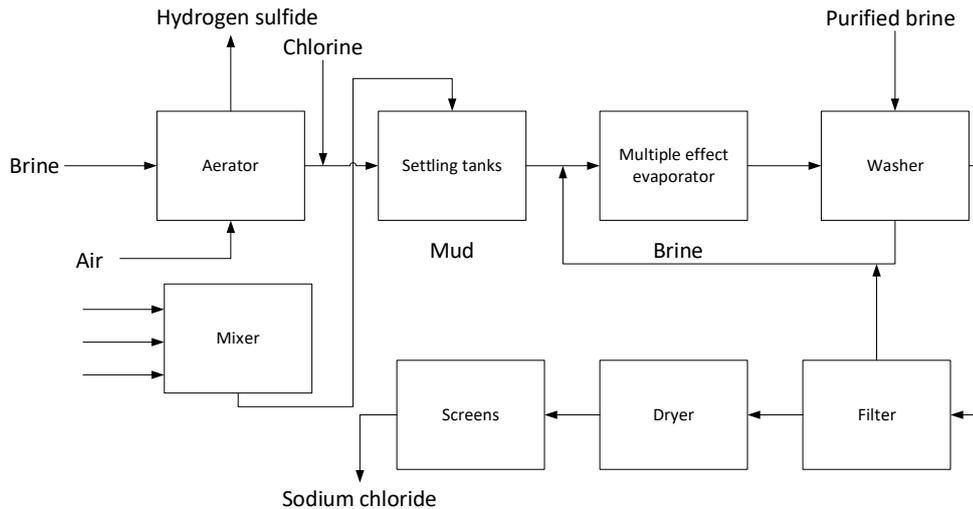


BAB II

SELEKSI DAN URAIAN PROSES

II. 1. Macam-macam Proses

II. 1. 1 MEE (*Multiple Effect Evaporator*)



Gambar II. 4 Blok flow diagram Proses MEE

Produksi garam melalui proses evaporasi umumnya menggunakan bahan baku brine dengan kandungan natrium klorida (NaCl) dan juga kalsium sulfat (CaSO_4), kalsium klorida (CaCl_2), magnesium klorida (MgCl_2), serta sejumlah kecil hidrogen sulfida (H_2S) dan ion besi (Keyes, 1999). Sebelum memasuki proses evaporasi, air garam biasanya mengalami *pretreatment* untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang dapat mempengaruhi kemurnian garam dan menyebabkan *scaling* pada evaporator. Proses ini melibatkan aerasi untuk mengurangi kandungan hidrogen sulfida, diikuti dengan oksidasi menggunakan klorin agar ion besi berubah menjadi bentuk yang tidak larut. Selanjutnya, larutan dipompa ke *settling tank* dan diolah menggunakan bahan kimia seperti larutan soda api (NaOH) dan natrium karbonat (Na_2CO_3) guna menghilangkan ion kalsium, magnesium, dan besi (Keyes, 1999). Senyawa lain yang dapat digunakan termasuk kalsium hidroksida (Ca(OH)_2), kalsium klorida (CaCl_2), agen



flokulasi, serta karbon dioksida (CO_2). Dalam beberapa kasus, H_2SO_4 dan klorinasi juga digunakan untuk menghilangkan H_2S (Bonita, 2022).

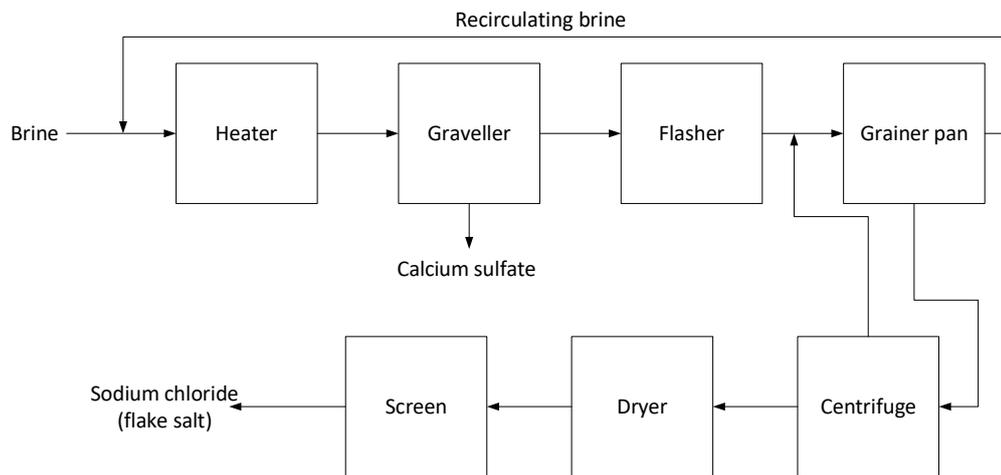
Proses evaporasi pada jenis proses ini terdiri dari beberapa evaporator yang dihubungkan secara seri, di mana efek pertama dipanaskan menggunakan uap (steam), sementara efek berikutnya memanfaatkan uap dari unit sebelumnya. Pada tahap akhir, uap dari evaporator terakhir dialirkan ke sistem pendingin (cooling water), dan brine feed dipanaskan menggunakan kondensat dari evaporator. Penggunaan beberapa efek dalam evaporator bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi, dengan jumlah efek yang umum digunakan berkisar antara 2 hingga 6 evaporator. Instalasi evaporator dengan 4 atau 5 efek dapat mencapai kapasitas produksi hingga 150 ton/jam (Bonita, 2022).

Saat air diuapkan, kristal garam mulai terbentuk dan dihilangkan dalam bentuk *slurry*. Setelah mengalami penyaringan awal untuk menghilangkan gumpalan, *slurry* dikirim ke *conical washer* di mana kristal garam dicuci dengan *fresh brine*. Proses pencucian ini berfungsi untuk menghilangkan kalsium sulfat halus yang ringan dari *mother liquor* dan mengembalikannya ke evaporator. Dalam sistem ini, konsentrasi kalsium sulfat masuk evaporator meningkat hingga mencapai titik jenuh, sehingga memerlukan pembersihan berkala dengan metode "*boiling out*" pada evaporator untuk menghindari penumpukan *scale* (Keyes, 1999).

Kristal garam yang telah dicuci kemudian difiltrasi, dengan cairan induk dikembalikan ke evaporator untuk digunakan kembali. Kristal garam hasil filtrasi kemudian dikeringkan dan disaring lebih lanjut. Dengan metode evaporasi ini, garam yang dihasilkan dapat mencapai kemurnian 99% atau lebih setelah melalui proses pencucian dan penyaringan. Pengontrolan kandungan *impurities* seperti kalsium dan magnesium biasa dilakukan dengan mengawasi konsentrasinya dalam evaporator dengan mengeluarkan air garam dalam jumlah yang diperlukan untuk menjaga

tingkat kemurnian yang diinginkan. Dengan metode ini, garam berkualitas 99,5% atau lebih dapat diproduksi secara konsisten (Keyes, 1999).

II.1.2 OPEN PAN



Gambar II. 5 Blok flow diagram Proses *Open Pan*

Garam dalam bentuk kristal seperti *garam grainer* diproduksi dengan pembentukan kristal garam di permukaan brine panas dalam panci terbuka atau grainer. Grainer sendiri merupakan wadah berbentuk datar dengan lebar sekitar 15–20 kaki, panjang 150–200 kaki, dan kedalaman sekitar 2 kaki. Di bagian bawahnya terdapat kumparan uap yang terendam sebagai sumber panas, serta sistem *scraper* bolak-balik yang berfungsi untuk mengumpulkan kristal garam yang terbentuk

Brine yang digunakan dalam metode ini dapat mengalami perlakuan kimia ataupun tidak. Salah satu aspek penting dalam metode ini adalah pengendalian kalsium sulfat (CaSO_4), yang dapat memengaruhi kemurnian garam. Untuk mengurangi kontaminasi kalsium sulfat dalam garam yang terbentuk, brine yang telah dicampur dengan air garam hasil sirkulasi dari grainer dipanaskan hingga 230°F (110°C). Pada suhu ini, kalsium sulfat menjadi jauh lebih sulit larut dibandingkan pada suhu lebih rendah, sehingga dapat mengendap dan dipisahkan menggunakan graveller. Setelah melalui tahap ini, air garam yang telah dimurnikan kemudian didinginkan



dengan cepat hingga suhu tertentu sehingga natrium klorida (NaCl) tetap terlarut, sementara kristal kalsium sulfat yang tersisa larut kembali.

Slurry hasil proses pemurnian ini kemudian dipompa ke grainer, tempat penguapan berlangsung perlahan pada suhu 205°F (96°C). Pada tahap ini, kristal garam mulai terbentuk di permukaan air garam panas dalam bentuk *hopper-shaped*, lalu jatuh ke dasar grainer di mana kristal akan terus tumbuh sebelum akhirnya dikeluarkan dengan sistem penggaruk bolak-balik. Kristal garam basah yang telah dikumpulkan kemudian disentrifugasi untuk menghilangkan kelebihan air, dikeringkan, dan disaring sesuai ukuran yang diinginkan (Keyes, 1999).

II.1.3 SALT MINING

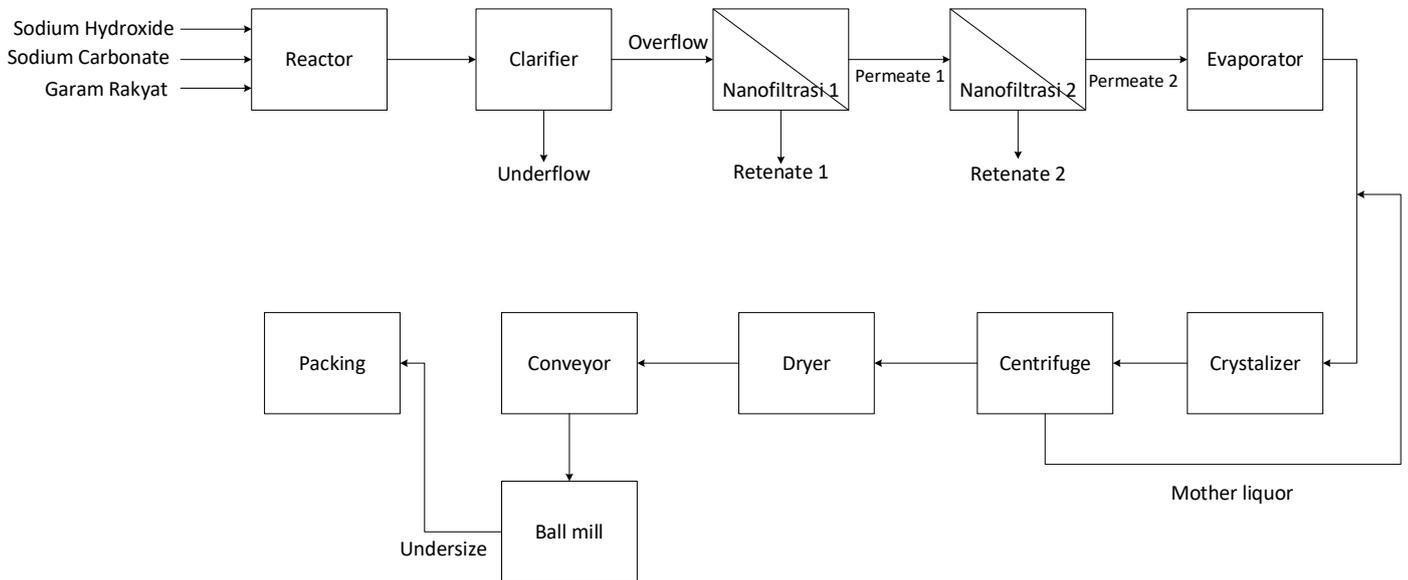
Endapan garam yang diperoleh melalui penambangan memiliki variasi warna dari coklat kemerahan muda hingga agak abu-abu. Kemurnian biasanya sekitar 98,5 persen, tetapi satu tambang memiliki endapan dengan kemurnian hingga 99,4 persen.

Setelah bongkahan garam diledakkan, bongkahan tersebut dihancurkan terlebih dahulu di tambang, lalu dihancurkan lagi di permukaan. Pengolahan selanjutnya terdiri dari serangkaian operasi penggilingan dan penyaringan untuk menghasilkan kristal garam dengan berbagai ukuran. Produk ini lebih murah daripada sali yang diuapkan dan dijual untuk keperluan yang memungkinkan adanya sedikit pengotor seperti pembuatan es krim dan penggaraman kulit (Keyes,).

II.1.4 SOLAR EVAPORATION

Proses Solar evaporation merupakan proses paling tradisional. Garam dengan proses ini sangat bergantung pada kondisi iklim serta luas lahan dimana proses ini diaplikasikan, proses ini sangat sederhana karena hanya menggunakan tenaga surya. Dengan kondisi air laut yang rata-rata mengandung padatan sekitar 3,7%, setelah melewati proses kristalisasi, hanya mampu menghasilkan garam dengan kemurnian 75%. (Bonita, 2022).

II.1.5 MEMBRAN NANOFILTER



Gambar II. 6 Blok flow diagram Proses Chemical Treatment dan
Membran Nanofiltrasi

Garam rakyat memiliki kandungan ion kalsium dan sulfat yang tinggi sehingga apabila memproduksi garam menggunakan proses thermal baik dengan evaporator maupun solar dapat menghasilkan endapan kalsium dan sulfat yang tinggi sehingga dapat menurunkan efisiensi pertukaran panas dari evaporator tersebut. Selain itu, meskipun telah melewati chemical treatment, ion sulfat masih dapat membentuk endapan dalam evaporator karena adanya co-presipitasi dalam prosesnya saat pencucian. Selain itu kelarutannya dalam suhu rendah yang tinggi menjadikan evaporator harus beroperasi dengan suhu tinggi yang juga dapat memungkinkan teruapkannya sodium chloride (Patent GB 2395946A).

Oleh karena itu teknologi membran saat ini telah banyak dikembangkan sebagai upaya pre-treatment produksi garam dengan kemurnian tinggi dengan efisiensi yang tinggi. Membran NF adalah jenis membran yang digerakkan oleh tekanan yang memiliki sifat-sifat di antara membran ultrafiltrasi (UF) dan reverse osmosis (RO). Membran NF memiliki kelebihan dalam menyediakan fluks air yang tinggi pada tekanan



operasi yang rendah dan mempertahankan *rejection* garam dan bahan organik yang tinggi (Hilal, 2005). Prinsip kerja membrane nanofilter adalah dengan memisahkan io-ion tertentu karena selektivitasnya yang berbeda. Penggunaan membrane nanofilter dalam produksi garam dapat menghasilkan garam bebas padatan tersuspensi saat pencucian garam dengan air. Sehingga saat sodium chloride menjadi jenuh, ia akan terendapkan tanpa adanya co-presipitasi dari kalsium, sulfat, maupun garam lain (Patent GB 2395946A). Hal tersebut dapat menghasilkan garam dengan kandungan impurities yang sangat rendah dengan efektifitas pemisahan tinggi dan penggunaan energi yang relatif lebih rendah

II. 2. Pemilihan Proses

Berdasarkan proses produksi Garam Farmasi dapat dilakukan dengan beberapa bahan baku dan proses yang berbeda pula, sehingga pemilihan proses dapat ditinjau dari beberapa perbandingan sebagai berikut :

Tabel II. 2 Perbandingan Proses Produksi Garam Farmasi

Parameter	Macam proses				
	Multiple Effect Evaporator (MEE)	Open pan	Salt mining	Solar evaporation	Membran nanofilter
Bahan baku utama	Brine	Brine	Tambang garam	Brine/air laut	Garam rakyat
Bahan baku pembantu	Na ₂ CO ₃ , NaOH, Ca(OH) ₂ , HCl, Agen flokulan	-	-	-	NaOH, Na ₂ CO ₃ , Agen flokulan
Harga bahan baku utama	Mahal	Mahal	Mahal	Murah	Murah
Upaya penghilangan impurities	Chemical treatment, Penguapan	Penguapan	-	Penguapan	Pretreatment, Selektivitas ion dengan membran, Penguapan
Efektifitas penghilangan impurities	Sedang	Rendah	Rendah	Rendah	Tinggi
Kemurnian produk	>99%	>99%		>75%	>99%



Berdasarkan tabel pemilihan proses di atas, dipilih proses pembuatan garam farmasi dengan chemical treatment dan membran nanofilter dengan pertimbangan:

1. Harga bahan baku utama dan pembantu
2. Kebutuhan energi
3. Kualitas produk

II. 3. Uraian Proses

Proses pembuatan garam farmasi yang dipilih dibagi ke dalam 3 proses utama, yakni:

1. Tahap pretreatment
2. Tahap Pemurnian
3. Tahap pemisahan dan pengemasan

1. Tahap pretreatment

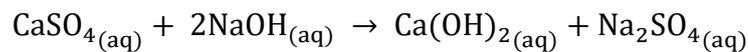
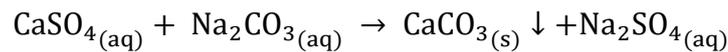
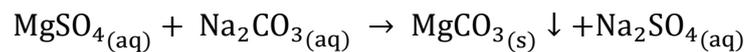
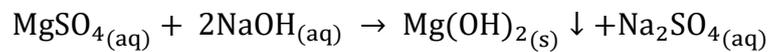
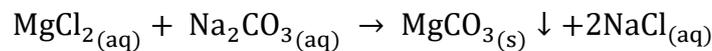
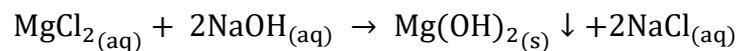
Garam rakyat yang digunakan sebagai bahan baku berasal dari Kabupaten Sumenep, Madura. Garam rakyat ini ditampung dalam tangki penyimpanan (F-110) pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm sebelum dikirim ke sistem *pretreatment*. Sistem ini dirancang untuk menurunkan kadar impurities serta mencegah potensi fouling selama proses filtrasi dan mengurangi risiko scaling pada peralatan di tahap selanjutnya.

Tahap *pretreatment* diawali dengan *chemical treatment* menggunakan soda ash (Na_2CO_3). Natrium karbonat yang disimpan dalam gudang (F-120) dengan kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm diangkut menggunakan belt conveyor (J-121) menuju tangki pelarutan (M-160) untuk dilarutkan menggunakan air proses. Selain itu, digunakan *chemical* yakni NaOH dari gudang penyimpanan (F-130) dengan kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm dipompa menggunakan pompa (L-131) menuju tangki pengenceran (M-170) untuk diencerkan menggunakan air proses. Larutan natrium karbonat



dan natrium hidroksida kemudian dipompa menuju reaktor Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) (R-190) yang dilengkapi dengan pengaduk.

Proses pencampuran dilakukan dalam kondisi suhu 30°C dan tekanan 1 atm dengan tujuan menghilangkan ion-ion pengotor utama dalam garam rakyat, yaitu ion Ca²⁺ dan Mg²⁺, melalui proses presipitasi yang berlangsung sesuai reaksi berikut:



Setelah keluar dari reaktor, campuran masih berupa *slurry* yang mengandung larutan garam dan endapan presipitat. Campuran ini kemudian dialirkan ke clarifier (H-200) untuk pemisahan. Dalam *clarifier*, ditambahkan agen flokulan berupa Polyaluminum Chloride (PAC) yang terlebih dahulu dilarutkan dengan air proses di dalam tangki pelarutan (M-180). Agen ini berfungsi untuk mempercepat pemisahan antara cairan dan padatan.

Larutan garam yang telah terpisah dari endapan akan mengalir melalui *overflow* menuju tahap pemurnian, sedangkan *underflow* yang berupa endapan akan dikirim ke unit *waste treatment* untuk pengolahan lebih lanjut.

2. Tahap pemurnian

Larutan garam hasil dari proses pretreatment kemudian dialirkan menuju nanofilter-1 (H-210) untuk memisahkan ion-ion pengotor lebih lanjut. Nanofilter bekerja dengan prinsip pemisahan ion NaCl monovalen dari ion-



ion garam lain yang bersifat divalen, seperti Ca^{2+} , SO_4^{2-} , serta logam berat yang masih tersisa dalam larutan. Membran nanofiltrasi ini dioperasikan pada tekanan 20 atm dengan rasio permeate sebesar 60% feed. Ion NaCl yang lolos sebagai permeate akan melanjutkan ke tahap berikutnya, sementara ion-ion divalen serta logam berat dikeluarkan sebagai retentate dan diolah lebih lanjut di *waste treatment*. Larutan garam yang keluar dari nanofilter-1 memiliki kandungan impurities yang belum memenuhi standar, sehingga dilanjutkan ke nanofiltrasi-2 (H-220). Sebelum dialirkan ke evaporator (V-230), permeate nanofiltrasi-2 terlebih dahulu melewati heat exchanger (E-222) untuk proses preheating.

Pemekatan larutan garam dilakukan dalam evaporator (V-230) jenis single effect evaporator yang beroperasi pada suhu 110°C dengan menggunakan pemanas berupa steam. Di dalam evaporator, larutan garam mengalami penguapan sehingga menghasilkan *saturated brine*, yaitu larutan garam dengan kadar kemurnian yang lebih tinggi.

3. Tahap pemisahan dan pengemasan

Saturated brine selanjutnya dialirkan ke dalam crystallizer (V-240) yang beroperasi pada suhu 115°C dan tekanan 1 atm untuk membentuk kristal garam. Hasil dari crystallizer berupa kristal garam dan mother liquor. Kristal garam yang terbentuk masih bercampur dengan sejumlah kecil mother liquor, sehingga perlu dipisahkan menggunakan centrifuge (H-310) untuk mendapatkan garam dengan tingkat kemurnian lebih tinggi.

Kristal garam yang keluar dari centrifuge dalam kondisi basah kemudian dikeringkan dalam rotary dryer (B-330) yang diangkat menggunakan screw conveyor (J-311). Di dalam rotary dryer, udara panas bersuhu 120°C digunakan untuk mengurangi kadar air dalam kristal garam. Setelah dikeringkan, kristal garam yang keluar dari rotary dryer memiliki kemurnian 99,6% NaCl, sesuai dengan spesifikasi garam farmasi.



Kristal garam yang telah dikeringkan masih memiliki suhu yang cukup tinggi, sehingga perlu melalui proses pendinginan. Pendinginan dilakukan dengan memindahkan garam menggunakan screw conveyor (J-332) yang dilengkapi cooling jacket. Selain sebagai alat pengangkut, screw conveyor ini juga berfungsi untuk menurunkan suhu kristal garam hingga mencapai 30°C sebelum tahap penyortiran.

Setelah suhu garam sesuai, kristal dikirim ke ball mill (C-334) untuk menyeragamkan ukurannya. Kristal yang masih oversize akan dihancurkan kembali, sedangkan kristal yang memenuhi spesifikasi akan diangkat menggunakan bucket elevator menuju silo penyimpanan garam farmasi. Selanjutnya, garam disimpan dalam penyimpanan sementara (F-340) dan dikemas sesuai dengan standar industri sebelum disimpan dan dipasarkan