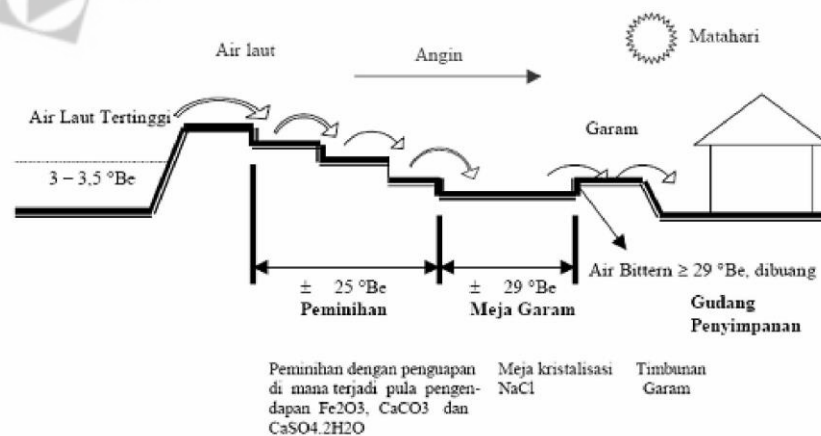
kalsium, dan magnesium karbonat mengkristal ketika konsentrasi air garam adalah 3,5–13 Be°. Sekitar 85% dari kalsium sulfat dikristalisasi sebagai gipsum dan kemudian sebagai anhidrit pada konsentrasi air garam dari 13 sampai 25,4 Be°. Ketika air garam mencapai kristalisasi, di sana masih mengandung kalsium sulfat terlarut, magnesium sulfat, magnesium klorida, dan sejumlah kecil kalium klorida, ditambah sejumlah kecil elemen lain yang ada dalam air laut. Air garam jenuh pada berat jenis 25,4° Be° diumpungkan ke dalam kolam kristalisasi persegi panjang yang dangkal untuk mempertahankan kedalaman air asin 30 cm atau kurang. Endapan natrium klorida dengan penguapan terus menerus, membentuk lapisan garam setebal 10-25 cm. Seringkali *plant* garam pertama yang disimpan tetap berada di dasar alat kristalisasi sebagai dasar garam untuk mencegah kontaminasi tanah dan untuk meningkatkan kekuatan dasar kristalisasi, cara tersebut menyebabkan beban pada alat panen. Saat air garam *crystallizer* mencapai 25–30 Be°, *bittern* akan pahit karena sebagian besar magnesium sulfat, magnesium klorida, dan kalium klorida akan terkandung di dalam *bittern*. Dibutuhkan waktu hingga 2 tahun untuk menghasilkan garam sejak air laut dimasukkan ke dalam sistem kolam garam. Di belahan bumi Barat, *plant* garam baru dipanen dengan menggunakan alat berat dan sumber daya manusia yang sangat sedikit. Biasanya, alat pemanen garam yang digunakan berupa *elevating scrapers* untuk mengeruk garam yang sudah terkristal di meja penggaraman, dan Gudang penyimpanan yang besar untuk menyimpan hasil panen. Garam yang dipanen dimuat ke truk dan diangkut ke tempat pencucian, di mana garam dicuci dengan air garam bersih yang hampir jenuh untuk menghilangkan materi partikulat dan untuk menggantikan *brine* yang masih terdapat magnesium yang menempel pada kristal garam. *Brine* pencuci, dibuat dengan melarutkan garam halus di kolam pengendapan, yang bebas dari pengotor magnesium dan sulfat. *Brine* pencuci didaur ulang dengan menambahkan air laut yang dilarutkan garam halus yang terkumpul selama pencucian. *Brine* atau air laut kadang-kadang digunakan sebagai pencuci garam akhir; namun, kerugian produksi karena *dissolution* meningkat. Setelah dicuci, garam ditimbun dan dibiarkan mengalir. Tindakan pembilasan disediakan oleh curah hujan yang rendah yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas garam. Sebelum pengiriman, *solar salt* yang ditimbun akan dikuras, dan didiamkan untuk mencapai tingkat kelembapan 3,5%. Pengolahan lebih lanjut mirip

dengan pengolahan rock salt yang ditambang. Solar salt dapat dihancurkan, disaring dan dipisahkan menjadi berbagai tingkatan, dan sering kali dikeringkan dengan tungku atau unggun terfluidisasi. Garam solar kasar merupakan produk premium karena kemurnian tinggi dan ukuran kristal yang relatif besar, sehingga sangat cocok digunakan untuk meregenerasi air pelembut resin pada cation-exchanger .

(Kirk Othmer,2007)

#### 2.4.2 Proses pembuatan garam di indonesia

Produksi garam nasional berasal dari industri garam rakyat sebesar 70% dan PT. Garam sebesar 30% (Mahdi, 2007). Ada tiga metode proses pembuatan garam berdasarkan sumbernya, yaitu sistem kristalisasi total air laut, pembuatan garam dari larutan garam alamiah, dan pengambilan garam dari batuan garam atau melalui penambangan (Prasetyaningsih, 2008). Metode yang umum dilakukan di negara tropis termasuk Indonesia, yaitu sistem kristalisasi total air laut. Prinsip utama metode ini adalah kristalisasi garam dari air laut dengan menggunakan sinar matahari untuk menguapkan air laut. Metode ini memerlukan tiga kolam utama, yaitu kolam penampungan air laut, kolam pemekatan, dan kolam kristalisasi (Noviani, 2007).



**Gambar 2. 8** Proses pembuatan garam dengan metode sistem kristalisasi total air laut (Purbani, 2011).

Proses *solar evaporation* secara lebih detail dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut (Puska PDN, 2011):



1. Air laut dimasukkan ke dalam waduk penampungan pada saat pasang melalui saluran induk;
2. Dari waduk penampungan garam dipompa ke areal penguapan pada level yang tertinggi;
3. Dari areal penguapan yang mempunyai level paling tinggi air dialirkan secara gravitasi ke petak penguapan lainnya. Dalam perjalanannya air laut dipetak penguapan ini mendapatkan pemanasan sinar matahari dan hembusan angin sehingga terjadilah penguapan, hingga air laut menjadi jenuh (konsentrasi air garam tinggi atau pekat);
4. Air laut yang jenuh dialirkan ke petak kristalisasi untuk mengkristalkan garam;
5. Di petak kristalisasi ini, garam dibiarkan mengendap dengan jangka waktu:
  - Pegaraman Rakyat tiap umur garam 4-6 hari lalu dipanen
  - Pegaraman PT. Garam tiap umur +/- 10 hari lalu dipanen
6. Garam yang sudah dipungut lalu diangkut ke gudang untuk diproses lebih lanjut.
  - Langsung dikarungi dan dijual sebagai garam bahan baku
  - Dicuci (*washing*), dikeringkan (*drying*) dan digiling (*crushing*) menjadi garam meja (halus)

Teknologi pembuatan garam rakyat masih tradisional, baik ditinjau dari peralatannya maupun proses produksinya:

- Tata letak: Petakan trap luasan kecil (waduk kecil, paminihan yang kadang-kadang merangkap sebagai meja kristalisasi; di beberapa tempat disediakan tempat timbunan garam. Luas areal per unit pegaraman adalah 0,5-3 hektar.
- Pungutan: Pungutan garam langsung di atas lantai tanah. Umur pungutan garam 3-5 hari; cara pungutan dengan menggunakan tenaga manusia (padat karya).
- Pengangkutan dan *handling*: dipikul, sepeda, *pick-up* mini

## 2.5 Faktor-faktor yg mempengaruhi hasil panen

Adapun faktor-faktor teknis yang mempengaruhi produksi garam rakyat adalah sebagai berikut (Purbani, 2011);

a. Air laut

Mutu air laut (terutama dari segi kadar garamnya (termasuk kontaminasi dengan air sungai) sangat mempengaruhi waktu yang diperlukan untuk pemekatan (penguapan).

b. Keadaan cuaca

- Panjang kemarau berpengaruh langsung terhadap daya penguapan air laut.
- Curah hujan (intensitas) dan pola hujan distribusinya dalam setahun rata-rata merupakan indikator yang berkaitan erat dengan panjang kemarau yang kesemuanya mempengaruhi daya penguapan air laut.
- Kecepatan angin, kelembaban udara, dan suhu udara sangat mempengaruhi kecepatan penguapan air, dimana semakin besar penguapan maka semakin besar jumlah kristal garam yang mengendap.

c. Tanah

- Sifat porositas tanah mempengaruhi kecepatan perembesan (kebocoran) air laut ke dalam tanah di peminihan ataupun di meja.
- Bila kecepatan perembesan ini lebih besar daripada kecepatan penguapannya, apalagi bila terjadi hujan selama pembuatan garam, maka tidak akan dihasilkan garam.
- Jenis tanah mempengaruhi pula warna dan ketidakmurnian (*impurity*) yang terbawa oleh garam yang dihasilkan.

d. Pengaruh air

- Pengaturan aliran dan tebal air dari peminihan satu ke berikutnya dalam kaitannya dengan faktor-faktor arah kecepatan angin dan kelembaban udara merupakan gabungan penguapan air (koefisien perpindahan massa).
- Kadar/kepekatan air tua yang masuk ke meja kristalisasi akan mempengaruhi mutu hasil.
- Pada kristalisasi garam, konsentrasi air garam harus antara 25-29 °Be. Bila konsentrasi air tua belum mencapai 25 °Be maka gips (kalsium sulfat) akan banyak mengendap, bila konsentrasi air tua lebih dari 29 °Be Magnesium akan banyak mengendap.

e. Cara pungutan garam

Segi ini meliputi jadwal pungutan, umur kristalisasi garam dan jadwal pengerjaan tanah meja (pengerasan dan pengeringan). Demikian pula kemungkinan dibuatkan alas meja dari kristal garam yang dikeraskan, semakin keras alas meja semakin baik.

Pungutan garam ada 2 sistem:

- Sistem Portugis  
Pungutan garam di atas lantai garam, yang terbuat dari kristal garam yang dibuat sebelumnya selama 30 hari, berikut tiap 10 hari dipungut.
- Sistem Maduris  
Pungutan garam yang dilakukan di atas lantai tanah, selama antara 10-15 hari garam diambil di atas dasar tanah.

f. Air *bittern*

Air *bittern* merupakan air sisa kristalisasi yang sudah banyak mengandung garam-garam magnesium (pahit). Air ini sebaiknya dibuang untuk mengurangi kadar Mg dalam hasil garam, meskipun masih dapat menghasilkan kristal NaCl. Sebaiknya kristalisasi garam di meja terjadi antara 25-29 °Be, sisa *bittern*  $\geq 29$  °Be dibuang.

## 2.6 Produk Garam Indonesia dan Australia

### 2.6.1 Produk Garam Indonesia

Berdasarkan pemanfaatannya garam dikelompokkan atas dua kelompok yaitu garam konsumsi dan garam industri. Garam konsumsi berdasarkan SNI kandungan NaCl-nya minimal 94,7%, Sulfat, Magnesium dan Kalsium maksimum 2%, dan kotoran lainnya (lumpur dan pasir) maksimum 1% atas dasar persen berat kering (dry basis), serta kadar air maksimal 7%. Kualitas garam dapat diklasifikasikan berdasarkan kandungan NaCl dan kandungan airnya. (BRKP, 2006). Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dapat dibedakan 3 (tiga) kualitas garam, yaitu;

1. K-1 yaitu kualitas terbaik yang memenuhi syarat untuk bahan industri maupun untuk konsumsi dengan komposisi sebagai berikut:

- NaCl : 97,46 %
- CaCl<sub>2</sub> : 0,723 %
- CaSO<sub>4</sub> : 0,409 %
- MgSO<sub>4</sub> : 0,04 %
- H<sub>2</sub>O : 0,63 %
- Impurities : 0,65 %

2. K-2 yaitu kualitas di bawah K-1, garam jenis ini harus dikurangi kadar berbagai zat agar memenuhi standar sebagai bahan baku industri. Kadar garam ini berkisar antara 90-94 %.

3. K-3 merupakan garam kualitas terendah sebagai produksi rakyat. Biasanya kadarnya antara 88-90 %, kadang-kadang bercampur tanah, sehingga warnanya agak kecoklatan.

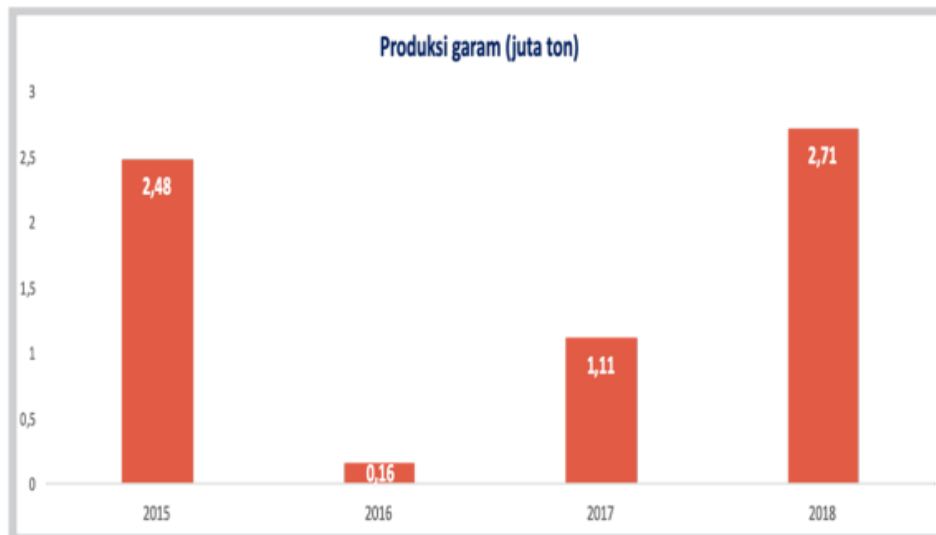
No.	Substance	Ks
Kualitas I	NaCl>98%	Kandungan Air Maksimum 4%
Kualitas II	94.4%<NaCl<98%	Kandungan Air Maksimum 5%
Kualitas III	NaCl<94%	Kandungan Air >5%

**Gambar 2. 9** Kualitas Garam Berdasarkan Kandungan NaCl (sumber : PT. Garam, 2000)

Untuk menghasilkan garam dengan mutu baik, maka senyawa-senyawa Kalsium dan Magnesium serta Sulfat harus terlebih dahulu diendapkan. Pada garam rakyat yang memanfaatkan model penguapan total, kadar garam tertinggi yang dapat dihasilkan relatif jarang mencapai 90%, sehingga dibutuhkan perlakuan-perlakuan khusus agar dihasilkan garam dengan kualitas tinggi. Dengan mengurangi secara keseluruhan kandungan Kalsium, Magnesium dan Sulfat, kandungan NaCl pada garam dapat ditingkatkan menjadi 98,49% (kadar air tidak diperhitungkan), dan bila 75% dari kadar Kalsium, Magnesium dan Sulfat dikurangi maka kandungan NaCl pada garam yang dihasilkan sebesar 95,06%. (BRKP, 2006)

## 2.7 Produksi Garam Nasional

Produksi Garam nasional merupakan penjumlahan dari produksi garam rakyat yang mendapat program PUGAR di 21 Kabupaten/Kota, produksi garam rakyat non PUGAR di 30 Kabupaten/Kota, dan produksi dari PT. Garam dalam 1 musim produksi.



**Gambar 2. 10** Produksi Garam tahun 2015-2018 (Sumber : KKP, 2018)

Target produksi garam tahun 2018 berdasarkan Dokumen Penetapan Kinerja Tahun 2018 adalah sebesar 4,1 juta ton, lebih besar dari target tahun 2017 sebesar 3,8 juta ton. Tahun 2017 produksi hanya tercapai 1.111.067,226 ton (28,95% dari target) karena musim kemarau yang pendek. Target produksi 2018 terdiri dari 3.8 juta ton garam rakyat (PUGAR dan non PUGAR) serta 0,4 juta ton hasil produksi PT. Garam. Metodologi pendataan garam disusun oleh KKP bersama Badan Pusat Statistik sedangkan pengumpulan dan validasi Data dilakukan oleh Dinas Kabupaten/Kota terkait. Sampai tahun 2018 telah terintegrasi lahan garam seluas 1.416 hektar dan terbangun 6 unit gudang garam standar SNI dengan kapasitas 2.000 ton per gudang. Total produksi garam naik 144,14%, dari 1,11 juta ton (2017) menjadi 2,71 juta ton (2018). Tenaga kerja yang terlibat sebanyak 19.000 petambak di 22 kabupaten. (KKP, 2018)