

# Pra Desain Pabrik Garam Industri Dengan Proses *Multiple Effect Evaporator* Dari Air Konsentrat *Reverse Osmosis*

Amanda Novriza Aurellia<sup>1</sup>, Valentinus Satrio Adhi Laksono<sup>1</sup>, Annas Wiguno<sup>1\*</sup>, Kuswandi Kuswandi<sup>1</sup>

DOI: [10.12962/j2964710X.v3i2.18886](https://doi.org/10.12962/j2964710X.v3i2.18886)

**Abstrak**— Garam industri merupakan garam yang memiliki kandungan NaCl yang tinggi (> 96%). Produksi garam menjadi perhatian nasional dikarenakan kebutuhannya yang meningkat. Oleh karena itu, ketersediaan garam nasional harus diupayakan salah satunya dengan membangun pabrik garam dengan bahan baku *brine*. Hal ini akan mengurangi ketergantungan impor garam industri sekaligus memanfaatkan *brackish water* yang ketersediaannya melimpah di Indonesia. Garam industri ini diolah dari air konsentrat *Reverse Osmosis* dengan menggunakan metode *multiple effect evaporator*. Tahapan pertama yang dilakukan adalah tahap *pre-treatment*. Bahan baku yang berupa air konsentrat RO yang terlebih dahulu dicampurkan dengan flokulan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, dan BaCl<sub>2</sub> pada Reaktor (R-110). Selanjutnya pada flokulator (M-120), campuran *brine* akan diberikan tambahan flokulan PAC untuk mengendapkan *sludge* yang kemudian akan dipisahkan pada *Clarifier* (H-130). Sedangkan larutan garam yang telah bebas dari *impurities* akan dipekatkan menggunakan *evaporator* I (V-210), *evaporator* II (V-220), dan *evaporator* III (V-230). Larutan garam selanjutnya dikristalkan dengan menggunakan *crystallizer* (X-240). Garam yang terbentuk selanjutnya dialirkan menuju *Belt Conveyor* (J-311) kemudian menuju *Screw Conveyor* (J-312) sebelum memasuki *Rotary Dryer* (B-320) untuk dilakukan proses pengeringan kristal garam. Garam yang terbawa oleh udara panas akan dialirkan menuju *Cyclone* (H-322) untuk dilakukan pemisahan antara udara dengan garam. Garam yang terpisah oleh udara bersih akan diumpungkan secara bersamaan dengan produk bawah dari *Rotary Dryer* (B-320) menuju ke *Horizontal Mill* (C-324) untuk dihancurkan sehingga menghasilkan ukuran garam yang lebih kecil dan seragam. Padatan yang telah melewati proses *size reduction* akan masuk ke dalam *Wire Mesh Screener* (H-325) untuk dipisahkan garam berdasarkan ukuran yang sesuai yaitu 20-50 mesh. Garam yang ukurannya belum sesuai standar akan di *recycle* kembali ke *crusher*. Garam yang sesuai dengan spesifikasi akan dialirkan menuju ke *Bucket Elevator* (J-328) dan *Belt Conveyor* (J-327), yang kemudian disimpan pada *Silo Salt* (F-329).

Pabrik ini direncanakan akan didirikan pada kawasan industri di Kabupaten Gresik, dengan kapasitas 61.285 ton/tahun dan waktu operasi 330 hari kerja. Dari hasil analisa ekonomi, diperlukan Total modal tetap (FCI) sebesar \$9,831,146.82; Modal kerja (WCI) sebesar \$10,146,820.32; Modal total (TCI) sebesar \$19,977,967.15; Biaya produksi per tahun (TPC) sebesar \$20,293,640.65 dengan estimasi penjualan \$25,854,029.31. Pabrik ini layak didirikan karena nilai IRR 50%; POT 2.99 tahun; dan NPV sebesar \$488,020,020.93.

**Kata Kunci**— Air Konsentrat, *Reverse Osmosis*, Garam Industri, *Multiple Effect Evaporator*

## I. PENDAHULUAN

Garam dapat didefinisikan sebagai kumpulan senyawa kimia yang komposisi utamanya adalah Natrium Klorida (NaCl) dengan zat-zat pengotor terdiri dari CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, MgCl<sub>2</sub>, dan lain-lain. Produksi garam merupakan salah satu isu nasional yang menjadi perhatian pemerintah saat ini. Kebutuhan garam nasional meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri (5% - 7% per tahun). Produksi garam dalam negeri belum dapat memenuhi kebutuhan nasional, baik secara kualitas maupun kuantitas. Kualitas garam lokal belum memenuhi standar garam industri karena kandungan NaCl

yang lebih rendah dan *impurities* yang melebihi standar. Hal ini sangat bertolak belakang dengan kondisi geografis Indonesia yang memiliki potensi sumber daya alam perairan yang besar, menurut data WWF jumlah sungai di Indonesia mencapai 550 sungai yang tersebar di seluruh kepulauan Indonesia. Serta dengan kondisi iklim tropis dimana penyinaran penuh sepanjang hari, seharusnya wilayah pantai Indonesia cocok dimaksimalkan untuk pengembangan usaha garam [1]. Menurut Badan Pusat Statistik, impor garam dari tahun 2011 sampai 2020 bergerak secara fluktuatif, dengan rata-rata 2,41 juta ton per tahun. Sementara itu, di tahun 2021, pemerintah memutuskan melakukan impor garam sebanyak 3,07 juta

<sup>1</sup> Departement of Chemical Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia. \*E-mail: annas.w@chem-eng.its.ac.id

ton. Kebutuhan garam industri nasional tahun 2019 yaitu sekitar 4,6 juta ton dimana kebutuhan industri sebesar 2,4 juta ton/tahun atau 53% merupakan kebutuhan untuk sektor Chlor Alkali Plant (CAP) yang meliputi industri petrokimia, pulp, dan kertas. Dalam upaya pemenuhan kebutuhan garam industri nasional, Indonesia harus menghimpur sekitar 1,2 juta ton/tahun [2]. Demi tercapainya swasembada garam, bentuk usaha peningkatan kuantitas dan kualitas produksi garam nasional yakni dengan meng-upgrade pabrik garam yang sudah ada dan membangun beberapa pabrik garam baru dengan kapasitas yang cukup besar. Hal ini akan mengurangi ketergantungan akan impor garam industri sekaligus memanfaatkan *brine* dari *brackish water* yang ketersediaan melimpah.

Dalam mendirikan suatu pabrik, perlu diketahui teknologi produksi apa saja yang bisa digunakan agar dapat memilih proses yang paling menguntungkan berdasarkan parameter-parameter yang ditentukan. Proses desalinasi pada dasarnya mengacu pada penghilangan garam dari air payau. Pada proses desalinasi ini akan dihasilkan air payau dengan produk samping berupa air garam terkonsentrasi. Proses desalinasi ini terbagi menjadi dua teknologi yaitu *thermal based* dan *membrane based*. Pada teknologi desalinasi *thermal based* terbagi kembali menjadi teknologi *Multiple-stage Flash (MSF)*, *Multiple-effect Distillation (MED)*, dan *Vapor Compression (VC)*. Umumnya proses desalinasi termal cocok untuk digunakan pada sumber air dengan salinitas yang tinggi. Kelemahan dari proses termal ini adalah kebutuhan energi yang tinggi. Dalam teknologi desalinasi berbasis membran, desalinasi terjadi berdasarkan permease komponen melalui membran permeabel selektif. Karena selektivitas membran, maka komponen yang memiliki permeabilitas yang spesifik yang dapat menembus membran. Dalam proses berbasis membran, air tawar dapat diperoleh dengan menyerap air atau garam. *Reverse osmosis (RO)*, nanofiltrasi (NF), *forward osmosis (FO)*, dan *membrane distillation (MD)*, adalah tipikal contoh desalinasi dimana air tawar meresap melintasi membran. Sedangkan pada elektrodialisis (ED), elektrodeionisasi (EDI), dan *microbial desalination cell (MDC)*, air tawar diperoleh dengan menyerap garam atau ion melintasi membran [3]. Oleh karena kandungan polutan yang terkandung dalam *brine* memiliki potensi bahaya terhadap lingkungan, maka terdapat sistem manajemen *brine* hasil proses desalinasi, adapun sistem manajemen *brine* ini salah satunya adalah proses integrasi yang dikenal sebagai konsep *Integrated Process*. Konsep *Integrated Process* pada dasarnya adalah penggabungan dua proses yang saling berkaitan yakni proses desalinasi dengan pengintegrasian proses produksi garam dan produk kimia yang berasal dari *rejected brine* [3].

Berdasarkan hasil seleksi proses dengan inkonsistensi sebesar 2% (0,02), proses *vacuum pan* mendapatkan nilai total sebesar 42,6% (0,426); proses SAL-PROCTM dengan nilai total 14,8% (0,148); proses elektrodialisis

dengan nilai total 23,1% (0,231), dan proses *open pan* dengan nilai total 19,5% (0,195). Sehingga dapat disimpulkan metode yang digunakan dalam pembuatan garam industri dari air konsentrat *reverse osmosis* yaitu proses *vacuum pan*. Hal ini dikarenakan proses tersebut lebih menguntungkan dibandingkan dengan proses SAL-PROCTM, proses elektrodialisis, dan proses *open pan*. Proses *vacuum pan* memiliki keuntungan yakni kemurnian produk yang tinggi serta harga peralatan proses yang lebih murah dibandingkan proses lainnya.

Dalam proses *vacuum pan* terdapat beberapa variasi alat yang dapat digunakan, yakni variasi pada jenis evaporator, separator dan *dryer* yang digunakan dalam setiap rangkaian proses. Pemilihan jenis evaporator sangat penting dilakukan diawal, karena pada proses pembuatan garam alat utama dalam pemekatan konsentrasi garam terjadi pada proses evaporasi. metode operasi yang digunakan adalah *forward-feed multiple effect evaporator* karena air konsentrat RO memiliki viskositas yang rendah. Metode ini dipilih karena pertimbangan tipe proses kontinu dan dapat memanfaatkan peningkatan *steam 17 economy*, dimana pendekatan awal yang digunakan adalah jumlah susunan evaporator yang berjumlah tiga. Dalam *multiple-effect evaporator (MEE)* terdapat peningkatan kondisi operasi vapor yang dihasilkan pada efek pertama, peningkatan yang dilakukan adalah peningkatan tekanan dan temperatur [4]. MEE dengan TVR dinilai berimbang (tidak mahal dan tidak murah) dari segi biaya investasi dan biaya operasi, namun rendah konsumsi energi listrik dan konsumsi energi panas. Oleh karena itu, dalam proses pembuatan garam ini digunakan *forward-feed multiple-effect evaporator* dengan penambahan *thermal recompression*. Pemilihan jumlah efek pada MEE didasarkan pada konsentrasi produk yang dihasilkan beserta dengan *steam economy*. Dimana pada proses ini, presipitasi garam juga menjadi masalah yang utama. Berdasarkan dengan riset, didapatkan bahwa MEE dengan triple effect memiliki *steam economy* yang lebih besar serta dihasilkan produk dengan konsentrasi yang paling besar, dengan syarat bahwa feed harus terbebas dari impurities terutama sodium sulfate serta suhu yang lebih rendah pada efek ke-3. Adapun beberapa jenis kristalizer yang dipakai salah satunya merupakan *CMSMPR Crystallizer* atau *Continue Mixed Suspension Mixed Product Removal Crystallizer*. *CMSMPR* merupakan salah satu kristalizer yang menggunakan energi yang minim apabila dibandingkan dengan kristalizer yang memanfaatkan panas steam dalam penggunaannya seperti *vacuum pan crystallizer*. *CMSMPR* dikarakterisasi sebagai tangki kristalizer berpengaduk dan berjaket pendingin. Adapun kondisi operasi yang digunakan dalam *CMSMPR Crystallizer* adalah, sebagai berikut :

- Temperatur Operasi : 35 oC
- Waktu Tinggal : 20-70 Menit
- Tekanan Operasi : Atmosferik
- Tipe Pengaduk : *Six slade with disc* dengan tipe aliran radial
- Tipe Pendingin : *Jacket*

- Kecepatan Motor Pengaduk : 70-400 rpm [5].

Teknik *filters* dan *centrifuges* dirasa cocok dalam proses pemisahan *slurry*, karena kedua teknik ini memiliki rentang ukuran partikel dan kandungan solid yang cukup beragam (0-90% solids). Kedua teknik ini dirasaimbang dalam hal proses pemisahan, namun perbedaan mendasar dalam kedua teknik ini adalah gaya yang dilibatkan dalam proses pemisahannya. Pada teknik *filters* dibutuhkan gaya tambahan luar dari unit operasi yang berbeda, seperti penggunaan *presser* atau *vaccum pump* untuk menghisap kandungan liquid. Berbeda hal dengan *centrifuges*, gaya yang diberikan tidak didapatkan dari unit operasi yang berbeda. *Centrifuges* memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh putaran motor untuk pemisahannya [6].

Apabila material yang dipisahkan berbentuk *slurry* atau suspensi solid dalam liquid yang dapat dipompakan, maka terdapat *mechanical separation (centrifuges)* dinilai cocok dalam proses pemisahan. *Mechanical separation* terbagi kembali menjadi dua yakni metode *settling* dan *filtration*. Perbedaan mendasar dari kedua metode ini adalah, adanya media filter didalam pemisahannya [7]. Apabila dikaji lebih lanjut, *settling centrifuges* lebih memiliki keunggulan, dari segi kapasitas (*loading*) dan operasi yang dapat berjalan secara kontinyu, oleh karena itu dipilah *centrifuge* dengan tipe *disc centrifuges* [6]. Karena garam yang dikeringkan memiliki karakteristik berbentuk kristalin atau granulasi, sehingga jenis *drum dryer* kurang cocok dengan karakteristik garam yang dikeringkan. Selanjutnya berdasarkan kapasitas, garam yang diproduksi memiliki kapasitas yang cenderung besar sehingga pilihan yang cocok dengan karakteristik *dryer* adalah jenis *rotary dryer*. *Rotary dryer* memiliki beberapa jenis, namun pada penggunaannya di industri jenis *direct heat rotary dryer* paling banyak digunakan, sehingga pada proses pembuatan garam ini dipilih *direct heat rotary dryer* sebagai unit operasi pengeringan.

## II. URAIAN PROSES

### A. Pre-Treatment (Persiapan Bahan Baku)

Diagram alir proses *pre-treatment* dapat dilihat pada Lampiran. Bahan baku utama yang dibutuhkan yaitu air konsentrat RO dengan kadar NaCl 8,098% yang disimpan dan disiapkan pada *storage tank* (F-111). Sedangkan bahan baku pembantu yaitu padatan NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, dan BaCl<sub>2</sub> disimpan dan disiapkan berturut-turut pada *Hopper* Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (F-113), *Tangki Storage* NaOH (F-116), dan *Hopper* BaCl<sub>2</sub> (F-114). Selanjutnya bahan baku utama dipompakan dengan menggunakan *centrifugal pump* (L-112) menuju Reaktor (R-110). Sedangkan bahan baku pembantu yang berupa padatan (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dan BaCl<sub>2</sub>), selanjutnya dimasukkan ke dalam *mixer* Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (M-115) dan *mixer* BaCl<sub>2</sub> (M-117) untuk dilarutkan dengan air proses. Kemudian 3 flokulan tersebut yang sudah berbentuk larutan dimasukkan ke dalam Reaktor (R-110).

Pada Reaktor (R-110) terjadi pencampuran air konsentrat *reverse osmosis* dengan flokulan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, dan BaCl<sub>2</sub>. Penambahan flokulan bertujuan untuk

mengikat kotoran-kotoran yang terkandung dalam air konsentrat RO antara lain MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>, KCl, BaSO<sub>4</sub>. Penambahan NaOH berlebih bertujuan untuk memastikan bahwa reaksi yang terjadi sempurna. Selain itu untuk menghindari terbentuknya kerak pada peralatan, dan dapat meningkatkan atau menaikkan konsentrasi air laut secara cepat dan mempercepat pembentukan kristal garam. Adapun reaksi yang terjadi antara *impurities* dan flokulan adalah :

- $MgCO_{3(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \rightarrow Mg(OH)_{2(s)} + Na_2CO_{3(aq)}$
- $CaSO_{4(aq)} + Na_2CO_{3(aq)} \rightarrow Na_2SO_{4(aq)} + CaCO_{3(s)}$
- $KCl_{(aq)} + NaOH_{(aq)} \rightarrow NaCl_{(aq)} + KOH_{(s)}$
- $CaCO_{3(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \rightarrow Na_2CO_{3(aq)} + Ca(OH)_{2(s)}$
- $BaSO_{4(aq)} + 2NaOH_{(aq)} \rightarrow Na_2SO_{4(aq)} + Ba(OH)_{2(s)}$
- $BaCl_{2(aq)} + Na_2SO_{4(aq)} \rightarrow BaSO_{4(s)} + 2NaCl_{(aq)}$

Reaksi-reaksi di atas merupakan reaksi netralisasi sehingga termasuk reaksi eksoterm, yang berarti suhu larutan akan meningkat [8]. Di dalam reaktor (R-110) dilengkapi dengan pengaduk untuk mempercepat reaksi koagulasi.

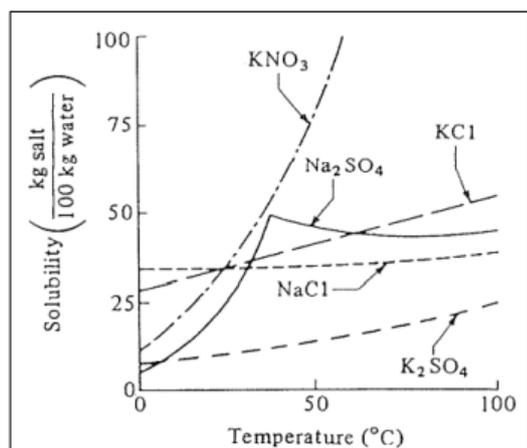
Selanjutnya dari reaktor, larutan dipompa dengan pompa (L-118) ke dalam tangki flokulator (M-120). Dalam proses flokulasi ini ditambahkan dengan flokulan berupa PAC (*Poly Aluminium Chloride*) untuk mempercepat pembentukan flok-flok (gumpalan) *impurities*. Suhu di tangki flokulator (M-120) dijaga pada 30°C dengan tekanan 1 atm. Dalam tangki flokulator akan terjadi proses pengadukan dengan menggunakan agitator yang bertipe *marine type propeller*, sehingga pola aliran pengadukan dalam tangki flokulasi adalah pola aliran *axial* [4]. Flok-flok *impurities* ini akan bergabung dan membentuk endapan berupa *sludge*. Endapan tersebut yaitu Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, KOH, Ca(OH)<sub>2</sub>, Ba(OH)<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>, BaSO<sub>4</sub>.

Setelah ditambahkan dengan flokulan PAC, larutan dipompa dengan pompa (L-131) menuju *Clarifier* (H-130). Selanjutnya terjadi pemisahan antara *sludge* dan filtrat. *Sludge* yang telah dipisahkan akan dipindahkan dengan untuk diolah lebih lanjut pada *solid waste treatment plant* (SWTP). Sedangkan untuk filtrat disaring menggunakan filter (H-132) untuk memisahkan antara larutan garam bersih dengan *sludge* atau pengotor yang masih terikut. Sehingga, bahan yang selanjutnya masuk ke *Multiple Effect Evaporator* (V-210, V-220, V-230) hanya terdiri dari NaCl dan H<sub>2</sub>O. Pada tahap *pre-treatment* ini berhasil didapatkan konsentrasi garam menjadi 8,29% dari konsentrasi awal pada *feed* sejumlah 8,099%.

### B. Evaporation

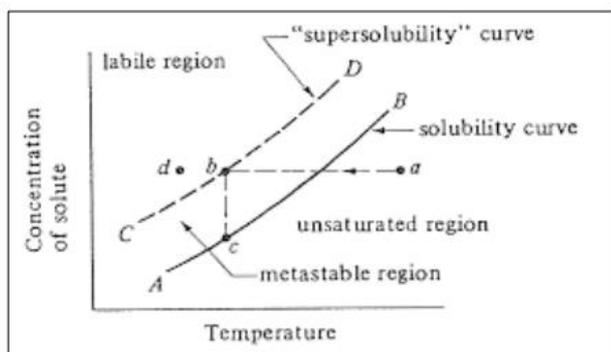
Pada tahap ini, filtrat yang sudah bebas dari *impurities* akan dipompakan dengan *centrifugal pump* (L-119) untuk menuju ke *multiple-effect evaporator* (V-210, V-220, V-230). *Multiple-effect evaporator* digunakan untuk menaikkan konsentrasi larutan garam dengan penguapan air, hingga mencapai kondisi *saturated brine*. *Multiple-effect evaporator* yang dioperasikan pada kondisi vakum. *Brine* dialirkan dari *evaporator* I (V-210), kemudian menuju *evaporator* II (V-220), dan selanjutnya

menuju *evaporator* III (V-230). *Multiple-effect evaporator* ini memiliki keuntungan yaitu pada *steam economy*. Sementara itu, vapor yang dihasilkan oleh evaporator akan dialirkan menuju *Baromatic Condensor* (E-231) untuk mencairkan vapor dan dialirkan menuju *Hot Well* (F-234) sebagai kondensat dengan bantuan *Steam Jet Ejector* (G-232). Berdasarkan kurva *solubility* NaCl didapatkan pada suhu 60°C, NaCl memiliki *solubility* 37.16 gr NaCl/100gr H<sub>2</sub>O atau sebesar 27% [9]. Diagram alir proses *evaporation* dapat dilihat pada Lampiran.



Gambar 1. Grafik *Solubility* NaCl

Produk dari *Evaporator* yang berupa larutan garam tersebut akan dialirkan menuju *CMSMPR* (X-240) yang berfungsi untuk membentuk kristal garam. Pada *CMSMPR crystallizer*, larutan garam tersebut akan dibawa menuju kondisi *supersaturation brine* (kondisi lewat jenuh) agar pembentukan kristal-kristal garam. Mekanisme pembentukan kristal garam dapat dipelajari dengan konsep penurunan suhu *saturated brine* untuk mencapai zona *supersolubility*. Tahapan pembentukan kristal garam terbagi menjadi dua, yakni tahapan nukleasi yakni pembentukan inti kristal garam dan tahapan penumbuhan kristal garam. Adapun penjelasan lebih lanjut dari proses pembentukan kristal grama dapat dijelaskan pada gambar grafik berikut ini.



Gambar 2. *Miers Qualitative Explanation of Crystallization: Solubility Curve (AB) and Supersolubility Curve (CD)*

Pembentukan kristal garam dihasilkan pada *CMSMPR Crystallizer*, dimana dalam unit operasi tersebut *brine* yang telah dipekatkan dari *multiple effect evaporator* telah berada pada kurva *solubility* (titik a menuju kurva AB). Selanjutnya dalam unit operasi kristalisasi, *brine* yang telah jenuh akan didinginkan dan dibarengi dengan pengurangan kandungan air. Sehingga kondisi *brine* akan berada pada kurva *supersolubility* (titik a pada kurva AB akan menuju titik b kurva CD), dari kurva ini *brine* akan melalui proses nukleasi dimana pada proses ini inti kristal garam akan terbentuk. Setelah pembentukan inti kristal, selanjutnya kristal – kristal garam ini akan bertumbuh, pertumbuhan kristal garam yang baik berada pada zona metastabil (zona antara titik b dan c). Pada zona metastabil ini larutan garam akan menurun konsentrasinya, karena sebagian besar larutan sudah terkonversi menjadi kristal garam [10].

Pada saat fase pertumbuhan kristal garam, kondisi operasi *crystallizer* diatur untuk tetap berada pada zona metastabil, sehingga kristal yang dihasilkan akan memiliki ukuran partikel yang seragam. Unit operasi *vacuum pan crystallizer/ CMSMPR Crystallizer* (X-240) beroperasi pada tekanan atmosferik..

Setelah melalui proses kristalisasi, selanjutnya *slurry* garam akan ditransportasikan dengan menggunakan *slurry pump* (L-241), untuk memindahkan *slurry* garam menuju ke dalam *intermediate tank*. Tangki *intermediate* digunakan untuk menampung *slurry* garam dan untuk proses pengendapan kristal garam sebelum dipisahkan lebih lanjut pada tahapan purifikasi. Proses pengendapan kristal garam, terjadi pada *settling tank* (F-242), *overflow* dari tangki *settling* merupakan larutan induk yang akan ditampung pada tangki *overflow mother liquor* (F-243). Larutan induk yang berada pada tangki *overflow* akan diresirkulasi menuju unit operasi kristalisasi dengan menggunakan *centrifugal pump* (L-241). Pada tahap ini berhasil didapatkan konsentrasi garam menjadi 28,00% dari sebelumnya yang masuk ke MEE sebesar 8,290%.

### C. Post Treatment

Diagram alir proses *post-treatment* dapat dilihat pada Lampiran. Kristal garam yang telah diendapkan selanjutnya akan dipisahkan lebih lanjut dari larutan induknya. Proses pemisahan kandungan larutan induk terjadi pada alat *Centrifugal settling separator* (H-310). Garam yang terbentuk selanjutnya dialirkan menuju *Belt Conveyor* (J-311) kemudian menuju *Screw Conveyor* (J-312) sebelum memasuki *Rotary Dryer* (B-320) untuk dilakukan proses pengeringan kristal garam, sedangkan *mother liquor* akan dialirkan ke *waste water treatment*. Di *Rotary Dryer* terjadi proses pengeringan kristal garam pada suhu 120°C pada tekanan 1 atm serta adanya udara panas dari *Air Pre Heater* (E-321) dengan bantuan *Blower* (G-323) sebagai sumber udara dimana proses pengeringan dengan menggunakan udara panas dilakukan secara *counter current* (berlawanan). Padatan yang terbawa oleh udara panas akan dialirkan menuju *Cyclone* (H-322) untuk dilakukan pemisahan antara udara dengan padatan. Padatan yang terpisah oleh udara bersih akan diumpankan

secara bersamaan dengan produk bawah dari *Rotary Dryer* (B-320) menuju ke *Roll Crusher* (C-324). Produk bawah dari *Rotary Dryer* (B-320) akan dimasukkan ke dalam *Roll Crusher* (C-324) untuk dihancurkan sehingga akan menghasilkan ukuran garam yang lebih kecil dan seragam (*size reduction*). Padatan yang telah melewati proses *size reduction* akan masuk ke dalam *Wire Mesh Screener* (H-325) dengan jenis gerakan *Oscillating screens*, untuk memisahkan garam dengan ukuran yang sesuai yaitu 20-50 *mesh*, dengan yang belum sesuai. Garam yang ukurannya belum sesuai standar (lebih besar) tidak bisa melewati *screener* sehingga akan di *recycle* kembali ke *crusher*. Garam yang sesuai dengan spesifikasi akan dialirkan menuju ke *Bucket Elevator* (J-328) dan *Belt Conveyor* (J-327), yang kemudian disimpan pada *Silo Salt* (F-329). Pada tahap ini berhasil didapatkan konsentrasi garam menjadi 97,5% dari sebelumnya yang masuk ke *centrifugal settling separator* sebesar 28,0%.

### III. MATERIAL BALANCE

Berdasarkan perhitungan dari *material balance* pra desain pabrik garam industri dengan proses *multiple effect evaporator* dari air konsentrat *reverse osmosis*, pabrik akan memiliki kapasitas produksi sebesar 61.285 ton/tahun. Bahan baku utama yang dibutuhkan yaitu air konsentrat *reverse osmosis* yang diambil dari pabrik PT. Petrokimia Gresik sebanyak 100.000 ton/tahun. Sedangkan bahan baku pembantu yaitu  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{BaCl}_2$ , dan Flokulan PAC berturut-turut sebanyak 122,284 ton/tahun; 1.273,377 ton/tahun; 490,010 ton/tahun; dan 0,04 kg/tahun.

### IV. ANALISA EKONOMI

Analisis ekonomi merupakan salah satu parameter apakah pabrik layak didirikan atau tidak. Berikut ini merupakan hasil analisis pra desain pabrik garam industri:

1. Perencanaan operasi : 24 jam/hari selama 330 hari
2. Kebutuhan bahan baku : 100.000 ton/tahun
3. Hasil produksi : 61.284.60 kg/tahun

Analisa ekonomi:

#### A. Permodalan

##### a) *Total Capital Investment* (CAPEX)

CAPEX merupakan semua biaya yang dikeluarkan untuk melakukan investasi awal yang menyangkut mengenai alokasi dana yang direncanakan untuk melakukan pembelian atau penggantian segala sesuatu yang termasuk dalam aset perusahaan yakni sebesar \$ 9,831,146.82

##### b) *Operational expenditure* (OPEX)

OPEX merupakan merupakan semua biaya yang dikeluarkan untuk melakukan operasional pada jangka waktu tertentu yakni total sebesar \$ 22,323,004.71

#### B. *Net Present Value* (NPV)

NPV merupakan selisih antara nilai arus kas masuk dan nilai arus kas keluar pada sebuah periode waktu.

Perhitungan NPV dapat menentukan analisis potensi keuntungan sebuah proyek atas investasi yang dilakukan yakni sebesar Rp \$ 488,020,020.93. Nilai NPV yang positif menyatakan bahwa proyeksi pendapatan pabrik kedepannya akan meraup keuntungan, sebaliknya apabila nilai NPV negative menandakan kerugian. Dapat dilihat bahwa nilai NPV bernilai positif maka menunjukkan pabrik ini menjadi salah satu target investasi yang menguntungkan.

#### C. Laju pengembalian modal (IRR)

IRR merupakan merupakan suatu tingkat bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran (berdasarkan metode *discounted cash flow*) yakni sebesar 50% dengan bunga bank 8,2% per tahun.

#### D. Analisa Waktu Pengembalian Modal (POT)

POT merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan modal suatu pabrik yaitu minimum adalah 2.99 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa pabrik layak untuk didirikan karena POT yang didapatkan lebih kecil dari perkiraan usia pabrik yaitu selama 20 tahun.

### V. ANALISA ASPEK SOSIAL DAN LINGKUNGAN

#### A. Aspek Sosial

Dari sisi sosial, perusahaan mengembangkan konsep *Corporate Social Responsibility* (CSR). masyarakat dapat merasakan dampak sosial berupa peningkatan kesejahteraan karena perusahaan mengambil tenaga kerja lokal, yang dapat mengurangi jumlah pengangguran di daerah tersebut.

#### B. Aspek Lingkungan

Dalam pembangunan pabrik, terdapat beberapa limbah yang dapat mencemari lingkungan, diantaranya yaitu :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{BaSO}_4$ . Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun, Limbah B3 wajib dilakukan pengolahan kembali, dimana nantinya pengolahan dilakukan pada *Waste Water Treatment* PT. Petrokimia Gresik.

### VI. ANALISA LOKASI PENDIRIAN PABRIK

Rencana lokasi pendirian pabrik ini ialah di Kawasan PT Petrokimia, Gresik pada tahun 2023. Pemilihan rencana lokasi pendirian pabrik ini didasarkan pada beberapa parameter yaitu ketersediaan bahan baku, lokasi pemasaran, aksesibilitas dan fasilitas transportasi, tenaga kerja, utilitas, harga tanah dan gedung, kemungkinan perluasan pabrik, dan kondisi geografis wilayah. Berdasarkan beberapa parameter di atas, Kawasan PT Petrokimia, Gresik dipilih karena Kawasan tersebut dapat memenuhi kriteria-kriteria yang dibutuhkan.

## VII. KESIMPULAN

Produksi garam industri dari air konsentrat *reverse osmosis* PT Petrokimia Gresik yang diproses dengan metode *multiple effect evaporator*, dengan kapasitas 61.285 ton/tahun, maka dibutuhkan bahan baku sebesar 30.587.665 kg/tahun yang beroperasi selama 24 jam/hari selama 330 hari/tahun. Rencana lokasi pendirian pabrik ini ialah di Kawasan PT Petrokimia Gresik pada tahun 2023. Proses dilakukan melalui tiga jenis unit proses, yaitu proses *pre-treatment*, proses *evaporation*, dan proses *post-treatment*. Pabrik ini memerlukan modal tetap (FCI) dan modal kerja (WCI) sebesar \$ 9,831,146.82 dan \$ 10,146,820.32. Dengan estimasi umur pabrik dan waktu pengembalian pinjaman selama 10 tahun maka didapatkan IRR sebesar 50%, POT pada tahun 2026, dan BEP sebesar 42,38%. Penanganan dampak lingkungan pabrik dilakukan dengan cara penataan, pemeliharaan, pengawasan dan pengolahan terhadap limbah yang dihasilkan. Maka didapatkan kesimpulan bahwa pabrik garam industri layak untuk didirikan.

## VIII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Kelautan dan Perikanan, "Laporan Tahunan KKP 2019," 2019. Retrieved from <https://kkp.go.id/artikel/22215-laporan-tahunan-kkp-2019>
- [2] Kementerian Perindustrian, "Kebutuhan Garam Industri," 2021. Retrieved from <http://jdih.kemenperin.go.id/>
- [3] I. G. Wenten, "Membrane-Based Carbon Capture Technology: Challenges and Opportunities in Indonesia," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, vol. 41, 2017.
- [4] C. J. Geankoplis, "Transport Process and Separation Process Principle (Includes Unit Operations)," New Jersey: Pearson Education, 2003.
- [5] B. S. Choi, "Crystallization Characteristic Of NaCl Crystal Size Distribution Associated with A CMSMPR Crystallizer," Utah: The University of Utah, 2005.
- [6] R. K. Sinnott, "Coulson & Richardson's Chemical Engineering Design," vol. 6. London: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
- [7] R. H. Perry, "Perry's Chemical Engineers' Handbook," 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- [8] Chang, "Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti," Jakarta: Erlangga, 2004.
- [9] P. M. D. Xevgenos, "Design of An Innovative Vacuum Evaporator System for Brine Concentration," *Desalination and Water Treatment*, pp. 3407-3417, 2014.
- [10] F. E. Baillon, "Crystallization and Freezing Processes Assisted by Power Ultrasound. In J. A.-J. Graff, Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound," Amsterdam: Elsevier, 2015, pp. 845-874.

