

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Baku Utama dan Penunjang

2.1.1 Bahan Baku Utama

a. Batu Kapur/Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Batu kapur (*limestone*) merupakan batuan sedimen yang terbentuk dari endapan senyawa karbonat, umumnya didominasi oleh mineral kalsit. Proses pembentukannya berasal dari akumulasi sisa-sisa organisme laut, terutama kerang, yang kemudian mengalami proses alamiah. Selain kalsit, mineral karbonat lain yang sering ditemukan bersama batu kapur adalah aragonit, yaitu salah satu bentuk kristal CaCO_3 yang bersifat metastabil karena seiring waktu dapat berubah menjadi kalsit, bentuk kristal CaCO_3 yang paling stabil. Batu kapur murni atau dikenal sebagai batu kapur kalsit diketahui memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang sangat tinggi, yakni sekitar 92% hingga 99,5% (Megawati et al., 2019).

1. Sifat Fisika

Adapun sifat fisika dari batu kapur/kalsium karbonat (CaCO_3) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat fisika CaCO_3

Sifat	Keterangan
Fase	Padat
Warna	Putih
Densitas	2,17 g/cm ³ pada 25 °C

Sumber: (<https://www.carlroth.com/medias/SDB-P013-MT-EN/MSDS>)

2. Sifat Kimia

Adapun sifat kimia dari batu kapur/kalsium karbonat (CaCO_3) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2 Sifat kimia CaCO_3

Parameter	Keterangan
Rumus Molekul	CaCO_3
Berat Molekul	100,09 kg/kmol
Titik leleh (1 atm)	1339 °C
Titik lebur	825°C
pH	8-9

Sumber: (<https://www.carlroth.com/medias/SDB-P013-MT-EN/MSDS>)

b. Asam Klorida (HCl)

Asam klorida merupakan senyawa kimia yang memiliki sifat serbaguna sehingga banyak dimanfaatkan di berbagai sektor industri. Penggunaannya meliputi proses pemurnian logam seperti timah, *electroplating*, penghilang kerak pada boiler, katalis, serta pelarut dalam sintesis senyawa organik. Selain itu, asam klorida juga digunakan dalam produksi pupuk dan pestisida, pembuatan bahan pewarna, reagen untuk hidrolisis pati dan protein dalam industri pangan, serta diaplikasikan pada bidang fotografi, tekstil, dan karet (Kevin et al., 2021).

1. Sifat Fisika

Adapun sifat fisika dari asam klorida (HCl) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Sifat fisika HCl

Sifat	Keterangan
Fase	Cair tidak berwarna
Bau	Berbau tajam
Massa jenis	1159 kg/m ³
Densitas	kira-kira 1,16 g/cm ³ pada 20 °C
Viskositas	1,9 mPa.s pada 15 °C
Tekana uap	21,3h pa pada 20 °C

Sumber: (<https://www.pyramida.co.id/files/product/msds/hydro-chloric-acid-hcl-32-lokal-msds>)

2. Sifat Kimia

Adapun sifat kimia dari asam klorida (HCl) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.4 Sifat kimia HCl

Parameter	Keterangan
Rumus Molekul	HCl
Berat Molekul	36,461 kg/kmol
Titik didih (1 atm)	84°C
Titik lebur	Kira-kira -50 °C
pH	< 1 pada 20 °C
Kelarutan dalam air	pada 20 °C larut
Konsentrasi	32%

Sumber: (<https://www.pyramida.co.id/files/product/msds/hydro-chloric-acid-hcl-32-lokal-msds>)

2.2 Produk

a. Kalsium Klorida (CaCl₂)

Kalsium klorida merupakan senyawa garam ionik yang tersusun atas kation kalsium (Ca²⁺) dan anion klorida (Cl⁻). Senyawa ini berbentuk padatan tidak berwarna, mudah larut dalam air, serta bersifat higroskopis sehingga harus disimpan dalam wadah kedap udara pada suhu ruang. Salah satu karakteristik utama kalsium klorida adalah kemampuannya menyerap kelembapan dalam jumlah besar,

sehingga menjadikannya banyak digunakan di berbagai bidang industri (PhubChem, 2024)

1. Sifat Fisika

Adapun sifat fisika dari Kalsium Klorida adalah sebagai berikut:

Tabel 2.5 Sifat fisika CaCl_2

Sifat	Keterangan
Fase	Padat
Warna	Putih
Bau	Tidak Berbau
Densitas	2,15 g/cm ³ pada 25 °C
Tekanan uap	0,01 hPa pada 20 °C

Sumber: <https://www.merckmillipore.com/MSDS>

2. Sifat Kimia

Adapun sifat kimia dari Kalsium Klorida adalah sebagai berikut:

Tabel 2.6 Sifat kimia CaCl_2

Parameter	Keterangan
Rumus molekul	CaCl_2
Berat molekul	110,99 g/mol
pH	8-10 (100 g/l, 20°C)
Titik leleh	775 °C pada 1.013 hPa
Titik didih	1.935 °C pada 1.013 hPa
Kelarutan dalam air	81,3 g/l pada 25 °C - larut sepenuhnya

Sumber: <https://www.merckmillipore.com/MSDS>

2.3 Jenis Proses

Proses produksi CaCl_2 dapat dilakukan melalui beberapa jalur, di antaranya reaksi batu kapur (CaCO_3) atau kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dengan asam klorida (HCl), pemanfaatan brine alami, maupun sebagai produk samping industri tertentu. Dari berbagai opsi tersebut, jalur reaksi batu kapur dengan HCl dianggap paling sesuai bagi kondisi Indonesia, karena ketersediaan batu kapur yang melimpah serta pasokan HCl yang stabil dari industri klor-alkali dan PVC di dalam negeri. Selain mampu menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi, metode ini juga lebih ekonomis dan mudah diintegrasikan dengan rantai pasok lokal (Vafayev, F. & Kurbanova, 2024).

2.3.1 Proses Solvay

Dalam proses Solvay (produksi Na_2CO_3) batu kapur (CaCO_3) dipanaskan kemudian menghasilkan CO_2 , sisa CaO/Ca(OH)_2 bereaksi dalam beberapa langkah sehingga terbentuk larutan kalsium klorida (CaCl_2) sebagai produk samping. Pada pabrik Solvay tradisional, aliran sisa/limbah mengandung konsentrat CaCl_2 yang bila bernilai komersial dapat dimurnikan (USDA, 2021).

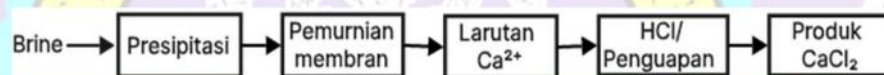


Gambar 2.1 Diagram proses solvay

2.3.2 Proses Pemurnian Brine/Air Laut

Brine yang berasal dari air laut, reject RO (*reverse osmosis*) atau *endorheic salt lakes* mengandung ion Ca^{2+} bersama Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Metode untuk mendapatkan CaCl_2 meliputi:

- Pengendapan selektif (misalnya penambahan karbonat/penyesuaian pH untuk mengendapkan ion pengganggu seperti Mg^{2+}).
- Pemisahan membran (nanofiltrasi, elektrodialisis) atau penukar ion untuk mengkaya Ca^{2+} .
- Penguapan/fraksinasi kristalisasi untuk mendapatkan larutan pekat atau kristal. Pilihan teknologi bergantung pada komposisi brine dan pertimbangan energi/biaya.
- Pemanfaatan brine (termasuk reject desalinasi) dipandang sebagai peluang circular economy, tetapi tantangannya besar terutama konsumsi energi (untuk penguapan), kebutuhan untuk menangani residu/limbah, dan kesulitan memisahkan Mg^{2+} yang sering hadir pada konsentrasi tinggi.



Gambar 2.2 Diagram proses ekstraksi brine

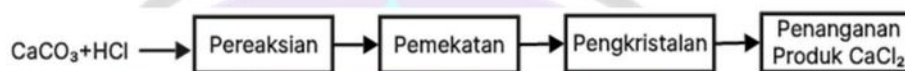
Metode ini memiliki keunggulan karena memanfaatkan limbah brine yang berpotensi mencemari lingkungan, sekaligus menghasilkan produk kimia bernilai tambah. Namun, tantangan utamanya adalah biaya produksi yang relatif tinggi akibat kebutuhan teknologi pemurnian yang kompleks serta konsumsi energi pada tahap evaporasi. Oleh sebab itu, ekstraksi brine dinilai lebih cocok sebagai opsi jangka panjang di negara dengan kapasitas desalinasi besar, dibandingkan metode konvensional seperti netralisasi CaCO_3 dengan HCl yang lebih sederhana dan ekonomis (Backer et al., 2022).

2.3.3 Proses Netralisasi

Proses produksi kalsium klorida melalui metode netralisasi umumnya dilakukan dengan mereaksikan kalsium karbonat (CaCO_3) atau kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dengan larutan asam klorida (HCl). Reaksi berlangsung di dalam reaktor berpengaduk sehingga padatan kalsium dapat berinteraksi merata dengan asam. Bila digunakan CaCO_3 , reaksi menghasilkan larutan kalsium klorida, air, serta gas karbon dioksida yang harus ditangani melalui sistem ventilasi atau unit penangkap emisi (Sharkh et al., 2022). Sementara itu, jika memakai Ca(OH)_2 , reaksi berjalan

lebih cepat, tidak menghasilkan gas samping, dan lebih mudah dikendalikan (USDA, 2021).

Larutan hasil reaksi kemudian dipisahkan dari residu padatan yang tidak bereaksi maupun kotoran mineral melalui tahap filtrasi. Filtrat berupa larutan CaCl_2 dengan konsentrasi sedang ($\pm 35\text{--}40\%$) selanjutnya dimurnikan dari pengotor seperti magnesium, natrium, atau logam berat dengan proses alkalinisasi maupun klarifikasi. Tahap pemurnian ini penting untuk meningkatkan kualitas produk agar sesuai standar food grade maupun technical grade (Backer et al., 2022). Setelah dimurnikan, larutan dikonsentrasikan menggunakan evaporasi bertingkat hingga mencapai kadar $75\text{--}80\%$. Produk pekat tersebut dapat diproses lebih lanjut melalui kristalisasi dan pengeringan untuk menghasilkan CaCl_2 dalam bentuk flakes, granul, maupun anhidrat dengan tingkat kemurnian yang lebih tinggi (USDA, 2024).



Gambar 2.3 Diagram proses netralisasi

Secara umum, metode netralisasi dianggap sederhana, efisien, serta fleksibel dalam menghasilkan berbagai bentuk produk. Kelebihan utama proses ini terletak pada ketersediaan bahan baku yang sangat melimpah di Indonesia, baik berupa batu kapur sebagai sumber CaCO_3 maupun asam klorida yang tersedia dari industri klor-alkali. Hal ini menjadikan netralisasi sebagai jalur produksi paling realistis dan ekonomis dalam rencana perancangan pabrik CaCl_2 di dalam negeri (Sharkh et al., 2022).

2.3.4 Pemilihan Proses

Dibawah ini adalah perbandingan kelebihan dan kekurangan metode pembuatan Kalsium Klorida berdasarkan kondisi operasinya. Untuk menghasilkan produk berupa kalsium klorida ada beberapa metode yang dapat digunakan antara lain :

Tabel 2.7 Perbandingan metode pembuatan kalsium klorida

Parameter	Proses		
	Solvay (by-product)	Ekstraksi Brine	Netralisasi $\text{CaCO}_3 + \text{HCl}$
Bahan baku	NaCl , CaCO_3 , NH_3 CaCl_2 by-product	Air garam alami (brine) kaya Ca^{2+}	$\text{CaCO}_3 + \text{HCl}$
Proses	By-product dari pabrik soda ash	Refining & evaporasi brine, pemurnian Mg/SO_4	Reaksi langsung $\text{CaCO}_3 + \text{HCl}$ $\text{CaCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Lokasi Pabrik	Terintegrasi dengan pabrik soda ash; terbatas pada lokasi pabrik Solvay.	Lokasi bergantung pada sumber brine/ air garam alami	Dapat dibangun di mana saja selama pasokan CaCO ₃ dan HCl tersedia
Kondisi operasi	Suhu menengah, larutan jenuh	Evaporasi 80–>100°C	Reaksi 25–50°C, evaporasi larutan
Teknologi	Kompleks, terintegrasi soda ash	Sedang-Kompleks, skala industri besar	Sederhana
Kemurnian (%)	70–90% (perlu pemurnian lanjut membutuhkan biaya tambahan)	95–99% setelah refining	Kemurnian relatif tinggi 96–99%
Konversi (%)	Tidak dioptimasi; bervariasi tergantung dari hasil produk samping <60%	% kemurnian besar setelah refining. 90–95% recovery Ca ²⁺ dari brine	98–100% stoikiometri
Biaya	Rendah jika ada pabrik Solvay, pemurnian butuh biaya tambahan	Modal tinggi (evaporasi), pengolahan brine, bahan baku murah	Modal rendah–sedang, biaya HCl signifikan
Produk akhir	Larutan CaCl ₂ (by-product), flakes/granules bila dimurnikan	Larutan CaCl ₂ , CaCl ₂ kristal/hidrat, flakes, anhidrat. Tergantung pengolahan	Larutan CaCl ₂ pekat, kristal/hidrat, anhidrat

Sumber : (Zhu et al., 2023).

Proses netralisasi dipilih karena teknologinya paling sederhana, mudah dikendalikan, dan mampu menghasilkan produk dengan kemurnian tinggi (96–99%) serta konversi reaksi hampir sempurna (98–100%). Proses ini tidak memerlukan instalasi yang kompleks seperti Solvay maupun unit besar seperti ekstraksi brine.

Dengan mempertimbangkan aspek kemurnian produk, kesederhanaan teknologi, dan fleksibilitas lokasi pabrik, proses netralisasi merupakan pilihan yang paling praktis dan efisien untuk produksi kalsium klorida di Indonesia, terutama bila bahan baku batu kapur (CaCO₃) dan HCl tersedia secara lokal dalam jumlah memadai.

2.3.5 Uraian Proses

2.3.5.1 Preaksian Bahan Baku

Pada tahap awal, Batu Kapur (CaCO₃) pada Storage Batu Kapur (F-111) yang sudah lolos seleksi diangkut menggunakan Belt Conveyor (J-112) menuju

Ball Mill (C-113) untuk digiling hingga berukuran sekitar 200 mesh. CaCO_3 yang telah digiling kemudian ditampung di Hopper (F-114) sebelum diangkat dengan Screw Conveyor (J-115) menuju Reaktor Netralisasi (R-110). Pada saat yang sama, larutan asam klorida (HCl) 32% dengan suhu awal $30\text{ }^\circ\text{C}$ dipompa menggunakan pompa (L-117) dari Tangki penyimpanan HCl (F-116) ke dalam Reaktor Netralisasi (R-110) untuk direaksikan dengan batu kapur (CaCO_3). Selama proses reaksi, penambahan HCl menyebabkan kenaikan suhu reaksi hingga $40\text{ }^\circ\text{C}$ pada tekanan 1 atm. Reaksi yang bersifat eksotermis ini menghasilkan produk berupa CaCl_2 , H_2O , dan CO_2 .

Adapun reaksinya yaitu:



2.3.5.2 Pemekatan Larutan CaCl_2

Pada tahap ini dilakukan proses pemekatan larutan melalui metode evaporasi, yaitu penguapan sebagian pelarut. Aliran hasil dari Reaktor (R-110) dipompa menggunakan pompa (L-121) menuju Centrifuge (H-122) untuk dilakukan pemisahan senyawa yang tidak bereaksi (impuritas) dari larutan CaCl_2 kemudian larutan CaCl_2 dipompa menggunakan pompa (L-123) menuju Evaporator (V-120), sedangkan gas CO_2 dialirkan menuju tangki penyimpanan gas (F-118). Tujuan utama proses evaporasi ini adalah meningkatkan konsentrasi larutan CaCl_2 hingga mencapai 90%. Proses dilakukan pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$, sehingga sebagian besar air dalam larutan menguap. Dengan demikian, larutan CaCl_2 menjadi lebih pekat dan memudahkan tahap berikutnya, yaitu proses pengkristalan produk.

2.3.5.3 Pengkristalan Produk

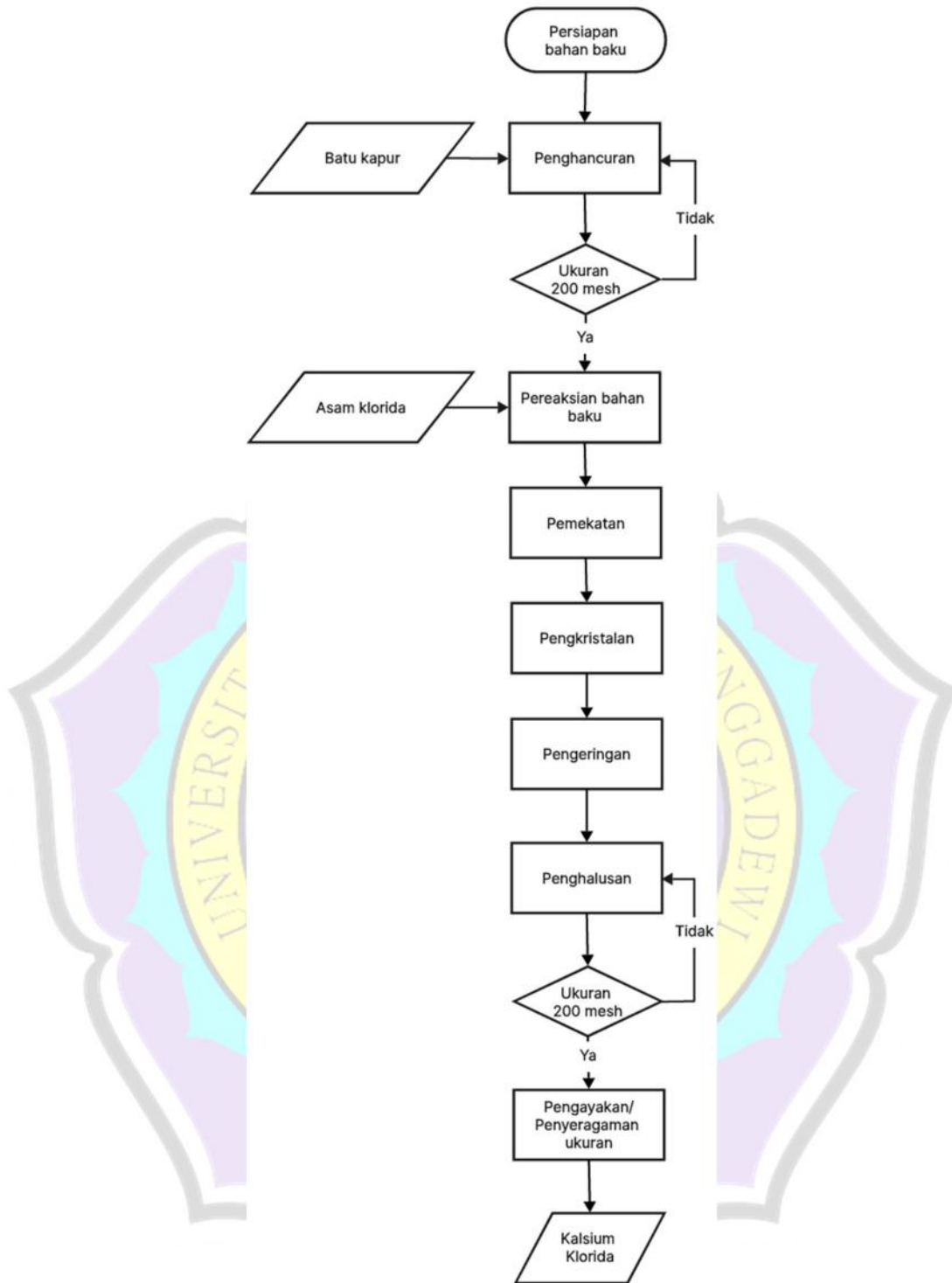
Larutan kalsium klorida yang telah melalui tahap pemekatan selanjutnya dipompakan ke Crystallizer (X-160) untuk membentuk kristal CaCl_2 . Crystallizer bekerja berdasarkan prinsip pembentukan kristal dari suatu larutan dengan cara menciptakan kondisi supersaturasi. Larutan jenuh dialirkan ke dalam crystallizer, kemudian kelarutan zat terlarut diturunkan melalui proses pendinginan, penguapan pelarut, atau kombinasi keduanya. Penurunan kelarutan ini menyebabkan larutan berada dalam kondisi supersaturated sehingga terjadi nukleasi, yaitu pembentukan inti kristal. Inti kristal tersebut selanjutnya tumbuh karena zat terlarut terus mengendap pada permukaan kristal. Kristal yang terbentuk kemudian dipisahkan dari larutan induknya dan digunakan sebagai produk. Kristal yang dihasilkan kemudian diangkat menggunakan screw conveyor (J-132) menuju Centrifuge (H-133) untuk dilakukan pemisahan antara kristal CaCl_2 dengan *mother liquor*-nya. Kristal CaCl_2 diangkat menggunakan Belt Conveyor (J-135) menuju Rotary Dryer (B-140) untuk menghilangkan sisa kandungan air. Pada unit Rotary Dryer, proses pengeringan berlangsung dengan aliran udara panas secara counter-current. Setelah kering, kristal CaCl_2 diangkat menggunakan belt conveyor (J-141) menuju Ball Mill (C-142) untuk proses pengilingan kemudian diseragamkan dengan *Vibrating Screen* (X-143) hingga produk CaCl_2 berukuran 200 mesh (0,074 mm). Produk

yang tidak lolos *screening* akan dikembalikan ke Ball Mill untuk digiling kembali hingga mencapai ukuran yang sesuai.

2.3.5.4 Penanganan Produk

Produk CaCl₂ kemudian diangkat menggunakan Screw conveyor (J-144) menuju Storage Produk (F-145). Karena sifatnya yang sangat higroskopis, produk CaCl₂ harus ditangani dengan hati-hati dan disimpan pada kondisi kering agar tidak menyerap kelembapan dari udara. Pada tahap ini, produk disimpan pada kondisi suhu 30 °C dan tekanan 1 atm sebelum dilakukan proses pengemasan dan didistribusikan.








Gambar 2.4 Diagram Alir Proses Pembuatan Kalsium Klorida

2.4 Instrumentasi, Keselamatan Kerja, dan Utilitas

2.4.1 Instrumentasi

Instrumentasi memiliki peran krusial dalam mengendalikan proses produksi di industri. Sistem ini berfungsi sebagai pengatur jalannya proses produksi agar hasil yang diperoleh sesuai dengan standar yang diharapkan. Pengendalian proses di pabrik harus dilakukan secara teliti dan presisi karena berfungsi sebagai pengawas, penunjuk, pencatat, serta sistem peringatan dini guna meminimalkan kesalahan atau kecelakaan. Dengan adanya sistem ini, operator dapat lebih mudah menjalankan peralatan, menjaga variabel proses tetap dalam batas aman, mendeteksi potensi bahaya, dan memastikan tingkat produksi tercapai dengan mutu produk yang baik. Hal ini juga mendukung peningkatan efisiensi serta keselamatan kerja. Berikut merupakan jenis-jenis instrumentasi:

Tabel 2.8 Jenis-jenis Instrumentasi

Nama Alat	Instrumentasi	Kegunaan
Reaktor	Temperature Indicator Controller (TIC)  Sumber: Autonics	Mengetahui dan mengontrol suhu pada alat.
Evaporator	Temperature Controller (TC)  Sumber: Thermodyne Boilers	Pengatur suhu atau sinyal dalam bentuk panas menjadi sinyal mekanis atau listrik.
Valve	Flow Controller (FC)  Sumber: Autonics	Mengatur kecepatan aliran fluida dalam pipa atau unit proses lainnya.

2.4.2 Keselamatan Kerja

Keselamatan kerja di lingkungan industri sangat penting karena menyangkut keamanan para pekerja dan kelancaran pekerjaan. Keselamatan kerja bertujuan untuk melindungi fisik dan mental para pekerja dengan cara mengikuti aturan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) yang sudah disepakati. Hal ini dilakukan agar bisa mencegah kecelakaan, penyakit akibat kerja, atau masalah lain yang bisa membahayakan. Setiap pekerja berhak untuk bekerja di tempat yang aman dan terlindungi. Jika keselamatan kerja diperhatikan dengan baik dan diterapkan secara konsisten, maka produktivitas kerja juga akan meningkat secara maksimal. Beberapa aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) menurut Undang-undang dan Peraturan yang ada di Indonesia diantaranya yaitu :

- a. Pengendalian Bahan Kimia (Permenaker No. 5 Tahun 2018 dan SDS)
 - Semua bahan (HCl, CaCO₃, CaCl₂) harus ada SDS (Safety Data Sheet).
 - Penyimpanan HCl: tangki khusus dengan material tahan korosi (PVC, FRP, rubber lining).
 - Ventilasi ruangan untuk mencegah akumulasi uap HCl.
 - Sistem deteksi kebocoran gas HCl.
 - Wajib ada APD khusus: sarung tangan karet, goggles, face shield, respirator (masker HCl cartridge)
- b. Keselamatan Proses (Process Safety Management / SMK3)
 - Desain reaktor/tangki harus dilengkapi pressure relief valve untuk pelepasan CO₂ berlebih.
 - Pipa & tangki diberi kode warna K3 (sesuai Permenaker tentang pipa & bahan berbahaya).
 - Prosedur LOTO (Lock Out Tag Out) saat maintenance.
 - Emergency shutdown system.
- c. Keselamatan Kerja Umum (UU No.1 Tahun 1970)
 - Ventilasi, penerangan, kebersihan ruang produksi.
 - Jalur evakuasi jelas + muster point.
 - APAR (Alat Pemadam Api Ringan) & hydrant sesuai standar NFPA.
- d. Limbah & Lingkungan (PP 101/2014)
 - Limbah cair asam wajib netralisasi (dengan kapur/NaOH) sebelum dibuang.
 - Gas CO₂ harus dilepaskan dengan kontrol (vent stack dengan scrubber bila ada HCl ikut terlepas).
 - Debu CaCl₂ perlu dust collector / bag filter.
- e. Pelatihan & Prosedur Darurat
 - Safety induction untuk semua pekerja.
 - Latihan evakuasi kebocoran HCl minimal 1x setahun.
 - Simulasi penanganan tumpahan asam dengan soda ash (Na₂CO₃) atau kapur.
 - Unit P3K dan klinik kesehatan kerja.

Upaya perlindungan diri dari kecelakaan kerja dapat dilakukan dengan menggunakan atribut alat pelindung diri (APD) di lingkungan kerja yang memungkinkan terjadinya kecelakaan. Pada Pra Rancang Bangun Pabrik Kalsium Klorida ini terdapat Program K3 dan penyediaan alat pelindung diri bagi tenaga kerja.

Upaya lainnya untuk menjamin keselamatan lingkungan dan tenaga kerja yang dilakukan oleh perusahaan antara lain (Pramudyastuti, 2024):

- a. Memastikan ketersediaan alarm kebakaran di setiap area pabrik.
- b. Memasang tanda-tanda peringatan darurat (emergency) dan arahan keselamatan kerja di setiap area kerja rawan kecelakaan.
- c. Mengkoordinasikan para pekerja untuk pengoperasian peralatan dengan baik.
- d. Memberi ventilasi di setiap ruangan untuk memastikan udara yang masuk dan keluar dengan baik.
- e. Memberi akses pintu darurat di setiap area rawan kecelakaan.
- f. Dan lain-lain.

2.4.3 Utilitas

Unit utilitas pada suatu pabrik berperan sebagai komponen pendukung utama dalam keberlangsungan proses produksi di industri kimia. Unit ini mencakup penyediaan energi listrik, air proses, air sanitasi, hingga bahan bakar yang digunakan untuk mengoperasikan sistem pembakaran maupun generator. Oleh karena itu, perancangan fasilitas dan infrastruktur penunjang harus dilakukan secara optimal guna memastikan kelancaran dan keberlanjutan operasional industri. Unit utilitas pada pabrik kalsium klorida meliputi (Broughton, 1994):

2.4.3.1 Unit Penyediaan Air

Unit utilitas berfungsi untuk menyediakan air proses, air pendingin (cooling water), uap air (steam), serta mengolah air baku menjadi air bersih untuk keperluan sanitasi sesuai dengan kebutuhan produksi. Pada pabrik CaCl_2 , sumber air diperoleh dari sungai dan PDAM. Pemilihan air sungai didasarkan pada pertimbangan bahwa pengolahannya lebih sederhana dan ekonomis dibandingkan air laut, serta ketersediaannya lebih berkelanjutan dibandingkan air tanah. Selain itu, lokasi sungai yang dekat dengan pabrik juga meminimalkan risiko kekurangan pasokan air.

2.4.3.2 Unit Penyediaan Udara Panas

Kebutuhan udara panas diperoleh melalui pemanfaatan hasil konversi CO_2 dari keluaran Reaktor Netralisasi serta kondensat uap air dari Evaporator, yang kemudian diproses atau didaur ulang menjadi udara panas. Pemanfaatan kembali fluida buangan ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya, mengurangi limbah, serta menekan biaya investasi. Udara panas yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai media pemanas eksternal pada Rotary Dryer untuk proses pengeringan produk CaCl_2 .

2.4.3.3 Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan energi listrik pada pabrik kalsium klorida berbasis batu kapur dipasok oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Namun, untuk mengurangi ketergantungan penuh dan sebagai sumber cadangan, disediakan satu unit generator berbahan bakar solar (*emergency generator diesel/EGD*) yang mampu memenuhi seluruh kebutuhan listrik pabrik. Keberadaan generator ini memastikan proses produksi tetap berjalan meskipun terjadi gangguan pasokan dari PLN. Energi listrik memiliki peran vital dalam industri, baik sebagai penggerak peralatan produksi, sistem pengolahan air, maupun sebagai sumber penerangan dan pengoperasian perangkat elektronik dengan kebutuhan arus yang bervariasi.

2.4.3.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada Pra-Rancang Bangun Pabrik ini adalah solar, yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan generator serta peralatan produksi lain yang memerlukan bahan bakar. Pemilihan solar didasarkan pada pertimbangan ekonomis, yaitu harga yang relatif terjangkau, serta ketersediaannya yang mudah diperoleh.

2.4.3.5 Unit Pengolahan Limbah

Pengolahan air limbah (*wastewater treatment*) berfungsi untuk menetralkan sisa larutan asam (HCl) maupun basa yang dihasilkan dari proses produksi. Tahap ini bertujuan untuk mengurangi potensi pencemaran serta dampak negatif terhadap lingkungan sebelum limbah dibuang ke media penerima (Perry, R. H. and Green, 2018).

2.5 Lokasi Pendirian Pabrik

Penentuan lokasi pabrik merupakan faktor krusial yang memengaruhi pertumbuhan serta keuntungan operasional suatu industri, baik barang maupun jasa. Pemilihan lokasi pabrik yang strategis tidak hanya mempertimbangkan sektor bahan baku dan konsumen, tetapi juga harus mempertimbangkan potensi dampak lingkungan terhadap masyarakat, seperti limbah dan kebisingan yang ditimbulkan saat pabrik beroperasi. Oleh karena itu, perusahaan harus memiliki solusi yang tepat untuk mengendalikan dampak tersebut. Lokasi terbaik adalah yang mampu mendukung operasional secara efektif dan efisien, dengan menekan biaya investasi awal, produksi, serta distribusi, sekaligus memaksimalkan keuntungan penjualan. Hal ini khususnya penting bagi Pabrik Kalsium Klorida untuk menyederhanakan rantai distribusi bahan baku maupun pemasaran produk.

Lokasi pabrik yang dipilih untuk Pra Rancang Bangun Pabrik Kalsium Klorida ini adalah di Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Adapun aspek pertimbangan dalam pemilihan lokasi pabrik adalah (Rosa & Hanik, 2021):

1. Bahan Baku

Bahan baku merupakan komponen utama yang menentukan keberlangsungan operasional suatu industri, sehingga ketersediaannya harus benar-benar

diperhatikan. Oleh karena itu, pabrik sebaiknya didirikan di dekat sumber bahan baku untuk meminimalkan biaya serta mempermudah akses transportasi.

2. Pemasaran Produk

Kalsium klorida merupakan bahan kimia dengan cakupan penggunaan yang luas, khususnya dalam industri kimia. Karena hingga saat ini belum terdapat pabrik yang memproduksi kalsium klorida di Indonesia, maka pemasaran produk difokuskan terlebih dahulu untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Namun, peluang ekspor tetap terbuka di masa mendatang. Dukungan infrastruktur transportasi darat, laut, dan udara yang sudah memadai menjadikan kegiatan distribusi maupun ekspor relatif mudah dilakukan. Pendistribusian produk menggunakan transportasi darat dapat diakses melalui jalur utama seperti jalan pantura, jalan tol Manyar, serta jalur Gresik–Surabaya yang dapat dilalui kendaraan bermuatan berat. Sementara itu, distribusi melalui jalur laut difasilitasi oleh sejumlah pelabuhan di sekitar Surabaya, dan transportasi udara dapat dilayani melalui bandara di Surabaya. Selain itu, terdapat Pelabuhan Sarang yang berlokasi sekitar 48 km dari Tuban, dengan waktu tempuh kurang lebih 48 menit dari lokasi pabrik.

3. Kondisi Masyarakat

Aspek lingkungan sekitar pabrik perlu diperhatikan dengan meninjau kondisi masyarakat serta potensi dampak positif maupun negatif yang mungkin timbul dari pembangunan pabrik pada lokasi yang ditentukan. Dengan didirikannya pabrik ini, dapat memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat, misalnya melalui peluang usaha di bidang kuliner maupun penyewaan rumah untuk karyawan. Selain itu, ketersediaan sumber daya manusia juga dinilai memadai, yang ditunjang oleh keberadaan akademi, perguruan tinggi, serta sekolah menengah kejuruan di sekitar lokasi.

4. Penyediaan Utilitas

Kebutuhan penunjang seperti air dan listrik merupakan faktor penting dalam operasional industri kimia. Pasokan air diperoleh dari Sungai Bengawan Solo yang lokasinya berdekatan dengan pabrik, sedangkan kebutuhan listrik dipasok oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) wilayah Jawa–Bali melalui Unit Pembangkitan Gresik.

5. Karakteristik Lokasi

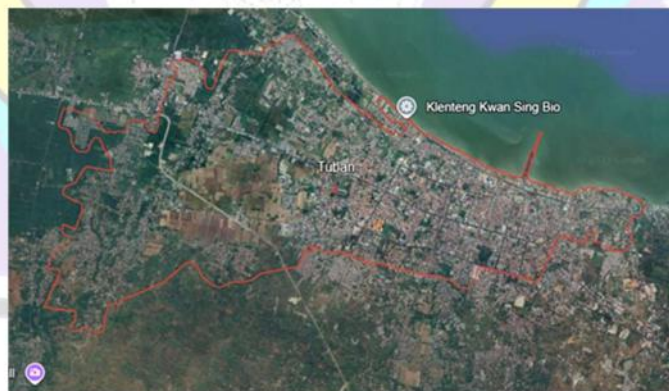
Kabupaten Tuban memiliki luas wilayah 1.904,70 km² dengan garis pantai sepanjang 65 km serta jumlah penduduk Kabupaten Tuban pada 2024 tercatat sebanyak 1.266.396 jiwa. Kepadatan penduduk pada tahun 2024 mencapai 684 jiwa/km², harga lahan relatif terjangkau sehingga masih memungkinkan perluasan area untuk rencana jangka panjang, meskipun pemanfaatan lahan yang ada tetap harus dioptimalkan. Kondisi iklim di wilayah ini cukup mendukung, dengan suhu rata-rata 22–33°C dan curah hujan sekitar 1100–1500 mm per tahun, serta tingkat kelembapan relatif yang cukup tinggi, yaitu sekitar $\pm 76\%$. Risiko bencana alam

seperti gempa bumi, tanah longsor, maupun banjir tergolong rendah, sehingga mendukung keberlangsungan operasional pabrik. Selain itu, karakteristik tanah di Tuban yang kaya akan batuan kapur menjadi nilai tambah, karena mempermudah pembangunan pabrik sekaligus menjamin ketersediaan bahan baku di sekitar lokasi.

6. Peraturan Pemerintah

Kabupaten Tuban termasuk salah satu wilayah yang direkomendasikan sebagai pusat pengembangan kawasan industri di Jawa Timur. Kawasan industri tersebut tersebar di beberapa kecamatan, antara lain Soko, Plumpang, Widang, Jenu, dan Kerek. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 142 Tahun 2015 tentang Kawasan Industri, pemerintah memberikan berbagai kemudahan dalam pembangunan dan pengelolaan, termasuk penyediaan tenaga listrik untuk kebutuhan internal kawasan industri. Selain itu, pemerintah juga menawarkan insentif berupa pengurangan, keringanan, atau pembebasan pajak daerah dan retribusi, seperti Bea Perolehan Hak Atas Tanah dan Bangunan (BPHTB) serta Pajak Penerangan Jalan (PPJ) untuk jalan lingkungan di kawasan industri, guna menarik minat para investor.

Dengan mempertimbangkan berbagai faktor, Pabrik Kalsium Klorida berbasis batu kapur direncanakan dibangun di Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur. Wilayah ini dipilih karena adanya pegunungan kapur yang didominasi batuan karbonat, sehingga menjadikan Tuban sebagai kawasan strategis untuk industri pengolahan kalsium karbonat. Oleh sebab itu, Tuban merupakan lokasi yang strategis sebagai lokasi pendirian pabrik kalsium klorida. Sumber bahan baku kalsium karbonat direncanakan berasal dari PT Sinar Asia Fortuna, perusahaan tambang batu kapur yang berlokasi di Tuban, sedangkan asam klorida akan dipasok oleh PT Asiamarco Pasifik Indonesia, perusahaan penyedia bahan kimia yang berlokasi di Surabaya.



Gambar 2. 5 Peta Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur