

Rancangan Alat *Evaporator Vertical Long Tube* untuk Pembuatan Kalsium Klorida dari Batu Kapur

Dewi Anjani¹, Ayu Chandra Kartika Fitri^{2*}, Sinar Perbawani Abrina Anggraini³

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

*e-mail corresponding author : ayu.chandra@unitri.ac.id

Diterima (November, 2023), direvisi (Desember, 2023), diterbitkan (Januari, 2024)

Abstrak

Kalsium klorida, yang memiliki rumus kimia CaCl_2 , termasuk suatu jenis garam *intermediate* yang terbentuk dari unsur kalsium (Ca) dan klorin (Cl_2). Komponen ini memiliki beragam aplikasi, di antaranya diberdayakan sebagai zat pencair es, sebagai pengendalian debu di jalan-jalan ketika musim panas, sebagai bahan proses industri, sebagai bahan pemisahan minyak dan gas, sebagai bahan pembuatan beton dan lain-lain. Penelitian ini ditujukan untuk menentukan dimensi ukuran alat *Evaporator berjenis Vertical Long Tube* untuk proses produksi kalsium klorida. Prinsip kerja *Evaporator Vertical Long Tube* melibatkan sejumlah tabung panjang yang diposisikan secara vertikal didalam bejana evaporasi. Larutan yang akan diuapkan, dimasukkan ke dalam *Evaporator*, ini bisa berupa larutan yang mengandung pelarut atau cairan lain yang perlu dihilangkan melalui penguapan. Pemanasan dilakukan pada dinding tabung (*tube*) dengan suhu operasi 110°C menggunakan bantuan dari sumber panas eksternal berupa steam dengan suhu 128°C yang berasal dari *Boiler*. Larutan kalsium klorida yang masuk ke *Evaporator* berkapasitas 3.694,6172 kg/jam. Hasil akhir dari perhitungan diperoleh dimensi *Evaporator* jenis *Vertical Long Tube* dengan diameter bejananya adalah 1,3716 m, tinggi total bejananya adalah 3,3595 m yang terdapat tutup jenis torisferikal pada bagian atas berukuran 0,3429 m dan tutup bagian bawah berjenis konikal memiliki ukuran 1,1878 m sehingga diperoleh volume bejana adalah $2,2296 \text{ m}^3/\text{jam}$, jumlah tube sebanyak 58 buah yang berdiameter 0,0254 m serta panjangnya adalah 1,2192 m. Terdapat 4 buah kolom penyangga yang jenisnya I-beam berukuran 2,4418 m selaras dengan pondasi berbahan semen dan gravel setinggi 0,508 m serta luas bagian bawah 0,762 m.

Kata kunci: kalsium klorida; batu kapur; asam klorida; *evaporator vertical long tube*

Abstract

Calcium chloride, which has the chemical formula CaCl_2 , is a type of intermediate salt formed from the elements calcium (Ca) and chlorine (Cl_2). This component has a variety of applications, including being empowered as an ice melting agent, as dust control on the streets during the summer, as an industrial process material, as an oil and gas separation material, as a concrete making material and others. This research is aimed at determining the dimensions of the Vertical Long Tube Evaporator type for the calcium chloride production process. The working principle of the Vertical Long Tube Evaporator involves a number of long tubes positioned vertically in the evaporation vessel. The solution to be evaporated is fed into the evaporator, this can be a solution containing solvents or other liquids that need to be removed through evaporation. Heating is carried out on the tube walls with an operating temperature of 110°C using assistance from an external heat source in the form of steam with a temperature of 128°C coming from the Boiler. Calcium chloride solution entering the Evaporator has a capacity of 3,694.6172 kg / hour. The final results of the calculation obtained the dimensions of the Vertical Long Tube type Evaporator with a vessel diameter of 1.3716 m, the total height of the vessel is 3.3595 m. There is a torisferical type cap at the top measuring 0.3429 m and the bottom cap of the conical type has a size of 1.1878 m so that the volume of the vessel is $2.2296 \text{ m}^3 / \text{hour}$, the number of tubes is 58 pieces with a diameter of 0.0254 m and the length is 1.2192 m. There are 4 supporting columns of the I-beam type measuring 2.4418 m in harmony with the foundation of the I-beam foundation measuring 2.4418 m in harmony with the foundation of the I-beam. There are 4 support columns of the I-beam type measuring 2.4418 m aligned with a foundation made of cement and gravel 0.508 m high and a bottom area of 0.762 m.

Keywords: calcium chloride; hydrochloric acid; limestone; vertical long tube evaporator

1. PENDAHULUAN

Indonesia, dengan kekayaan sumber daya alamnya yang berlimpah, menjadi subjek kerja sama antar negara melalui kegiatan impor dan ekspor. Aset ini tidak hanya mendukung pendapatan negara, tetapi juga memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia. Hal ini juga berkontribusi dalam memacu pertumbuhan negara-negara berkembang yang sedang mengalami kemajuan. Seiring dengan pesatnya perkembangan zaman dan bertambahnya kebutuhan manusia, Indonesia telah berhasil menciptakan banyak industri untuk memenuhi kebutuhan domestik. Meskipun demikian, masih ada beberapa permintaan masyarakat yang tidak bias tercukupi oleh sumber daya di dalam negeri. Oleh karena itu, Indonesia terus melakukan impor dari negara lain, seperti halnya kalsium klorida [1].

Saat ini, industri di Indonesia belum mampu memproduksi kalsium klorida, sementara kebutuhan industri, seperti industri makanan dan minuman, pengolahan minyak dan gas bumi, pulp dan kertas, beton, farmasi, tekstil, petrokimia, dan sebagainya, menunjukkan permintaan yang tinggi terhadap kalsium klorida. Oleh karena itu, Indonesia masih perlu mengimpor kalsium klorida dari negara lain untuk memenuhi kebutuhan industri tersebut [1].

Kalsium klorida merupakan zat kimia anorganik berwujud padat dan berwarna putih, dengan rumus kimia CaCl_2 . Secara umum, kalsium klorida tidak ditemukan sebagai hasil tambang mineral tunggal, melainkan diproduksi sebagai produk sampingan dari industri pengolahan garam atau melalui proses produksi sintesis. Beberapa negara, terutama yang memiliki industri pengolahan garam yang substansial, dapat menghasilkan kalsium klorida sebagai produk sampingan dari kegiatan tersebut [2].

Negara-negara yang dikenal memiliki industri garam yang kuat, dan oleh karena itu dapat menghasilkan kalsium klorida, antara lain Amerika Serikat, Kanada, China, India, Jerman, Australia, dan Brazil. Proses produksi kalsium klorida ini memberikan nilai tambah pada industri garam dan memungkinkan negara-negara tersebut untuk memenuhi kebutuhan industri yang memerlukan senyawa ini sebagai bahan baku [2].

Kalsium klorida, yang memiliki rumus kimia CaCl_2 , termasuk suatu jenis garam *intermediate* yang terbentuk dari unsur kalsium (Ca) dan klorin (Cl_2). Komponen ini memiliki beragam aplikasi, di antaranya sekitar 40% dari total penggunaan kalsium klorida diberdayakan sebagai zat pencair es (*de-icing*), 20% berfungsi sebagai pengendalian debu di jalan-jalan ketika musim panas, dan 20% digunakan sebagai bahan proses industri, terutama dalam sektor makanan, industri pemrosesan plastik, industri farmasi, serta produksi pipa dan semen. Sementara itu, sekitar 10% dimanfaatkan dalam kegiatan pengeboran minyak dan gas, 5% sebagai komponen produksi beton, dan 5% untuk berbagai kegunaan lainnya [3] [4] [5].

Kemampuan kalsium klorida untuk mengabsorpsi sejumlah besar cairan menjadikannya sangat serbaguna. Keunggulan ini menjadikannya lebih efisien dalam mencairkan es dibandingkan dengan natrium klorida. Selain itu, kalsium klorida juga dapat diterapkan dalam berbagai kegunaan lainnya, seperti sebagai agen ion kalsium

untuk meminimalisir erosi pada beton dalam kolam renang. Penggunaan kalsium klorida juga dapat ditemui dalam proses pengeringan rumput laut untuk menghasilkan abu soda, serta dalam keperluan medis [4].

Kalsium Klorida (CaCl_2) adalah Bahan Tambahan Pangan (BTP) yang memiliki tingkat toksisitas sangat rendah. Hal ini didukung oleh data-data seperti informasi kimia, biokimia, toksikologi, dan data lainnya. Kalsium Klorida telah mendapatkan izin penggunaan dari Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia sesuai dengan Peraturan Nomor 24 Tahun 2013 tentang Batas Maksimum Penggunaan Bahan Tambahan Pangan [6].

Komite Ahli Gabungan FAO/WHO tentang Aditif Pangan (JECFA) juga telah melakukan evaluasi terhadap penggunaan BTP kalsium klorida yang diaplikasikan pada buah kalengan, baik secara tunggal atau dalam campuran dengan pengeras, dan menyatakan bahwa penggunaannya aman atau dikenal sebagai *Generally Recognized As Safe* (GRAS). Batas maksimum penggunaan kalsium klorida dalam konteks ini adalah sebanyak 350 g/kg. Hal ini menegaskan bahwa kalsium klorida dapat digunakan sebagai Bahan Tambahan Pangan tanpa menimbulkan risiko yang substansial [6].

Berdasarkan data statistik yang disajikan oleh Badan Pusat Statistik, permintaan terhadap kalsium klorida di Indonesia mengalami peningkatan yang substansial sejalan dengan pertumbuhan kapasitas industri kimia di negara ini. Sementara itu, untuk mencukupi permintaan dalam negeri, Indonesia masih mengandalkan kegiatan impor dari negara luar. Pada tahun 2015, jumlah konsumsi kalsium klorida mencapai 32.043.000 kg, dan terjadi peningkatan yang mencolok pada tahun 2019, yakni lebih dari 20.000.000 kg atau meningkat sekitar 6% setiap tahunnya di Indonesia. Data ini mencerminkan tingginya permintaan dan penggunaan kalsium klorida dalam sektor industri di Indonesia [7].

Ditinjau dari potensi bahan baku yang mencukupi dan fakta bahwa Indonesia masih harus mengimpor kalsium klorida dari negara lain untuk memenuhi kebutuhan, inisiatif untuk mendirikan pabrik di dalam negeri menjadi sangat penting. Pendirian pabrik kalsium klorida juga sejalan dengan agenda pemerintah Indonesia untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan, meningkatkan devisa negara melalui ekspor, dan mengurangi tingkat pengangguran [4]. Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah menentukan dimensi ukuran alat Evaporator berjenis *Vertical Long Tube* untuk proses produksi kalsium klorida.

2. MATERI DAN METODE

Batu kapur, atau limestone, merupakan jenis batuan sedimen yang terbentuk melalui endapan senyawa karbonat. Secara umum, batu kapur yang paling umum ditemukan mengandung kalsit. Proses terbentuknya batu kapur melibatkan endapan sisa-sisa kerang di laut yang mengalami pengaruh dari berbagai proses alam. Mineral karbonat yang sering dijumpai bersama batu kapur ialah aragonit, satu dari beberapa bentuk kristal CaCO_3 . Aragonit termasuk batuan *transiently stable* karena dalam kurun waktu tertentu dapat berubah menjadi kalsit, yang merupakan kristal CaCO_3 yang

paling stabil. Batu kapur murni atau yang juga dikenal sebagai batu kapur kalsit, diketahui mengandung sebagian besar mineral kalsium karbonat (CaCO_3) dengan kadar yang sangat tinggi, berkisar antara 92% hingga 99,5% [8].

Kalsium Karbonat yang rumus molekulnya adalah CaCO_3 dengan berat molekulnya adalah 100,086 g/mol dan fasenya yang padat memiliki titik leleh pada suhu 1.339°C (kalsit) serta densitasnya sebesar 2.711 kg/m^3 (kalsit) [9]. Pada suhu tinggi, kalsium karbonat mengalami dekomposisi, menghasilkan CaO dan melepaskan CO_2 . CaO yang dihasilkan dari dekomposisi kalsium karbonat tersebut kemudian bereaksi dengan air membentuk Ca(OH)_2 [8].

Asam klorida merupakan komponen yang serbaguna dan biasa diterapkan dalam beragam perindustrian. Digunakan dalam proses pemurnian logam seperti timah, proses *electroplating*, sebagai agen pembersih kerak pada boiler, katalis, pelarut dalam sintesis bahan organik, produksi pupuk dan pestisida, bahan dasar pewarna, reagen dalam hidrolisis pati dan protein di industri makanan, serta dalam sektor fotografi, tekstil, dan karet [10]. Asam klorida yang rumus molekulnya adalah HCl dengan berat molekulnya adalah 36,5 g/mol dan fasenya adalah cair memiliki titik didih pada suhu 84°C serta densitasnya sebesar $1,159 \text{ kg/cm}^3$ [9]. Asam klorida berupa zat beracun (karsinogen) dan termasuk oksidator kuat dengan wujud gas berwarna kuning kehijauan memiliki aroma merangsang yang mampu larut dalam alkali hidroksida, kloroform, serta eter, dimana jika direaksikan dengan basa akan terbentuk garam. Asam klorida merupakan asam monoprotik yang hanya dapat melepaskan satu ion H^+ [11].

Kalsium klorida termasuk dalam jenis garam yang terdiri dari komponen ionik, yaitu kalsium (Ca) dan klorin (Cl). Senyawa ini mempunyai sifat fisik yang terlarut dengan cepat di dalam air dan tidak berwarna. Sebagai garam, CaCl_2 berwujud padatan, berperan sebagai ion halida, dan bersifat higroskopis terhadap air, sehingga perlu ditempatkan di dalam *container* yang tertutup rapat pada keadaan termal ruangan. Kemampuannya menyerap banyak cairan menjadikan kalsium klorida sangat berguna dalam berbagai aplikasi industri [12].

Kalsium klorida berupa padatan kristal yang memiliki rumus molekul CaCl_2 dengan massa molar adalah 111 g/mol serta densitasnya sebesar $2,15 \text{ g/cm}^3$, dimana titik didihnya berada pada suhu 183°C dan titik lelehnya ada pada suhu 772°C . Kalsium klorida memiliki sifat higroskopis, sehingga mudah menyerap cairan, dan memiliki perubahan entalpi yang sangat tinggi. Kalsium klorida dapat diproduksi melalui reaksi antara kalsium karbonat dan asam klorida [3].

Penguapan sering kali melibatkan proses yang dikenali sebagai penyulingan, pengeringan, dan kristalisasi. Dalam proses penguapan, tidak terdapat tindakan yang dilakukan untuk mengisolasi komponen uap yang membedakan proses penguapan dan proses distilasi. Proses penguapan berbeda dari proses pengeringan, karena produk hasil proses penguapan selalu berupa cairan pekat. Produk yang diinginkan mungkin berupa padatan, namun panasnya harus ditransfer dari *evaporator* ke larutan atau suspensi dari padatan dalam cairan. Cairan mungkin berviskositas tinggi atau berupa

bubur. Proses penguapan berbeda dengan kristalisasi, dikarenakan penguapan lebih berkaitan dengan memusatkan larutan daripada menghasilkan kristal [13].

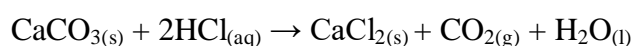
Evaporator merupakan perangkat yang dimanfaatkan untuk memisahkan dua fase antara gas dan cair dengan menggunakan sumber panas eksternal. Proses ini dilakukan dengan memanaskan campuran hingga salah satu komponen menguap pada suhu didihnya, sehingga dapat dipisahkan dari komponen lainnya. Evaporator ini berupa bejana yang menggunakan steam sebagai media pemanas untuk proses pemanasan dan penguapan larutan kalsium klorida yang terdapat kandungan air [14]. Prinsip kerja *Evaporator Vertical Long Tube* melibatkan sejumlah tabung panjang yang diposisikan secara vertikal didalam bejana evaporasi. Larutan yang akan diuapkan dimasukkan ke dalam Evaporator, ini bisa berupa larutan yang mengandung pelarut atau cairan lain yang perlu dihilangkan melalui penguapan. Pemanasan dilakukan pada dinding tabung (*tube*) menggunakan sumber panas eksternal seperti *steam* [13], sehingga larutan mencapai atau melebihi titik didihnya hingga 110°C pada tekanan 1 atm dan terjadilah penguapan yang menyebabkan hilangnya sebagian air atau pelarut, sehingga produk membentuk bubur (*slurry*) CaCl₂ seperti lumpur setelah 1,2 jam pemanasan. Uap yang dihasilkan di dalam bejana naik ke atas terpisah dari *slurry* dan dikondensasikan menjadi cairan pada kondensor dengan menggunakan sistem pendingin atau pertukaran panas dengan lingkungan sekitar.

Adapun uraian proses dari metode Netralisasi yang diterapkan pada Pra Rancang Bangun Pabrik Kalsium Klorida adalah sebagai berikut :

A. Pereaksian Bahan Baku

Mula-mula agregat batu kapur (*limestone*) sebanyak 2.946,1279 kg/jam dari *Storage Vessel* (F111) diangkut dengan menggunakan *Belt Conveyor* (J112) menuju *Roll Crusher* (C113) untuk dihancurkan hingga ukurannya mencapai 1mm. Selanjutnya batu kapur yang telah dihancurkan, ditampung di *Storage Bin* (F114), kemudian diangkut menggunakan *Belt Conveyor* (J115) menuju Reaktor Netralisasi (R110). Umpan larutan asam klorida (HCl) 33% dengan suhu awal 30°C dialirkan dari *Storage Tank* (F116) menuju Reaktor Netralisasi (R110) untuk diaduk bersamaan dengan batu kapur. Penambahan HCl di dalam Reaktor pada saat pengadukan terus menerus, mempengaruhi kenaikan temperatur bahan menjadi 40°C dengan tekanan 1 atm.

Persamaan reaksi yang terjadi di dalam Reaktor adalah sebagai berikut:



Reaksi tersebut menunjukkan bahwa kalsium karbonat (CaCO₃) bereaksi dengan asam klorida (HCl) membentuk kalsium klorida (CaCl₂), karbon dioksida (CO₂), serta air (H₂O). Proses ini merupakan suatu reaksi netralisasi eksotermis.

B. Pemekatan Larutan CaCl₂

Pada tahap ini, dilakukan metode evaporasi atau pemekatan zat melalui penguapan. Produk keluaran dari Reaktor Netralisasi (R110) diumpankan ke dalam

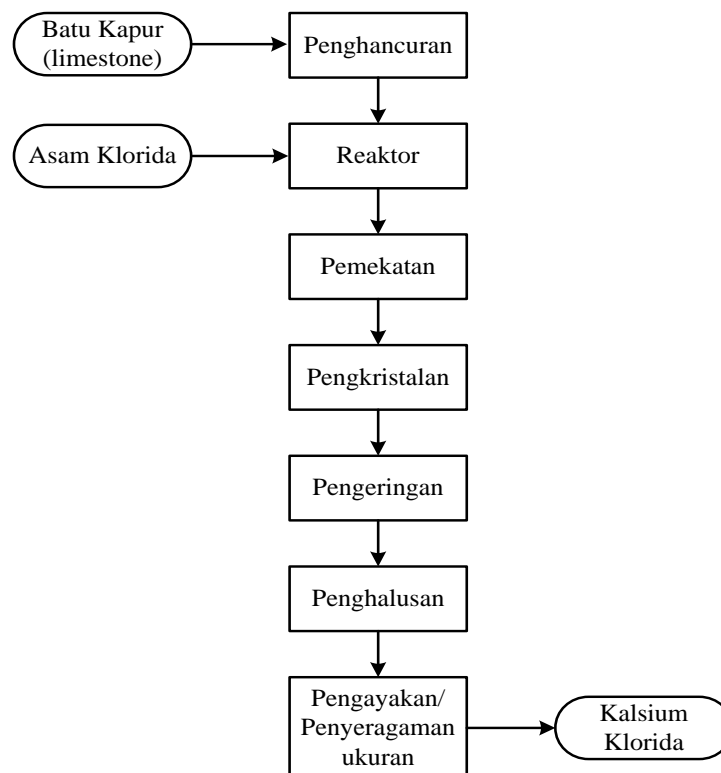
Evaporator Vertical Long Tube (V120), sementara CO_2 dialirkan ke *Storage* penampung gas CO_2 (F118). Proses evaporasi bertujuan untuk memekatkan larutan CaCl_2 hingga mencapai 90% dengan keadaan suhu *Evaporator* 110°C sehingga air yang terkandung pada larutan CaCl_2 menguap, mengurangi kandungan air dalam larutan dan memudahkan proses pengkristalan produk.

C. Pengkristalan Produk

Larutan kalsium klorida yang telah dikentalkan, kemudian diinjeksikan menuju *Crystallizer* (X130) untuk membentuk kristal kalsium klorida pada suhu 70°C . Setelah itu, kristal CaCl_2 yang dihasilkan, diumpankan ke *Rotary Dryer* (B140) untuk menghilangkan sisa kandungan air yang terdapat pada produk melalui pemanasan pada suhu 100°C . Pada *Rotary Dryer* (B140), berlangsung proses pengeringan kristal menggunakan bantuan udara panas secara *counter-current*. Kristal CaCl_2 yang telah melalui proses pengeringan di *Rotary Dryer* (B140), kemudian dihancurkan menggunakan *Ball Mill* (C141) dan diseragamkan ukurannya menjadi 0,074 mm dengan menggunakan *Screening* (X142) 200 mesh. Produk yang tidak lolos dari *Screening* (X142), di-*recycle* ke dalam *Ball Mill* (C141).

D. Penanganan Produk

Produk berupa kristal kering CaCl_2 yang lolos ayakan, kemudian diangkut dari *Screening* (X142) dengan *Chain Conveyor* (J143) menuju ke gudang penyimpanan produk (F144) untuk disimpan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm sebelum dikemas dan siap didistribusikan.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Pembuatan Kalsium Klorida Dari Batu Kapur

Instrumentasi adalah bagian terpenting untuk pengendalian proses produksi pada industri. Instrumentasi merupakan sistem operasional yang mengendalikan jalannya suatu proses produksi untuk memperoleh capaian dengan kondisi yang telah diharapkan. Pengendalian proses pada suatu pabrik harus diberlakukan dengan cermat dan akurat sebagai pengendali, indikator, pendokumentasi, dan rambu peringatan agar tingkat kesalahan/kecelakaan (*error*) sangat minim didapatkan sehingga produk yang dihasilkan optimal. Dengan adanya pengendalian proses, pekerja akan dengan mudah mengoperasikan alat, mengawasi variabel proses tetap beroperasi dengan keamanan, mendeteksi situasi berbahaya, sehingga mencapai target produksi dengan tingkat mutu yang baik karena terjaminnya keselamatan dan efisiensi kerja lebih terjamin.

Tabel 1. Jenis-jenis Instrumentasi

Instrumentasi	Fungsi	Alat
<i>Temperature Controller (TC)</i>	Mengubah sinyal panas menjadi sinyal mekanis atau listrik merupakan fungsi dari pengatur suhu atau sinyal dalam bentuk panas.	<i>Evaporator Vertical Long Tube</i>
<i>Temperature Indicator Controller (TIC)</i>	Mengetahui dan mengendalikan suhu pada perangkat.	Reaktor Netralisasi
<i>Pressure Controller (PC)</i>	Mengontrol tekanan di dalam alat selama proses berlangsung.	-
<i>Flow Controller (FC)</i>	Mengatur laju aliran fluida di dalam saluran pipa atau unit proses lainnya.	<i>Valve</i>
<i>Level Controller (LC)</i>	Menentukan tinggi permukaan cairan dalam sebuah peralatan dengan mengatur aliran fluida yang masuk atau keluar.	-

2.1 Keselamatan Kerja

Keselamatan kerja di lingkungan industri memerlukan perhatian yang lebih besar karena berkaitan dengan kesejahteraan manusia dan efisiensi pekerjaan. Keselamatan kerja merupakan usaha untuk memastikan integritas fisik dan mental para pekerja di area pekerjaan dengan mematuhi peraturan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang telah disepakati bersama. Tujuannya adalah menghindari penyebab kecelakaan kerja, gangguan kesehatan yang diakibatkan oleh pekerjaan, atau faktor-faktor lain yang dapat mengancam keselamatan. Ini dilakukan dengan maksud membuat kondisi kerja yang aman dan nyaman. Masing-masing pekerja memiliki hak untuk mendapatkan keselamatan dan perlindungan di lingkungan kerja. Dengan memperhatikan keselamatan kerja secara teliti dan teratur, produktivitas kerja dapat dicapai secara optimal [15].

Pencegahan kecelakaan kerja dapat ditingkatkan dengan bantuan alat pelindung diri (APD) dalam area pekerjaan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan. Dalam Pra Rancang Bangun Pabrik Kalsium Klorida ini, Program Kesehatan dan Keselamatan

Kerja (K3) telah diimplementasikan bersama dengan penyediaan APD untuk para pekerja [15].

2.2 Utilitas

Unit utilitas dalam pabrik adalah elemen yang sangat penting untuk mendukung kelancaran operasi dalam industri kimia. Ini mencakup penyediaan listrik, air untuk proses, air sanitasi, udara panas sebagai pemanas eksternal alat proses serta bahan bakar yang diperlukan untuk operasi pembakaran dan generator. Oleh karena itu, perancangan fasilitas penunjang harus optimal agar memastikan operasional industri berjalan dengan baik [3]. Unit penyediaan air bertanggung jawab untuk memastikan ketersediaan air proses, air pendingin (*Cooling Water*), dan air uap sesuai dengan kebutuhan produksi, serta melakukan pengolahan air baku untuk memenuhi standar air konsumsi dan sanitasi. Sumber air untuk pabrik CaCl_2 ini berasal dari sungai dan PDAM. Pemilihan sumber air sungai disebabkan oleh biaya pengolahan yang lebih rendah dan proses yang lebih sederhana dibandingkan dengan air laut. Selain itu, air sungai memiliki keberlanjutan yang relatif tinggi, sehingga risiko kekurangan air rendah karena lokasi pabrik dekat dengan sungai. Keberlanjutan ini tidak sebanding dengan air sumur, membuat penggunaan sungai menjadi pilihan yang lebih menguntungkan bagi pabrik.

Kebutuhan akan udara panas dipenuhi melalui konversi CO_2 yang dihasilkan dari reaksi pada Reaktor Netralisasi dan kondensat air steam yang berasal dari Evaporator. Proses ini melibatkan daur ulang atau pengolahan kembali fluida buangan atau sisa dari peralatan produksi. Tujuannya adalah untuk efisiensi pemanfaatan sumber daya dan pengelolaan limbah yang optimal, dengan dampak pengurangan biaya investasi. Udara panas yang dihasilkan digunakan sebagai pemanas eksternal pada Rotary Dryer untuk mengeringkan produk CaCl_2 .

Pabrik Kalsium Klorida dari batu kapur ini mengandalkan Pasokan Listrik Negara (PLN) untuk memenuhi kebutuhan daya listriknya. Namun, sebagai tindakan antisipasi dan untuk mengurangi ketergantungan penuh pada PLN, pabrik ini dilengkapi dengan satu unit generator tenaga surya (*emergency generator solar/EGD*). Generator ini dirancang untuk mampu mengatasi seluruh kebutuhan listrik pabrik, berfungsi sebagai cadangan sehingga operasional pabrik tetap dapat berlangsung meskipun terjadi gangguan dari PLN. Daya listrik memiliki peran krusial dalam industri ini, menggerakkan peralatan produksi dalam berbagai proses, menyediakan penerangan, serta memenuhi kebutuhan peralatan elektronik lainnya dengan kuat arus yang bervariasi.

Pada tahap Pra Rancang Bangun Pabrik ini, bahan bakar yang dipilih untuk memenuhi kebutuhan generator dan alat produksi adalah solar. Pemilihan solar sebagai bahan bakar didasarkan pada pertimbangan harganya yang relatif terjangkau dan ketersediaannya yang mudah didapatkan. Keputusan ini diambil untuk mengoptimalkan efisiensi biaya dan memastikan pasokan bahan bakar yang stabil untuk mendukung operasional pabrik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaporator Vertical Long Tube berfungsi sebagai tempat terjadinya pemekatan larutan kalsium klorida hingga mencapai 90% melalui penguapan.

3.1 Neraca Massa Evaporator *Vertical Long Tube*

Total massa larutan kalsium klorida yang masuk ke dalam Evaporator adalah 3.694,6172 kg/jam dengan massa bahan keringnya (CaCl_2) adalah 3.179,0892 kg/jam dan massa air (H_2O) adalah 515,5280 kg/jam, maka dapat dihitung dengan asumsi bahan keluar adalah 99% dan % Loss adalah 1%.

$$X_f = \frac{\text{Massa bahan kering}}{\text{Total massa feed}} \quad (1)$$

$$X_f = \frac{3.179,0892}{3.694,6172}$$

$$= 0,86046512 \text{ kg/jam}$$

Neraca Massa Total di *Evaporator*

$$F = L + V \quad (2)$$

$$3.694,6172 = L + V \quad \dots(i)$$

Neraca Massa Komponen Total

*Tidak ada bahan kering dalam V ($X_v = 0$)

XL adalah konsentrasi akhir $\text{CaCl}_2 = 90\% = 0,9$

$$F \cdot X_f = L \cdot X_L + V \cdot X_v \quad (3)$$

$$3.694,6172 \times 0,86046512 = 0,9L + 0$$

$$L = 3.532,3214 \text{ kg} \quad \dots(ii)$$

Jumlah air yang diuapkan (substitusi hasil perhitungan (i) ke (ii)):

$$V = F - L \quad (4)$$

$$V = 3.694,6172 - 3.532,3214$$

$$V = 162,2958 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air dalam produk} &= \text{Air masuk} - \text{Air Menguap} & (5) \\ &= 515,5280 - 162,2958 \\ &= 353,2321 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Aliran menuju *Crystallizer*

$$\begin{aligned} \text{CaCl}_2 &= 3.179,0892 \times 99\% &= 3.147,2983 \text{ kg/jam} \\ \text{H}_2\text{O} &= 353,2321 \text{ kg/jam} \\ \% \text{ Loss} &= 3.694,6172 - 3.500,5305 &= 31,7909 \text{ kg/jam} \\ \text{TOTAL} &= \mathbf{3.694,6172 \text{ kg/jam}} \end{aligned}$$

Aliran menuju *Waste*

$$\text{H}_2\text{O} = 162,2958 \text{ kg/jam}$$

Tabel 2. Neraca Massa *Evaporator*

Komponen	Masuk (kg/jam)		Keluar (kg/jam)	
	Aliran ke <i>Evaporator</i>		Aliran ke <i>Crystallizer</i>	
	Arus 8		Arus 9	
CaCl ₂	3.179,0892		3.147,2983	0
H ₂ O	515,5280		353,2321	162,2958
Jumlah	3.694,6172		3.500,5305	
% Loss	0		31,7909	
TOTAL	3.694,6172		3.694,6172	

Perhitungan neraca massa *Evaporator* dilakukan untuk mengetahui massa air yang diuapkan pada bejana *Evaporator* dengan menghitung komponen yang masuk dan mensubstitusikan persamaan i dan ii, sehingga diperoleh massa air yang diuapkan adalah 162,2958 kg yang nantinya membentuk uap pada bagian atas bejana dan diketahui sisa air pada produk adalah 353,2321 kg/jam. Diperoleh massa produk keluaran dari *Evaporator* 3.500,5305 kg/jam dengan asumsi bahan keluar adalah 99% dengan massa % Loss 1% adalah 31,7909 kg/jam.

3.2 Neraca Panas *Evaporator Vertical Long Tube*

a. Panas masuk (Q in)

$$T = 40^{\circ}\text{C} = 313 \text{ K}$$

$$T_{\text{referensi}} = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

Tabel 3. Neraca Panas Masuk *Evaporator*

Komponen	m (Kg/Jam)	Cp (Kkal/Kg.K)	ΔT (K)	Q = m.Cp. ΔT (Kkal/Jam)
CaCl ₂	3.179,0892	0,73086845	15 K	34.852,4403
H ₂ O	515,5280	0,99885355	15 K	7.724,0543
TOTAL				42.576,4946

b. Panas keluar (Q out)

$$T = 110^{\circ}\text{C} = 383 \text{ K}$$

$$T_{\text{referensi}} = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

Tabel 4. Neraca Panas Keluar *Evaporator*

Komponen	m (Kg/Jam)	Cp (Kkal/Kg.K)	ΔT (K)	Q = m.Cp. ΔT (Kkal/Jam)
CaCl ₂	3.147,2983	0,73086845	85 K	195.522,1899
H ₂ O	353,2321	0,99885355	85 K	29.990,3098
TOTAL				225.512,4997

c. Panas suplai (Q suplai) dan panas hilang (Q loss)

Diasumsikan Q loss = 5% Q suplai, sehingga persamaan neraca panas menjadi:

$$Q \text{ masuk} = Q \text{ keluar} \quad (6)$$

$$Q \text{ in} + Q \text{ suplai} = Q \text{ out} + Q \text{ loss}$$

$$Q \text{ suplai} = \frac{(Q \text{ out} - Q \text{ in})}{95\%}$$

$$Q \text{ suplai} = 192.564,2159 \text{ kkal/jam}$$

$$Q \text{ loss} = 5\% \times Q \text{ suplai}$$

$$Q \text{ loss} = 9.628,2108 \text{ kkal/jam}$$

d. Beban *Evaporator*

$$\Delta Q = Q_{\text{out}} - Q_{\text{in}} \quad (7)$$

$$\Delta Q = 182.936,0051$$

e. Panas *steam*

Medium pemanas adalah *saturated steam* pada $T = 128 \text{ }^\circ\text{C}$ [16], sehingga:

$$H_f = 537,8 \text{ kkal/kg}$$

$$H_v = 2.177,2 \text{ kkal/kg}$$

$$\lambda_s = 2.179,4 \text{ kkal/kg}$$

Jumlah *steam* yang dibutuhkan (Ms)

$$M_s = \frac{\Delta Q}{\lambda_s} \quad (8)$$

$$M_s = 83,9387011 \text{ kg/jam}$$

Panas *steam* masuk ($Q_s \text{ in}$)

$$Q_s \text{ in} = M_s \times H_v \quad (9)$$

$$Q_s \text{ in} = 228.078,2385 \text{ kkal/jam}$$

Panas *steam* keluar ($Q_s \text{ out}$)

$$Q_s \text{ out} = M_s \times H_f \quad (10)$$

$$Q_s \text{ out} = 45.142,2334 \text{ kkal/jam}$$

Tabel 5. Tabulasi Neraca Panas *Evaporator*

	Masuk (kkal/jam)		Keluar (kkal/jam)
Q in	42.576,4946	Q out	225.512,4997
Qs in	228.078,2385	Qs out	45.142,2334
Total	270.654,7331	Total	270.654,7331

Kalkulasi neraca panas bertujuan untuk memperoleh nilai panas suplai dan panas yang hilang dengan penjabaran perbedaan suhu bahan masuk dan bahan keluar, sehingga diketahui kebutuhan *steam* yang masuk selama proses pemekatan berlangsung. Diperoleh panas bahan masuk adalah 42.576,4946 kkal/jam dan bahan keluar adalah 225.512,4997 kkal/jam, kemudian diasumsikan panas yang hilang adalah 5%, maka didapat panas yang tersuplai adalah 192.564,2159 kkal/jam dan panas yang hilang sebesar 9.628,2108 kkal/jam, sehingga dapat dikalkulasikan perbedaan panas yang terjadi sebesar 182.936,005. Massa *steam* yang dibutuhkan dengan suhu 128°C setelah dikalkulasikan sebesar 83,9387011 kg/jam dan diperoleh panas *steam* yang masuk adalah 228.078,2385 kkal/jam serta panas *steam* yang keluar sebesar 45.142,2334 kkal/jam.

3.3 Dimensi *Evaporator Vertical Long Tube*

Rumus utama dalam perhitungan bejana *Evaporator*, yaitu:

a. Diameter *Evaporator*

$$D = \frac{D}{\frac{1}{4}\pi \cdot dr^2} \quad (11)$$

b. Volume *Evaporator*

$$V_c = \frac{1}{4}\pi \cdot dr^2 h \quad (12)$$

$$V_h = \left(dr^2 \frac{1 \text{ in}}{2,5399 \text{ cm}} \right) \quad (13)$$

$$V_{\text{total}} = V_c + V_h \quad (14)$$

c. Panjang *Evaporator*

$$V = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \quad (15)$$

d. Tebal *Evaporator*

$$t_s = \frac{P \cdot r_i}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad (16)$$

e. Jumlah *Tube* Pemanas

$$N_t = \frac{A}{a'' \times L} \quad (17)$$

A. Bejana

Dimensi bejana yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan desain alat dapat disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Dimensi Bejana *Evaporator*

Jenis	= Silinder vertikal	
Bahan konstruksi	= <i>Stainless Steel SA-240 grade A type 410</i>	
Diameter luar (OD)	= 54 inch	= 1,3716 m
Diameter dalam (ID)	= 53,38 inch	= 1,3557 m
Tinggi bejana	= 132 inch	= 3,3595 m
Tinggi <i>shell</i>	= 72 inch	= 1,8288 m
Tinggi tutup atas	= 14 inch	= 0,3429 m
Tinggi tutup bawah	= 46,7654 inch	= 1,1878 m
Tebal silinder	= 0,3125 inch	= 0,0079 m
Volume bahan	= 1,8580 m ³ /jam	
Volume bejana	= 2,2296 m ³ /jam	
Waktu tinggal	= 1,2 jam	= 72 menit

B. Pemanas (*tube*)

Dimensi pemanas (*tube*) yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan desain alat dapat disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 7. Dimensi Pemanas (*Tube*) *Evaporator*

Bahan konstruksi	= SA-213 <i>grade</i> TP304	
Diameter luar <i>tube</i> (OD)	= 1 inch	= 0,0254 m
Diameter dalam <i>tube</i> (ID)	= 0,782 inch	= 0,0198 m
Tebal dinding <i>tube</i>	= 0,109 inch	= 0,0027 m
Panjang <i>tube</i>	= 48 inch	= 1,2192 m
Jumlah <i>tube</i>	= 58 buah	

C. Penyangga

Dimensi penyangga yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan desain alat dapat disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 8. Dimensi Penyangga *Evaporator*

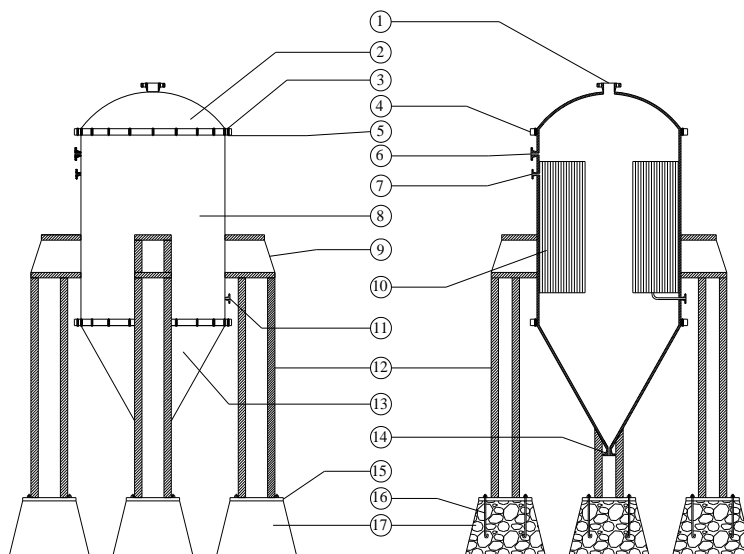
Jenis kolom	= I-beam	
Jumlah	= 4 kaki	
Tinggi	= 96,1327 inch	= 2,4418 m

D. Pondasi

Dimensi pondasi yang diperoleh setelah dilakukan perhitungan desain alat dapat disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 9. Dimensi Pondasi *Evaporator*

Bahan konstruksi	= Semen dan gravel	
Luas alas atas	= 20 inch	= 0,508 m
Luas alas bawah	= 30 inch	= 0,762 m
Tinggi pondasi	= 20 inch	= 0,508m
Jumlah	= 4 buah	



Gambar 2. *Evaporator Vertical Long Tube*

Ditinjau dari hasil perhitungan yang diperoleh, maka dirancang bejana *Evaporator* dengan tipe *Vertical Long Tube* memiliki tutup jenis torisferikal di bagian atas yang tingginya 0,3429 m dan terdapat 1 *nozzle vapour outlet*. Penutup jenis Torisferikal, mampu menahan tekanan operasi hingga lebih dari 3 atm yang sangat memadai digunakan sebagai penutup atas pada *evaporator* yang nantinya pada bagian atas *evaporator* terdapat uap yang terpisah dari larutan kalsium klorida yang ingin dihilangkan kandungannya. Sementara, pada bagian bawah bejana terdapat penutup jenis konikal yang tingginya 1,1878 m dan memiliki sudut kerucut 60° dengan 1 *nozzle*

produk. Penutup jenis Konikal tidak jarang diterapkan pada bejana *evaporator*, ini berfungsi untuk mempermudah akses keluar produk yang konsistensinya sangat kental serta menghindari kerusakan seperti korosi pada alat proses akibat penumpukan residu yang tertinggal. Selain itu, penutup konikal biasanya diterapkan pada bejana yang kondisi operasinya bertekanan tidak lebih dari 1 atm. Hal ini merupakan pilihan yang tepat untuk menerapkan penutup konikal pada bagian bawah bejana, karena pada proses pemekatan kalsium klorida kondisi tekanan saat beroperasi hanya sebesar 1 atm pada bagian bawah yakni produk yang membentuk *slurry*. Di sisi lain *nozzle* terdapat pada *shell* bejana yakni *nozzle feed*, *nozzle steam inlet* serta *nozzle steam outlet*. *Shell* bejana berdiameter 1,3716 m dengan tinggi *shell* 1,8288 m ketebalannya 0,0079 m. Dimensi bejana mampu menampung volume bahan yang masuk sebanyak 1,8580 m³/jam, dimana volume keseluruhan bejana adalah 2,2296 m³/jam.

Terdapat *tube* vertikal di dalam bejana berfungsi sebagai pemanas yang dialiri *steam* sebagai sumber panas eksternal. Sebanyak 58 buah *tube* yang panjangnya 1,2192 m dan berdiameter 0,0254 m, mampu menguapkan 90% air yang terkandung dalam larutan kalsium klorida selama 1,2 jam

4. KESIMPULAN

Berdasarkan rancangan yang telah dilakukan, hasil akhir yang diperoleh membuktikan bahwa, *Evaporator* jenis *Vertical Long Tube* dengan dimensi diameter bejananya adalah 1,3716 m, tinggi total bejananya adalah 3,3595 m yang terdapat tutup jenis torisferikal pada bagian atas berukuran 0,3429 m dan tutup bagian bawah berjenis konikal memiliki ukuran 1,1878 m sehingga volume bejana adalah 2,2296 m³/jam. Tebal silinder 0,0079 m berdiameter 1,3716 m serta tinggi silinder adalah 1,8288 m yang dapat menutupi media pemanas di dalam bejana berupa *tube* sebanyak 58 buah yang berdiameter 0,0254 m serta panjangnya adalah 1,2192 m. spesifikasi dimensi alat *Evaporator* ini mampu menguapkan larutan kalsium klorida selama 1,2 jam. Selain itu, di luar bejana terdapat 4 buah kolom penyangga yang jenisnya I-beam berukuran 2,4418 m selaras dengan pondasi berbahan semen dan gravel setinggi 0,508 m serta luas bagian bawah adalah 0,762 m.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ikhwan, Satriawan, E. Melwita, 2017. "PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF KALSIUM KLORIDA ($CaCl_2$) DARI LIMBAH KULIT TELUR TERHADAP REAKSI PENGGERASAN SEMEN," Jurnal. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- [2] Hutapea Gery, H. Ambarita, Napitupulu Farel, M. S. Gultom, 2019. "Study Experimental untuk Alat Pengering Biji Kopi Tenaga Surya Sistem Kontinu," Jurnal Departmen Teknik Mesin Fak. Teknik USU Vol. 7, No. 4 1–12.
- [3] W. S. W. Pratiwi, N. I. Nuzula, D. S. Suci, A. G. D. Kartika, M. Effendy, 2021. "Produksi $MgCl_2$ dari Bittern melalui Optimalisasi Pemisahan Ion Sulfat Menggunakan Reagen Kalsium Klorida Dihidrat," Journal of Marine Research,

- Vol. 10, No. 2. pp 244-251.
- [4] H. A. Saputra, 2022. "Prarancangan Pabrik Kalsium Klorida Dari Batu Kapur Dan Asam Klorida Dengan Metode Netralisasi Kapasitas Produksi 10.000 Ton/Tahun," Jurnal Tek. Kim., vol. 4, no. 1, pp 25-30.
- [5] D. E. Wiyono, S. A. Siregar, and E. O. Ningrum, 2023. "Optimalisasi Single-Effect Evaporator pada Proses Produksi Kalsium Klorida," Jurnal. Tek. ITS, vol. 12, no. 2, pp. 83–88, doi: 10.12962/j23373539.v12i2.119562.
- [6] P. S. S. J. Munawaroh, W. D. R. Putri, L. Hapsari, 2018. "Karakteristik Fries Uwi Putih (*Dioscorea Alata*) Dengan Kajian Konsentrasi Kalsium Klorida Dan Lama Blanching,". Jurnal Teknologi Pertanian, Vol. 19, No. 1. 33-42.
- [7] Badan Pusat Statistik. "Data Konsumsi Kalsium Klorida 2015-2019 di Indonesia". (<https://www.bps.go.id>). Diakses pada 7 Juni 2020
- [8] N. F. Apriliani, M. a Baqiya, and Darminto, 2012. "Pengaruh Penambahan Larutan $MgCl_2$ pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat Berbahan Dasar Batu Kapur dengan Metode Karbonasi," Jurnal Sains dan Seni ITS, vol. 1, no. 1, pp. B30–B34.
- [9] P. C. Wankat, 2020. *Distillation*. In *Between Making And Knowing: Tools In The History Of Materials Research*. McGraw-Hill. University of Kansas Lawrence. doi: 10.1142/9789811207631_0009.
- [10] K. Kevin, V. L. Aria, R. Handogo, and J. P. Sutikno, 2021. "Pra Desain Pabrik Asam Klorida dari Elektrolisis Garam Industri," Jurnal. Tek. ITS, vol. 10, no. 2, pp. 139–144, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.68949.
- [11] D. Kartikawati, D. Ilminingtyas, Nurtekto, 2017. "Pengaruh Perendaman Larutan Kalsium Klorida Terhadap Sifat Fisik Dan Tingkat Kesukaan French Fries Labu Kuning (*Curcubita moschata* Durh)," Jurnal Ilmiah UNTAG Semarang. Vol. 6, No. 2.1-10
- [12] Mardiyanto, Herlina, N.A. Fithri. Y. Rahmi, 2019. "Formulasi dan Evaluasi Sediaan Submikro Partikel Gelas-Ionik Pembawa Ekstrak *Pluche indica* sebagai Antibakteri pada Kulit Tikus Jantan Galur Wistart," Jurnal Sains Farmasi & Klinis 6(2), 171-179.
- [13] A. Ariesmayana and A.S. Zaman, 2018. "Efisiensi Sisten Evaporator dan Karbon Aktif untuk Mengurangi Kadar Fenol pada Hasil Buangan Produksi PT. Latinusa, Tbk". Jurnal. Univ. Banten Jaya. Serang-Banten, vol. 1, no. 1, pp. 1–13.
- [14] A. F. Faputri, 2016. "Kondisi Operasi Optimal Pada Desain Peralatan," Jurnal. Tek. Patra Akad., vol. 7, no. 2, pp. 17–23.
- [15] T. Urrachaman, 2019. "Keselamatan dan Kesehatan Kerja Industri," Jurnal Esa Unggul, vol. 3, no. 2, p. 121.
- [16] J. M. Smith, 1950. *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. University of California Davis. vol. 27, no. 10. doi: 10.1021/ed027p584.3.