



## **BAB II**

### **PEMILIHAN DAN URAIAN PROSES**

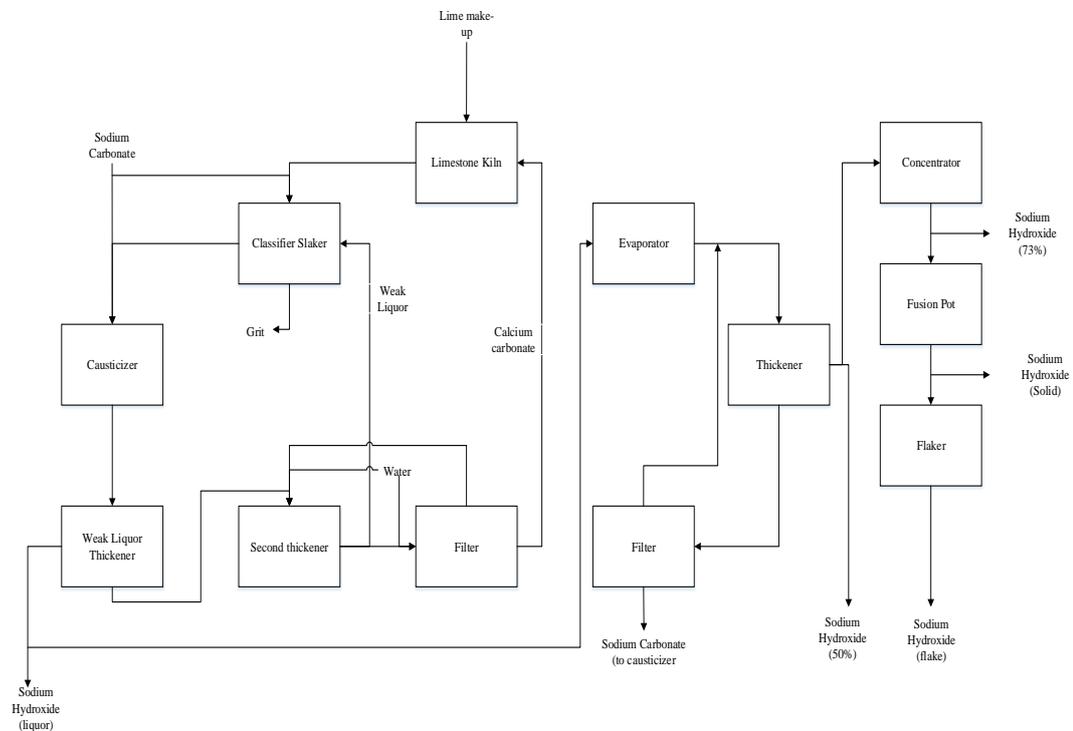
#### **II.1 Macam-Macam Proses**

Natrium hidroksida juga dikenal sebagai soda kaustik merupakan sejenis logam kaustik. Natrium hidroksida terbentuk dari oksida basa natrium oksida yang dilarutkan dalam air. Natrium hidroksida membentuk larutan alkalin yang kuat ketika dilarutkan kedalam air. Pembuatan Natrium Hidroksida dapat dilakukan dengan dua metode yaitu lime soda dan proses elektrolisis.

Proses elektrolisis merupakan salah satu cara untuk membuat soda kaustik dan klor yang masih banyak dipergunakan di industri. Elektrolisis larutan garam menghasilkan klor pada anoda dan hydrogen di katoda. Apabila klor dan natrium hidroksida yang diinginkan sebagai produk akhir, maka rancangan sel harus dibuat sedemikian rupa sehingga kedua bahan tersebut tidak dapat bercampur. Ada tiga jenis rancangan sel yang paling banyak digunakan di industri, diantaranya sel diafragma, sel merkuri, dan sel membrane (Austin, 1984).

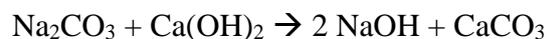
*Natrium hidroksida murni* memiliki bentuk putih padat dan tersedia dalam bentuk serpihan, pelet, butiran ataupun larutan jenuh 50% yang biasa disebut *larutan Sorensen*, bersifat lembap cair dan secara spontan menyerap karbondioksida dari udara bebas (Abdillah, 2021).

### II.1.1 Proses Lime Soda



**Gambar II.1 Proses Pembuatan NaOH dengan Metode Lime Soda**

Dalam proses soda kapur, larutan natrium karbonat (soda ash) direaksikan dengan kalsium hidroksida (slaked lime) untuk menghasilkan endapan kalsium karbonat dan larutan natrium hidroksida berair. Setelah penghilangan karbonat yang tidak larut, larutan dipekatkan untuk memberikan berbagai tingkat soda kaustik untuk dijual. Berikut reaksi yang terjadi :



Proses bisa beroperasi secara batch ataupun secara kontinyu. Pada proses kedua, 20% larutan sodium karbonat dimasukkan kedalam causticizer dengan sedikit kelebihan slake. Reaksi ini terjadi pada suhu 85<sup>0</sup>C. Setelah proses pengadukan selama 1 jam, larutan akan mengendap pada thickener. Larutan dari thickener pertama masuk kedalam evaporator untuk dipekatkan atau bisa menjadi produk akhir. Larutan mengandung 1 sampai 12% sodium hidroksida dan diperoleh



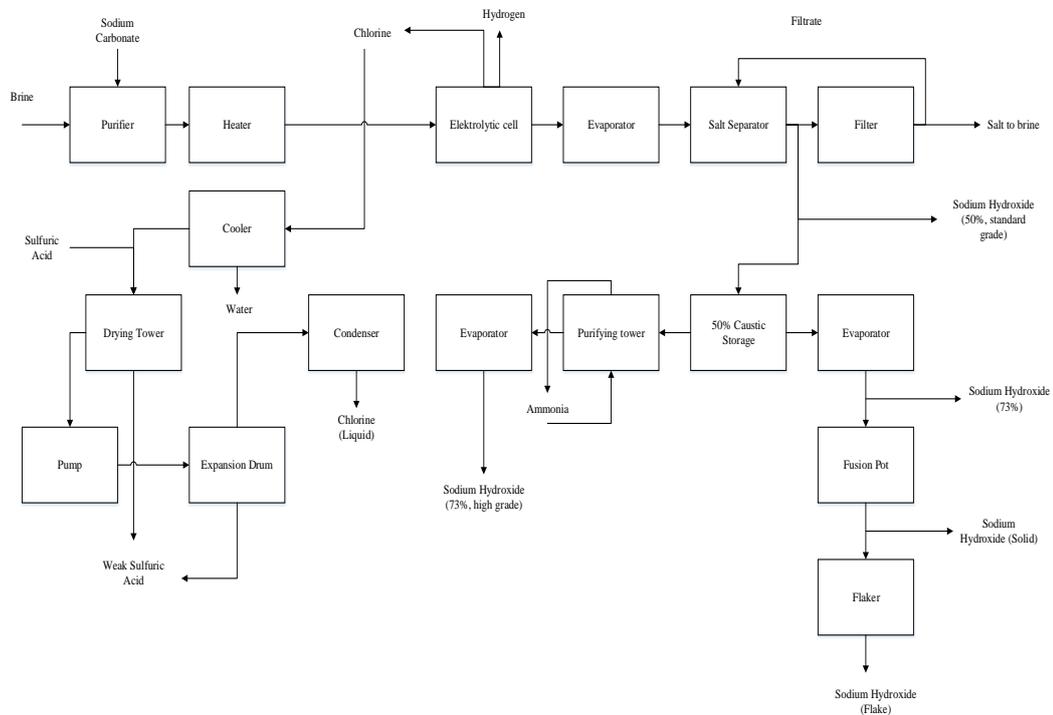
konversi 95 sampai 96% berdasarkan banyaknya sodium karbonat yang direaksikan.

Endapan dari thickener pertama dipompa menuju thickener kedua, dimana air panas dan filtrat dari proses selanjutnya ditambahkan. Larutan ini mengandung sodium hidroksida dan karbonat dalam konsentrasi rendah dan biasanya digunakan sebagai make up 20% dari larutan sodium karbonat (soda ash). Endapan dari thickener kedua disaring dan dicuci. Filtrat yang dihasilkan akan dikembalikan seperti yang disebutkan sebelumnya, sedangkan yang tertinggal pada saringan dan mengandung kalsium karbonat diproses menuju kiln untuk dibentuk menjadi kalsium oksida. Bahan ini akan dimasukan bersarna larutan soda ash menuju ke kombinasi classifier-slaker, dimana kapur terbentuk dan pasir dihilangkan untuk membentuk slurry, dimana akan dimasukan ke dalam causticizer untuk memulai proses.

Larutan yang berasal dari thickener pertama mengandung 11% sodium hidroksida dan 1,7% sodium karbonat. Larutan ini dipekatkan pada multiple effect evaporator menghasilkan 50% sodium hidroksida. Meningkatnya konsentrasi sodium hidroksida menjadikan sodium karbonat menjadi kurang larut dan akhirnya mengendap, oleh karena itu sodium hidroksida 50% hanya mengandung 0,15% sodium karbonat. Endapan yang tertinggal pada saringan kebanyakan adalah sodium karbonat yang tidak terbentuk sempurna dan sodium klorida yang berasal dari soda ash, dikembalikan pada causticizer. Larutan sodium klorida 50% bisa di jual ataupun dipekatkan kembali.



## II.1.2 Proses Elektrolisis



**Gambar II.2 Proses Pembuatan NaOH dengan Metode Elektrolisis**

Dalam proses elektrolisis untuk pembuatan natrium hidroksida arus listrik dilewatkan melalui larutan natrium klorida (garam) sel yang dirancang khusus. Garam diurai oleh arus untuk membentuk 10-12% larutan natrium hidroksida, dengan gas hidrogen membentuk katoda dan gas klor di anoda sebagai produk sampingan.

Natrium klorida diperoleh dari air asin alami, tambang, atau penguapan air laut atau yang dipekatkan untuk menghasilkan larutan natrium klorida jenuh. Larutan brine dipanaskan dan dilewatkan ke tangki pemurnian, di mana larutan tersebut diolah dengan natrium karbonat dan beberapa soda kaustik untuk menghilangkan senyawa kalsium dan magnesium, sedangkan barium klorida sering ditambahkan jika air garam memiliki kandungan sulfat yang tinggi. prosedur pemurnian ini diperlukan baik untuk menghasilkan produk bermutu tinggi dan juga untuk mengurangi penyumbatan diafragma jika ada dalam sel elektrolitik. setelah



larutan natrium klorida murni dinetralkan dengan asam klorida, air garam bening dipanaskan kembali dan diumpankan ke sel untuk elektrolisis. Berikut reaksi yang terjadi :



(Faith, 1957)

### II.1.2.1 Proses Elektrolisis dengan Sel Diafragma

Sel diafragma mengandung diafragma, biasanya terbuat dari serat asbes, untuk memisahkan anoda dari katoda. Hal ini memungkinkan ion melewatinya melalui migrasi listrik tetapi mengurangi difusi produk. Anoda biasanya terbuat dari grafit, katoda dari besi tuang. Diafragma memungkinkan konstruksi sel kompak dengan resistansi yang lebih rendah karena elektroda dapat ditempatkan berdekatan. Diafragma menjadi tersumbat dengan penggunaan, seperti terjadinya penurunan tegangan yang lebih tinggi dan tekanan hidrostatis yang lebih tinggi pada umpan air garam, maka harus diganti secara teratur. Diafragma memungkinkan aliran air garam dari anoda ke katoda dan dengan demikian sangat mengurangi mencegah reaksi samping. Sel dengan katoda logam jarang mengembangkan diafragma tersumbat dan beroperasi selama 12 sampai 24 bulan tanpa memerlukan penggantian diafragma. Diafragma yang terbuat dari plastik tahan korosi diharapkan dapat meningkatkan masa pakai dan menghilangkan keberatan ahli lingkungan terhadap proses apa pun yang dapat melepaskan serat asbes ke lingkungan.

Sel diafragma juga menjaga bercampurnya gas hidrogen dan gas klor, karena kedua gas tersebut dapat menyebabkan terjadinya ledakan apabila bercampur. Sel diafragma terbuat dari suatu selaput berpori yang dapat dilalui ion-ion, namun tetap dapat menahan percampuran produk. Sel diafragma yang lama menggunakan anode grafit dan katode berupa kotak baja dengan sisi yang berpori.

Apabila digunakan elektrode grafit, maka akan terjadi reaksi berikut.



(Aqnia, 2020)

Keuntungan utama dari sel diafragma adalah dapat berjalan pada larutan garam encer (20%), air garam yang cukup tidak murni. Air garam encer tersebut menghasilkan natrium hidroksida encer (biasanya 11% NaOH dengan 15% NaCl) yang terkontaminasi dengan natrium klorida sebagai produk. Diperlukan konsentrasi pada kekuatan pengiriman biasa sebesar 50%, dan ini menghabiskan banyak energi bahkan ketika multiple effect evaporator digunakan. Sekitar 2600 Kg air harus diuapkan untuk menghasilkan satu ton kaustik. Walaupun garam tidak terlalu larut dalam larutan kaustik, ion klorida yang masih tertinggal sedikit itu tidak dapat diterima bagi industri. Sodium klorat juga merupakan masalah jika kaustik itu hendak digunakan pada pembuatan gliserin, sodium sulfat, sodium hidrosulfat, dan bahan kimia lainnya.

### II.1.2.2 Proses Elektrolisis dengan Sel Merkuri

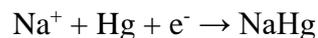
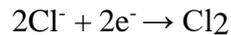
Sel Merkuri beroperasi sangat berbeda dari jenis lainnya. Anoda tetap menjadi grafit atau titanium yang dimodifikasi seperti sebelumnya, tetapi katoda adalah kumpulan merkuri yang mengalir. Elektrolisis menghasilkan paduan merkuri-natrium yang tidak terurai oleh air garam yang ada. Sel merkuri dapat beroperasi menggunakan larutan garam encer sama seperti diafragma.

Ketika jumlah air yang tepat digunakan, 50% NaOH dengan kandungan garam yang sangat rendah (30 ppm) menjadi produk langsung tanpa memerlukan penguapan. Hilangnya merkuri dalam jumlah kecil ke lingkungan menghadirkan masalah yang ekstrim.

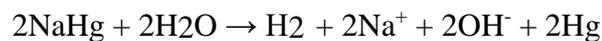
Jepang melarang penggunaan sel merkuri setelah tahun 1975. Meskipun pengurangan besar dalam pembuangan merkuri telah terjadi. Pembangunan sel merkuri di Amerika Serikat tiba-tiba terhenti. Kontrol proses yang hati-hati, dikombinasikan dengan pengolahan air dan limbah udara, memungkinkan pabrik



merkuri memenuhi standar lingkungan dan bertahan, tetapi sebagian besar perusahaan ragu untuk mendirikan unit baru. Sel diafragma dan sel membran menggunakan energi listrik dalam jumlah yang hampir sama, sel merkuri sedikit lebih banyak. Rasionya kira-kira 3:4. Dalam sel merkuri terjadi reaksi pada elektroda yaitu :



dan amalgam natrium dihidrolisis:

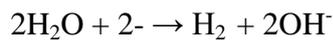
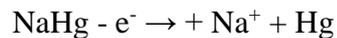


dengan adanya katalis dalam reaktor terpisah yang dikenal sebagai denuder. Sel merkuri berdimensi 15 x 2 x 0,3 m, dengan dasar baja yang sedikit miring dari ujung ke ujung sehingga air raksa bisa mengalir di sepanjang bagian bawah sel. Dilapisi, titanium diperluas anoda stabil dimensi (DSA), masing-masing perkiraan dimensi 30 x 30 cm, masukkan sel dari atas dan disusun sejajar dengan permukaan Hg dengan celah katoda anoda kurang dari 1 cm. Sel akan memiliki sekitar 250 anoda semacam itu sehingga sebagian besar merkuri ditutupi oleh anoda, sel mendekati konfigurasi pelat sejajar horizontal. Konsentrasi air garam 25% dan suhu 60°C mengalir melalui sel dan keluar dengan konsentrasi 17% dapat diumpan kembali melalui deposit garam atau setelah perawatan. Gas klor meninggalkan sel di bagian atas sementara natrium amalgam (sekitar 0,5% natrium) dibagian dasar, melewati dua washing weirs untuk menghilangkan semua larutan natrium klorida dan masuk ke dalam denuder (bejana reaksi silindris yang dikemas dengan bola grafit penuh dengan logam transisi (misalnya Fe atau Ni) untuk mengkatalisasi amalgam penguraian).

Campuran natrium amalgam dan volume air murni yang terkontrol dapat menurunkan grafit dan bereaksi. Telah dicatat di atas bahwa reaksi air amalgam natrium secara kinetis terhalang. Di sisi lain, reaksi terjadi cepat di denuder dan



sangat eksotermik, karena logam transisi menyediakan permukaan alternatif untuk merkuri untuk reaksi evolusi hidrogen. Reaksi di dalam denuder terjadi oleh jenis mekanisme korosi, reaksinya:



terjadi pada bagian yang berbeda dari permukaan grafit namun pada tingkat yang sama bahwa tidak ada arus bersih yang mengalir. Gas hidrogen keluar dari bagian atas denuder, dan merkuri untuk resirkulasi terpisah di bagian bawah. Oleh karena itu, dengan mengendalikan laju umpan air, adalah mungkin menghasilkan soda kaustik 50% secara langsung.

(Pletcher, 1993)

### II.1.2.3 Proses Elektrolisis dengan Sel Membran

Sel membran menggunakan membran semipermeabel untuk memisahkan kompartemen anoda dan katoda. Dengan sel diafragma, migrasi kembali ion dikontrol oleh laju aliran cairan melalui diafragma, dan ini diatur oleh kontrol yang cermat terhadap level cairan dalam kompartemen. Sel membran memisahkan kompartemen dengan lembaran plastik berpori yang aktif secara kimia yang memungkinkan ion natrium lewat tetapi menolak ion hidroksil. Beberapa polimer telah dikembangkan untuk layanan yang menuntut ini. Du Pont telah mengembangkan polimer asam perfluorosulfonat, sedangkan Ashai menggunakan membran berlapis ganda dari polimer asam perfluorosulfonat yang dilapisi di satu sisi dengan polimer asam perfluorokarboksilat yang dilapisi di satu sisi dengan polimer asam perfluorokarboksilat. Tujuan membran adalah untuk mengeluarkan ion  $\text{OH}^-$  dan  $\text{Cl}^-$  dari ruang anoda. Sehingga membuat produk jauh lebih rendah garam daripada dari sel diafragma. Sel membran beroperasi menggunakan air garam yang lebih pekat 23%-28% dan menghasilkan produk yang lebih murni dan lebih pekat (NaOH 28% mengandung 50 ppm NaCl). Produk tersebut hanya membutuhkan 715 kg air untuk diuapkan untuk menghasilkan metrik ton kaustik,



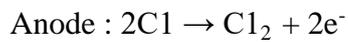
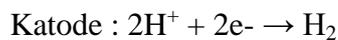
## PRA RENCANA PABRIK

“Pabrik Natrium Hidroksida Dari Garam NaCl Dengan Proses Elektrolisis Sel Membran”

---

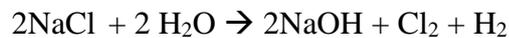
penghematan yang cukup besar. Sel membran, menghasilkan NaOH yang relatif pekat menawarkan kemungkinan pengoperasian pada titik penggunaan kaustik, sehingga menghemat pengiriman. Unit kecil yang efisien dapat menyebabkan revolusi dalam distribusi industri klor-alkali. Sebuah sel membran 20 kali lebih besar dari sel-sel sebelumnya dimana unit sel semacam itu dapat menghasilkan 240 ton klorin per tahun. (Austin, 1984)

Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Selanjutnya, ion-ion sodium ( $\text{Na}^+$ ) yang berpindah dari anoda ke katoda bereaksi dengan ion-ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) menghasilkan soda api (NaOH) dengan konsentrasi 32-35%. Untuk mencapai konsentrasi soda api 50%, larutan kaustik yang diproduksi harus dipekatkan dengan penguapan (terkonsentrasi di vaporizer).

Reaksi elektrolisis larutan garam (NaCl) secara keseluruhan dapat dituliskan sebagai berikut:



(O'Brien, 2005)



## II.2 Seleksi Proses

Berdasarkan uraian singkat mengenai proses yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk NaOH, dapat dilihat kelebihan dan kekurangan proses sebagai berikut :

**Tabel II.1 Seleksi Proses**

Parameter	Nama Proses			
	Lime Soda	Elektrolisis		
		Sel Diafragma	Sel Merkuri	Sel Membran
Bahan Baku	Limestone dan Natrium karbonat	Natrium klorida dan natrium karbonat	Natrium klorida dan natrium karbonat	Natrium klorida dan natrium karbonat
Ketersediaan Bahan Baku	Limestone merupakan hasil tambang yang persediannya terbatas.	Natrium klorida mudah diperoleh.	Natrium klorida mudah diperoleh.	Natrium klorida mudah diperoleh.
Alat Utama	Causticizer	Electrolytic cell (Serat Asbes).	Electrolytic cell (Merkuri).	Electrolytic cell (Membrane Semipermeabel)
Produk Samping	Kalsium karbonat	Hidrogen dan Chlorine	Hidrogen dan Chlorine	Hidrogen dan Chlorine



## PRA RENCANA PABRIK

“Pabrik Natrium Hidroksida Dari Garam NaCl Dengan Proses Elektrolisis Sel Membran”

	Bahan asbes mencemari lingkungan.	Merkuri sangat mencemari lingkungan	Membrane lebih ramah lingkungan
	Boros energi (26000 kg air harus teruapkan untuk menghasilkan 1 Ton NaOH).	Boros energi (34666.67 kg air harus teruapkan untuk menghasilkan 1 Ton NaOH).	Hemat energi (715 kg air untuk menghasilkan 1 Ton NaOH).
	Dapat menggunakan larutan garam encer (20%).	Dapat menggunakan larutan garam encer (20%).	Menggunakan larutan garam pekat (23%-28%).

Pada tabel diatas dijelaskan bahwa ada dua jenis pembuatan NaOH yaitu dengan metode limesoda dan metode elektrolisis. Pada metode limesoda memiliki beberapa kelebihan diantaranya alat yang digunakan berupa causticizer yang bias dibilang tidak serumit sel, sedangkan kelemahan metode limesoda diantaranya bahan baku berupa limestone merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, dimana nantinya dapat habis. Produk samping dari metode limestone berupa kalsium karbonat. Pembuatan NaOH dengan metode elektrolisis menggunakan bahan baku berupa garam NaCl dan sodium karbonat serta



## PRA RENCANA PABRIK

“Pabrik Natrium Hidroksida Dari Garam NaCl Dengan Proses Elektrolisis Sel Membran”

---

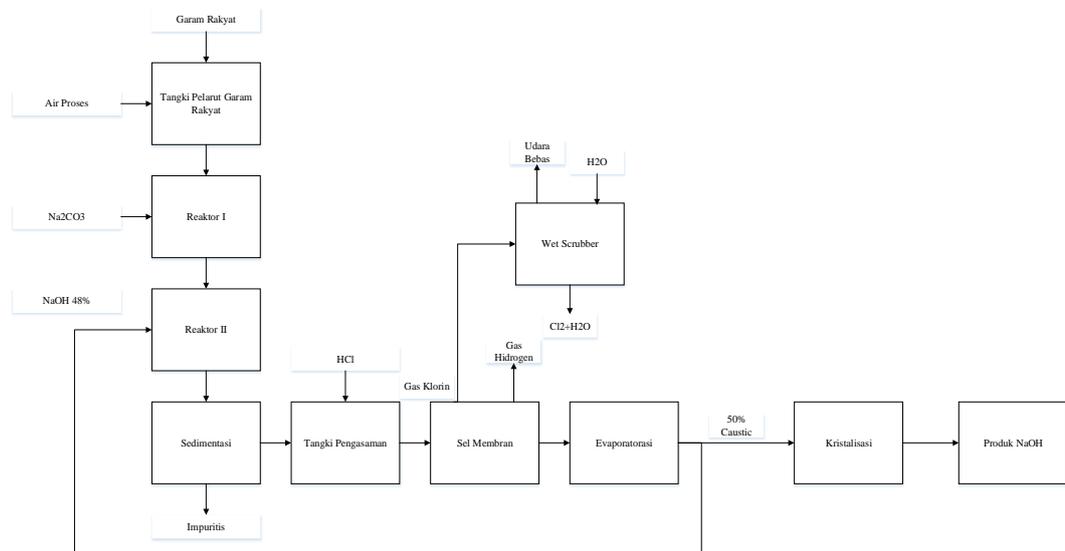
menghasilkan produk samping berupa klorin dan hydrogen. Metode elektrolisis memiliki beberapa kelebihan diantaranya bahan baku yang digunakan merupakan sumber daya alam yang tidak akan habis, sedangkan kelemahannya alat yang digunakan berupa sel. Pada metode ini dibagi menjadi 3 berdasarkan jenis sel yang digunakan, yaitu sel diafragma, sel merkuri, dan sel membrane. Sel membrane memiliki banyak keunggulan diantaranya lebih hemat energi dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan sel diafragma maupun sel merkuri, namun sel membrane hanya dapat menggunakan larutan garam pekat 23%-28%.

Maka proses yang dipilih untuk proses pembuatan NaOH adalah dengan metode sel membrane dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Bahan baku berupa Natrium Klorida mudah ditemukan dan merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui dibandingkan dengan bahan baku berupa limestone.
- b. Proses membrane tidak menggunakan bahan yang sangat beracun seperti asbes dan merkuri.
- c. Metode sel membrane lebih hemat energi yaitu hanya butuh menguapkan 715 kg air untuk menghasilkan 1 ton NaOH.

### II.3 Uraian Proses

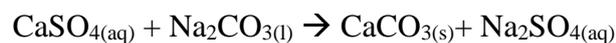
Pada Pra Rencana Pabrik Natrium Hidroksida Dari Garam NaCl Dengan Proses Elektrolisis Sel Membran dibagi menjadi 3 tahap.



**Gambar II.3 Flow Diagram Pabrik NaOH**

#### 1. Tahap Persiapan Bahan Baku

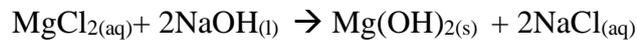
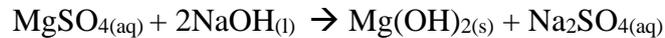
Bahan baku yang digunakan berupa Natrium Klorida yang diperoleh dari para petani garam yang disimpan di tangki penyimpanan NaCl, lalu diangkut menggunakan belt conveyor dan bucket elevator menuju tangki pelarut untuk dilarutkan dengan air hingga diperoleh larutan garam. Proses ini berlangsung pada suhu ruangan. Larutan garam kotor yang terbentuk dipompa menuju reaktor pemurnian, dimana pada reaktor pemurnian I ini terjadi pengikatan ion  $\text{Ca}^{2+}$  oleh Natrium Karbonat 58%. Berikut reaksi yang terjadi :



Setelah larutan keluar dari reaktor pemurnian I, lalu larutan dipompa menuju reaktor pemurnian II untuk mengikat ion  $\text{Mg}^{2+}$  dengan menambahkan Natrium Hidroksida 50% yang dialirkan dari tangki



penyimpanan menuju reaktor pemurnian II dengan menggunakan pompa. Berikut reaksi yang terjadi :

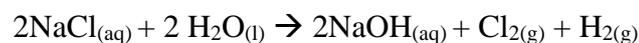


(Pujiastuti, 2019)

Selanjutnya dari reaktor pemurnian II, larutan dipompa menuju clarifier untuk mengendapkan sludge. Larutan garam yang telah bebas dari padatan keluar secara overflow ke tangki penampung. Kemudian larutan garam dipanaskan terlebih dahulu menggunakan heater sebelum menuju sel membran.

### 2. Tahap Elektrolisis

Larutan garam ditampung di bak penampung untuk disesuaikan pH menjadi asam sekitar 3-4, hal ini bertujuan untuk mengoperasikan sel secara efisien. Larutan garam selanjutnya dipompa menuju sel membrane, proses ini berlangsung pada suhu 80-95°C, dimana sel membrane yang digunakan berupa perfluorocarboxylic dan perfluorosulfonic acid untuk memisahkan katoda dan anoda. Larutan garam yang jenuh mengandung ion  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$  dialirkan melalui sel, dimana pada anoda ion klorida mengalami oksidasi menjadi gas klorin ( $\text{Cl}_2$ ), sedangkan pada katoda ion hydrogen dalam air mengalami reduksi menjadi gas hydrogen ( $\text{H}_2$ ). Adapun reaksi yang terjadi sebagai berikut :



### 3. Tahap Penguapan dan Penyelesaian

Pada proses penguapan diharapkan konsentrasi Natrium Hidroksida mencapai 50% dengan evaporator. Kemudian, larutan Natrium Hidroksida dilanjutkan menuju kristalizer dimana bertujuan untuk kristalisasi Natrium Hidroksida dengan bantuan air pendingin. Produk Kristal kemudian di umpankan pada centrifuge untuk proses memisahkan kristal basah dan mother liquor. Filtrate berupa mother liquor dipompa kembali menuju



## PRA RENCANA PABRIK

“Pabrik Natrium Hidroksida Dari Garam NaCl Dengan Proses Elektrolisis Sel Membran”

---

kristalizer, sedangkan cake berupa kristal Natrium Hidroksida di umpankan ke rotary dryer. Pada rotary dryer terjadi pengeringan kristal dengan batuan udara panas secara counter-current dari blower yang sudah dipanaskan dengan heater. Udara panas dan padatan terikut kemudian dipisahkan pada cyclone, dimana udara panas di buang ke udara bebas, sedangkan padatan diumpankan secara bersamaan dengan produk dryer menuju ke cooling conveyor. Pada cooling conveyor produk di dinginkan sampai dengan suhu 30°C dengan bantuan air pendingin. Produk Kristal Natrium Hidroksida diumpankan dengan bucket elevator menuju ke silo dan siap di packaging untuk kemudian dipasarkan dalam bentuk kristal.

(O'Brien, 2005)