

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Pertumbuhan industri kimia Indonesia saat ini masih tergolong tertinggal dibandingkan dengan negara-negara berkembang lainnya dikarenakan terbatasnya akses pengolahan serta kurangnya pemanfaatan bahan baku yang tersedia didalam negeri. Padahal industri kimia dijadikan salah satu fokus pemerintah dalam mengembangkan industri strategis untuk menopang aktivitas ekspor, sehingga meningkatkan pendapatan perkapita negara.

Sampai saat ini, Indonesia masih tergolong negara pengimpor bahan kimia dasar. Hal ini didasarkan nilai ekspor industri pengolahan non migas pada bulan Mei 2021 tercatat sebesar US\$ 12,83 miliar, mengalami penurunan sebesar 14,02% dibandingkan bulan April 2021 yang mencapai US\$ 14,92 miliar. Dimana sektor industri bahan kimia dan barang dari bahan kimia termasuk mengalami defisit tertinggi dari golongan sektor industri (Kemenperin RI, 2021). Adanya masalah ini mengharuskan Indonesia untuk menambah kapasitas produksi dari sektor industri kimia untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri serta membangun kemampuan Indonesia menjadi eksportir dalam sektor industri kimia.

Salah satu sektor industri kimia yang perlu dikembangkan saat ini di Indonesia adalah pabrik kalsium fluorida. Kalsium flourida merupakan komoditas bahan kimia yang cukup potensial untuk di produksi di Indonesia karena belum terdapatnya pabrik kimia yang menghasilkan kalsium fluorida di Indonesia. Di sisi

lain, kebutuhan industri di Indonesia yang menggunakan kalsium flourida sebagai bahan baku terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, kebutuhan impor kalsium flourida ($\text{CaF}_2 < 97\%$) di Indonesia dari tahun 2016-2020 terus mengalami kenaikan dengan rata-rata nilai impor sebesar 55,1729%. Hal ini membuktikan kebutuhan akan kalsium flourida di Indonesia sangat tinggi dan sangat bergantung dari produk impor. Sehingga, pentingnya didirikan pabrik kalsium flourida agar mampu mengurangi ketergantungan pada produk impor serta mampu menghemat devisa negara dan juga dari segi sosial ekonomi, pendirian pabrik ini dapat menyerap tenaga kerja sehingga dapat mengurangi tingkat pengangguran di Indonesia dan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang tinggal disekitar lokasi pabrik.

Pra rancangan pabrik kalsium flourida dengan memanfaatkan akses bahan baku yang tersedia dalam negeri, diharapkan dapat menopang industri lain yang menggunakan kalsium flourida sebagai bahan pokok atau sebagai bahan pelengkap serta mendorong Indonesia untuk menambah kapasitas produksi dari sektor industri kimia untuk mencukupi kebutuhan dalam negeri dan membangun kemampuan Indonesia menjadi eksportir dalam sektor industri kimia. Maka karena itu, dalam pra rancangan pabrik kalsium flourida ini penulis berusaha memberikan sumbangan pemikiran yang diharapkan dapat berguna untuk pengembangan sektor industri kimia di Indonesia.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Kalsium Fluorida

Fluorit atau fluorspar merupakan salah satu dari 13 element terbanyak yang ada di bumi. Sebagai zat yang bersifat sangat elektromagnetik, fluorit tidak pernah terdapat dalam keadaan bebas di alam, tetapi hanya ada dalam bentuk kombinasi dengan elemen lain sebagai senyawa anorganik yang terdapat dalam mineral berupa garam-garam fluorida seperti kalsium fluorida (CaF_2).

Kristal fluorit digunakan pada zaman kuno untuk memproduksi cangkir dan vas hias. Sejak abad ke-16, sifat fluks pada fluorspar digunakan dalam peleburan besi untuk mengurangi viskositas terak. Tambang pertama dimulai pada akhir abad ke-19 di Inggris, dan kemudian di susul oleh negara Amerika Serikat. Amerika Serikat mendirikan tambang untuk memenuhi persyaratan industri besi dan baja yang akan digunakan pada proses Bessemer dan Martin. Kemudian, digunakan untuk pembuatan tungku listrik dan tungku oksigen dasar, menyebabkan konsumsi fluorit semakin meningkat (Aigueperse dkk, 2000).

Secara paralel, industri kimia, menggunakan asam fluorida (HF) untuk menghasilkan aluminium fluorida sintetis dan *cryolite* untuk industri aluminium dan fluorokarbon. Fluorspar adalah satu-satunya bahan baku fluorin yang digunakan untuk memproduksi asam fluorida (HF), Hal ini menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan akan CaF_2 (Aigueperse dkk, 2000).

Kegunaan lain dari fluorspar antara lain untuk pembuatan gelas, enamel, dan fluks pengelasan. Produksi fluorspar dunia telah mencapai tingkat tertinggi lima juta ton per tahun sejak tahun 1975. Produsen utama fluorspar dengan lebih dari 20% produksi dunia dihasilkan oleh negara Meksiko. Fluorspar juga digunakan dalam pembuatan besi tuang dengan kadar 6–8 kg/t logam, dan juga dalam

pembuatan *ferroalloy* tertentu. Penggunaan fluorit sebesar 5–7% untuk pembuatan bak elektrolisis aluminium. Fluorit juga digunakan dalam banyak fluks dan, khususnya, untuk pelapis batang las. Penambahan 1% campuran bagian yang sama dari gipsum dan fluorspar ke bahan baku semen mampu mengurangi suhu klinker 50–150°C tanpa menurunkan kualitas semen (Aigueperse dkk, 2000).

Tabel 1.1. Data produksi fluorspar dunia Tahun 2020

Negara	Total produksi (Ton)
<i>China</i>	4.300.000
<i>Mexico</i>	1.200.000
<i>Mongolia</i>	720.000
<i>South Africa</i>	320.000
<i>Vietnam</i>	240.000
<i>Spanyol</i>	140.000
<i>Marocco</i>	88.000
<i>Iran</i>	55.000
<i>Burma</i>	53.000
<i>Germany</i>	50.000
<i>United States</i>	130.000

(Sumber: <https://www.statista.com/statistics/1051717/global-fluorspar>)

Tabel 1.2. Penggunaan fluorspar di Amerika Serikat pada tahun 2019 (ton)

<i>Production:</i>	
<i>Finished, metallurgical grade</i>	NA
<i>Fluorspar equivalent from phosphate rock</i>	27
<i>Imports for consumption:</i>	
<i>Acid grade</i>	370
<i>Metallurgical grade</i>	70
<i>Total fluorspar imports</i>	440
<i>Hydrofluoric acid</i>	130
<i>Aluminium fluoride</i>	39
<i>Cryolite</i>	22
<i>Eksports, all grades</i>	7
<i>Consumption</i>	
<i>Apparent</i>	430
<i>Reported</i>	W

(Sumber: U.S. Geological Survey Mineral Commodity Summaries, 2020)

Sesuai dengan tingkat kemurnian terdapat tiga jenis penggunaan industri untuk fluorspar dalam industri, yaitu:

- a. Fluorspar kelas metalurgi (mengandung 60–85% CaF_2)

Digunakan sebagai fluks untuk menurunkan titik leleh bahan baku dalam produksi baja dan membantu menghilangkan kotoran dalam produksi aluminium.

- b. Fluorspar kelas keramik (mengandung 85–95% CaF_2)

Digunakan dalam pembuatan kaca *opalescent*, enamel, dan peralatan memasak.

- c. Fluorspar kelas *acid grade fluorite* (mengandung > 97% CaF_2)

Penggunaan fluorspar kelas *acid grade fluorite* menyumbang $\pm 95\%$ dari total konsumsi fluorspar di Amerika. Kalsium fluorida dengan kemurnian tinggi, yang digunakan untuk pembuatan kacamata khusus dan kristal tunggal, diperoleh dari hasil reaksi asam fluorida (HF) dan kalsium karbonat (CaCO_3).

1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Kalsium Fluorida

1.3.1. Ekstraksi Bijih Mineral Fluorit

Menurut Aigueperse, (2000) fluorspar umumnya terdapat bersama gabungan mineral lainnya, seperti kuarsa, barit, kalsit, galena, siderit, sfalerit, atau kalkopirit. Kalsium fluorida dapat diperoleh melalui ekstraksi bijih mineral tersebut dan dilakukan pemisahan selektif yang dilakukan secara gravitasi, karena kalsium fluorida memiliki kerapatan yang umumnya lebih tinggi dari bijih mineral itu sendiri. Sebelumnya bijih dihancurkan terlebih dahulu dengan pemisah kerucut, menggunakan suspensi ferosilikon sebagai medium pemisahan. Melalui proses ini

diperoleh hanya 40% kalsium fluorida dari 20% bijih mineral dengan kemurnian yang sangat rendah.

Fluorspar dapat ditemukan di banyak lokasi di seluruh dunia seperti Argentina, Austria, Kanada, Cina, Inggris, dan Amerika Serikat. Walaupun bahan galian ini sangat banyak kegunaannya dan diperlukan namun di Indonesia hingga kini belum terdapat informasi mengenai penambangan ataupun produksi fluorspar. Pengetahuan mengenai mineral tersebut sangat minim dan belum terdapat data mengenai hasil penyelidikan terhadap mineral ini.

Menurut Syukur, (2008) secara geologi kemungkinan keterdapatannya fluorspar di Indonesia cukup besar, karena di Indonesia banyak terdapat batuan berumur tua (kapur). Beberapa lokasi yang mungkin dapat ditemukan fluorspar di Indonesia ialah di Aceh Tenggara, Sumatera Barat serta Sulawesi Tenggara dan belum dikembangkan. Sehingga, tidak adanya diperoleh data mengenai pasokan fluorspar di Indonesia.

1.3.2. Reaksi Amonium Bifluorida, Amonium Hidroksida dan Kalsium

Fluorida

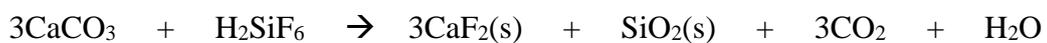
Berdasarkan US Patent No. 3366444 pembuatan kalsium fluorida murni dengan amonium bifluorida telah dilakukan dengan mereaksikan 0,17 – 0,70 mol amonium bifluorida (NH_4HF_2) yang dilarutkan dalam 0,07 – 0,30 mol amonium hidroksida (NH_4OH) dan kemudian dicampur dengan aliran kalsium fluorida (CaF_2) yang mengandung senyawa impuritis berupa oksida kalsium seperti CaO , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau CaCO_3 . Rasio jumlah atom fluorida terhadap total jumlah atom kalsium ialah antara 2,00 – 2,50. *Slurry* yang dihasilkan kemudian ditembakkan dengan udara pada suhu sekitar 426,67 – 982,22°C dengan waktu yang cukup, umumnya lebih

dari satu jam, untuk menguraikan NH_4HF_2 dan bereaksi dengan senyawa oksigen pada aliran CaF_2 .

Analisis kimia menunjukkan bahwa persen kalsium, fluor, kehilangan pengapian, dan pengujian berubah terhadap variabel konsentrasi, waktu, dan temperatur. Persen *yield* fluorin yang dapat diperoleh pada variabel tersebut adalah 47 – 48,4%. Adapun keuntungan dari penemuan ini yaitu, penghilangan oksigen dari aliran CaF_2 dan apabila CaF_2 dimasukkan ke dalam kisi kalsium halofosfat dapat memperpanjang umur pakai lumen fosfor.

1.3.3. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Asam Fluosilikat

Berdasarkan US Patent No. 2780521, pembuatan kalsium fluorida dapat dilakukan dengan mereaksikan secara langsung bahan baku asam fluosilikat yang diencerkan (konsentrasi antara 2,5 sampai 3,8%) dengan batu kapur halus. Rasio reaktan sekitar 500 bagian berat larutan sampai sekitar 47,2% berat batu kapur pada 100% basis CaCO_3 . Menurut paten ini jika reaksi dilakukan dalam interval pH 5,5 – 6,5 dan temperatur reaksi dipertahankan pada 16 – 32°C, maka CaF_2 dapat dipisahkan dalam bentuk yang mudah disaring yang secara bersamaan dapat diproduksi sol SiO_2 . Secara teoritis, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Namun proses ini memerlukan proses tambahan untuk memisahkan endapan kalsium fluorida dari larutan encer yang mengandung koloidal silika setelah penyelesaian substansial dari reaksi. Selain itu, produk kalsium fluorida yang diperoleh mengandung 4 – 7% SiO_2 sebagai impuritis. Material seperti ini kurang sesuai untuk digunakan dalam proses produksi hidrogen fluorida.

Adapun pengembangan proses selanjutnya telah diklaim pada US Patent No. 2780523. Pembuatan kalsium fluorida dilakukan dengan mereaksikan asam fluosilik yang diencerkan (konsentrasi kurang dari 4%, yaitu antara 3 – 3,5%) dengan kalsium karbonat halus berkuantitas kurang dari sekitar 85% dari jumlah equivalen secara stoikiometri yang diperlukan untuk netralisasi kandungan H_2SiF_6 . Reaksi dilakukan pada temperatur 1,7 – 37,8°C selama 30 menit sampai 2 jam. Kemudian dihasilkan larutan pertama yang mengandung koloid silika dan produk padat kalsium fluorida yang dipisahkan dengan filtrasi dimana *filter cake* yang dihasilkan terdapat tidak hanya kalsium fluorida tetapi juga kalsium silikafluorida.

Proses lebih lanjut diklaim dalam US Patent No. 3907978, yaitu reaksi masih dilakukan pada rentang temperatur yang tidak begitu jauh pada 0 – 30°C, dengan pH 4 – 6, dan waktu reaksi 5 – 30 menit. Temperatur dijaga pada kisaran tersebut untuk menghindari terjadinya flokulasi silika sebagai produk samping. Konversi reaksi sebesar 62% dengan produk kalsium fluorida yang dihasilkan memiliki kemurnian 85 – 95%, 1 – 4% Impuritis SiO_2 , dan 3 – 10% CaCO_3 .

Kelemahan proses ini ialah produk kalsium fluorida yang dihasilkan masih memiliki kandungan SiO_2 yang cukup banyak walaupun lebih sedikit dari proses sebelumnya (dalam *example* paten terdapat sekitar 0,5% atau kurang impuritis SiO_2). Selain itu, produk yang dihasilkan dalam proses ini merupakan campuran kalsium fluorida dan kalsium silikafluorida yang tidak dapat digunakan. Kekurangan lebih lanjut yaitu, diperlukan periode reaksi yang relatif lama sekitar 30 menit – 2 jam. Selanjutnya, kelemahan yang cukup besar dari kedua proses yang dijelaskan di atas adalah fakta bahwa hanya asam fluosilik yang sangat encer (konsentrasi maksimum 4 – 6%) yang dapat digunakan.

1.3.4. Reaksi Batuan Fosfat dengan Asam Fluosilikat

Berdasarkan US Patent No. 6224844 terdapat suatu proses untuk memproduksi kalsium fluorida yang dilakukan dengan pencampuran Asam Fosfat (H_3PO_4) 85% wt bersama dengan Asam Fluosilikat (H_2SiF_6) 20 – 30% wt. Kemudian, ditambahkan batu fosfat yang mengandung Trikalsium Fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), Kalsium Karbonat (CaCO_3), dan Kalsium Fluorida (CaF_2) ke dalam campuran pada laju dimana pH campuran dijaga kurang dari 0,5 dan pada temperatur yang cukup untuk membentuk campuran kedua yang mengandung CaF_2 , yaitu pada 90°C . Selanjutnya, dilakukan pemisahan CaF_2 dari campuran kedua tersebut.

Batuan fosfat ditambahkan pada jumlah yang tidak dapat dihitung secara kuantitatif dan dapat dihentikan penambahannya ketika Asam Fluosilikat telah terdekomposisi membentuk Kalsium Fluorida setidaknya telah mencapai rasio berat 1,3 : 1. Setelah terbentuk campuran kedua yang mengandung Kalsium Fluorida, campuran ini dapat dipisahkan dengan proses filtrasi dan pendinginan. Hasil pemisahan dapat ditingkatkan dengan melakukan pemanasan selama 1 Jam. Hal ini dikarenakan pada saat hasil campuran dipanaskan akan terjadi aglomerasi senyawa silika yang terdapat pada campuran. Selain itu, proses pemisahan juga dapat dilakukan dengan menggunakan prinsip gravitasi atau menggunakan *centrifuge*.

Proses filtrasi dilakukan untuk memisahkan koloid kalsium fluorida dan asam fosfat dari silika dan batuan fosfat yang tidak bereaksi. Suspensi kalsium fluorida dalam larutan asam fosfat kemudian ditambahkan asam sulfat berlebih dan dipanaskan pada suhu 120°C untuk menghasilkan hidrogen fluorida anhidrat. Kalsium fluorida hasil pemisahan mengandung fosfat 20 – 50% wt, sehingga proses ini belum dapat menghasilkan produk kalsium fluorida dengan kemurnian tinggi.

1.3.5. Reaksi Kalsium Klorida dengan Amonium Fluorida

Berdasarkan US Patent No. 2653857 presipitasi kalsium klorida dengan amonium fluorida dapat menghasilkan kalsium fluorida pada suhu 100°C dengan waktu reaksi selama 3,5 – 4 Jam. Apabila suhu reaksi tidak dijaga di atas 100°C, maka pada 25 – 30°C akan dihasilkan ukuran partikel yang sangat halus dan tidak dapat dipurifikasi dengan pencucian (*washing*) secara konvensional. *Washing* merupakan *treatment* yang sangat penting untuk diperhatikan, karena mempengaruhi kemurnian produk dari impuritis dan garam terlarut. Berdasarkan hal tersebut, proses dilakukan pada kondisi operasi tersebut dan diperoleh produk dengan ukuran yang tidak halus dan lebih seragam dibanding reaksi kalsium karbonat dengan hidrogen fluorida.

Kalsium klorida berlebih ditambahkan saat proses reaksi berlangsung secara periodik, tidak lebih dari rentang 10 – 25%wt, untuk menjaga proses reaksi. Ammonium fluorida dikontakkan dengan kalsium klorida dengan mekanisme penyebaran (*spray*) untuk menghindari konsentrasi yang tidak merata. Selain itu, ditambahkan asam klorida untuk menjaga pH dengan konsentrasi 0,05 – 0,25%. Reaksi tersebut dapat memberikan *yield* sebesar 95 – 97% dengan kemurnian kalsium fluorida berkisar pada rentang yang sama dengan hasil pembuatan kalsium fluorida melalui reaksi antara kalsium karbonat dan hidrogen fluorida.

1.3.6. Reaksi Kalsium Karbonat dengan Hidrogen Fluorida

Berdasarkan US Patent No. 9764963 B2 memaparkan proses untuk menghasilkan kalsium fluorida dari larutan encer hidrogen fluorida yang terdiri dari langkah mereaksikan larutan yang diencerkan (kalsium karbonat) dengan larutan hidrogen fluorida pada suhu proses kurang dari 50°C. US Patent No. 9764963 B2

memanfaatkan larutan encer hidrogen fluorida (HF) yang dihasilkan oleh proses kimia seperti operasi fluorinasi elektrokimia atau oleh pengoksidasi termal yang membakar aliran *off-gas* yang mengandung fluor. *Off-gas* biasanya menghasilkan larutan hidrogen fluorida dengan konsentrasi 0,5 sampai 40%. Larutan HF ini tidak dapat dilepaskan ke lingkungan tanpa pra-pengolahan dan pengolahan air limbah juga tidak mentolerir hal tersebut.

Larutan encer hidrogen fluorida yang digunakan untuk memproduksi kalsium fluorida memiliki konsentrasi hidrogen fluorida 40%. Partikel kalsium karbonat yang digunakan memiliki ukuran partikel 50 μm . Larutan encer hidrogen fluorida dengan partikel kalsium karbonat yang telah dilarutkan dengan perbandingan 75 g CaCO_3 dalam 0,5 L air direaksikan dalam reaktor berpengaduk dengan waktu reaksi selama 1 jam dengan rasio molar CaCO_3 terhadap HF berkisar antara 1:2 hingga 1:6. Persamaan reaksi yang terjadi:



HF sisa yang tidak bereaksi dimasukkan ke dalam reaktor netralisasi (berpengaduk) dan dinetralkan dengan basa, seperti KOH, NaOH, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO atau lainnya. Setelah proses netralisasi, produk dapat dipisahkan dari air dengan metode konvensional seperti filtrasi, sedimentasi atau dekantasi. Fasa air yang dipisahkan dapat dijual atau dapat digunakan kembali untuk melarutkan CaCO_3 pada tangki berpengaduk.

Produk yang dipisahkan dapat dikeringkan secara mekanis, dikeringkan dengan metode pengeringan konvensional dan jika diperlukan dilakukan proses diaglomerasi dengan penggilingan. Kalsium fluorida yang diperoleh dengan proses

yang disajikan di sini memiliki struktur partikel yang stabil yang dapat digunakan untuk pemrosesan lebih lanjut, misalnya untuk pembuatan hidrogen fluorida anhidrat. Struktur berpori halus dari partikel kalsium fluorida menguntungkan untuk reaktivitas dan dengan demikian untuk produksi AHF. Produk kalsium fluorida yang dihasilkan dalam proses ini menghasilkan kemurnian yang dapat mencapai >97%.

Proses baru ini dapat menghindari kekurangan-kekurangan dari proses-proses yang telah diketahui sebelumnya. Berdasarkan perbandingan proses pada penjelasan di atas dapat diketahui bahwa proses yang lebih ekonomis dan efisien adalah proses dari US Patent No. 9764963 B2. Sehingga, proses pembuatan kalsium flourida dari bahan baku kalsium karbonat dan hidrogen flourida dipilih sebagai proses yang digunakan dalam tugas Pra-Rancangan Pabrik Pembuatan Kalsium Fluorida ini.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Bahan baku

1.4.1.1. Hidrogen Flourida (HF)

Tabel 1.3. Spesifikasi bahan baku hidrogen flourida (HF)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	HF
Berat molekul	19,9463 kg/kmol
Wujud	<i>Liquid</i>
Berat jenis	0,9286 g/cm ³ (293°K)
Titik nyala	Tidak mudah terbakar
Titik didih (1 atm)	112°C
ph	Dalam air asam lemah
Kelarutan	Sangat larut dalam air

Warna	Tidak berwarna
-------	----------------

(Sumber: Perry, 2008)

1.4.1.2. Air (H_2O)

Tabel 1.4. Spesifikasi bahan baku air (H_2O)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	H_2O
Berat molekul	18,0152 kg/kmol
Wujud	<i>Liquid</i>
Berat jenis	0,998 g/cm ³ (293°K)
Titik beku	273,2°K
Titik didih (1 atm)	100 °C
Warna	Tidak berwarna

(Sumber: Perry, 2008)

1.4.1.3. Kalsium Karbonat ($CaCO_3$)

Tabel 1.5. Spesifikasi bahan baku kalsium karbonat ($CaCO_3$)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	$CaCO_3$
Berat molekul	100,0894 kg/kmol
Wujud	Solid
Berat jenis	2,710 g/cm ³
Titik leleh	700-900°C
Kelarutan	0,0006g g/ 100 g H_2O
Warna	putih

(Sumber: Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.1.4. Kalsium Hidroksida ($Ca(OH)_2$)

Tabel 1.6. Spesifikasi bahan baku kalsium hidroksida ($Ca(OH)_2$)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	($Ca(OH)_2$)
Berat molekul	74,0946 kg/kmol

Wujud	Solid
Berat jenis	2,2 g/cm ³
Titik leleh	
Kelarutan	Sedikit larut dalam air
Warna	Putih

(Sumber: Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.2. Produk

1.4.2.1. Produk Utama

Calcium Flouride (CaF₂)

Kalsium flourida sebagai produk utama dalam rancangan pabrik digunakan sebagai sumber utama hidrogen flourida, bahan kimia komoditas yang digunakan untuk memproduksi berbagai macam bahan. Kalsium flourida dapat digunakan dalam metalurgi besi sebagai fluks untuk meningkatkan fluiditas terak, dalam industri optik berfungsi sebagai mentransmisikan sinar UV dan kalsium flourida juga digunakan sebagai katalis dalam dehidrasi dan dehidrogenasi. Kalsium flourida juga digunakan sebagai fluks dalam produksi baja dan magnesium. Penggunaan utama kalsium flourida sebagai bahan baku produksi hidrogen flourida. Kalsium flourida dapat ditemui dalam produksi unsur fosfor, baja, semen, pelapis enamel, dan kaca.

Kalsium flourida tidak bereaksi terhadap bahan kimia organik dan banyak asam, termasuk HF. Pabrikan kamera, Canon, juga menggunakan kalsium flourida yang dikristalkan secara artifisial komponen di beberapa lensa Seri-L untuk mengurangi cahaya penyebaran. Sebagai bahan optik inframerah, kalsium flourida dikenal dengan Eastman Kodak Co. nama merek dagang "Irtran-3," meskipun sebutan ini sekarang sudah jarang digunakan. Dalam konsentrasi yang sangat rendah (ppm), senyawa flourida digunakan dalam aplikasi kesehatan.

Tabel 1.7. Spesifikasi produk utama *calcium flouride* (CaF_2)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	CaF_2
Berat molekul	76,08 kg/kmol
Bentuk	Solid
Berat jenis	3,2252 g/cm ³
Kelarutan	0,0016 g/ 100 g
Titik didih	2500°C
Titik leleh	1418°C
Warna	Putih

(Sumber: Haynes, 2012 dan Walker, 1991)

1.4.2.2. Produk Samping

Karbon Dioksida (CO_2)

Karbon dioksida muncul sebagai gas tidak berwarna dan tidak berbau pada suhu dan tekanan atmosfer. Relatif tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Digunakan sebagai pendingin dan dalam pembuatan minuman berkarbonasi. Digunakan untuk membekukan makanan, untuk mengontrol reaksi kimia dan sebagai agen pemadam kebakaran. Gas tidak berwarna dalam kondisi lingkungan normal dengan sedikit bau menyengat. Karbon dioksida komersial dikirim dan ditangani dalam wujud cairan dan disimpan pada tangki silinder bertekanan.

Tabel 1.8. Spesifikasi produk samping karbon dioksida (CO_2)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	CO_2
Berat molekul	44,01 kg/kmol
Wujud	Gas
Warna	Tidak Berwarna
Titik didih (1 atm)	-78,50 °C
Titik leleh (1 atm)	-57,50 °C
Densitas (1 atm)	1,87 gram/ cm ³

(Sumber: Perry, 2008)

1.4.3.2 Air (H₂O)

Tabel 1.9. Spesifikasi produk samping air (H₂O)

Parameter	Spesifikasi
Rumus molekul	H ₂ O
Berat molekul	18,02 kg/kmol
Wujud	<i>Liquid</i>
Berat jenis	0,998 g/cm ³ (293°K)
Titik beku	273,2°K
Titik didih (1 atm)	100 °C
Warna	Tidak berwarna
Densitas (1 atm)	1 gr/cm ³

(Sumber: Perry, 2008)