



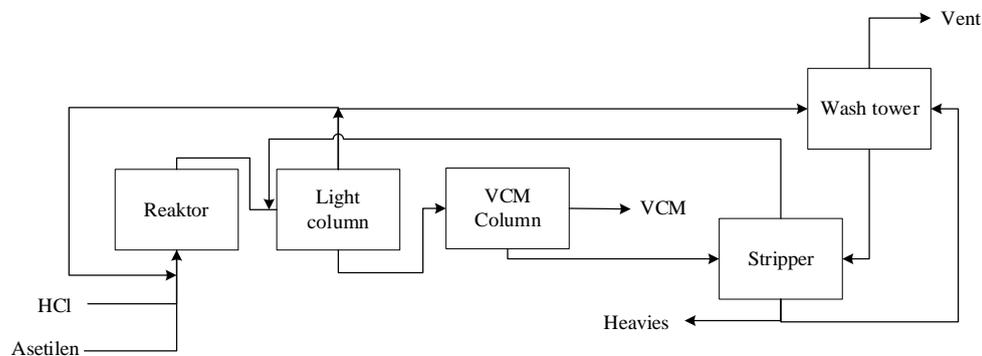
## BAB II SELEKSI DAN URAIAN PROSES

### II.1 Macam-Macam Proses

Dalam memproduksi *vinyl chloride Monomer* terdapat beberapa metode yang telah digunakan pada industri dan terbukti menguntungkan ada juga, metode yang dapat digunakan di masa depan, dengan mempertimbangkan kondisi serta biaya, berikut adalah metode-metode yang dapat digunakan :

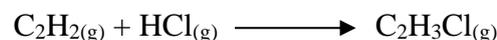
1. Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dari asetilen dan Hidrogen Klorida.
2. Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dengan metode *cracking ethylene dichloride*.
3. Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dengan metode *cracking gases*.

#### II.1.1 Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dari Asetilen dan Hidrogen Klorida



Gambar II. 1 Diagram alir *Vinyl Chloride Monomer* dari Asetilen dan Hidrogen Klorida

Asetilen dan hidrogen klorida dalam bentuk gas dicampur dan dimasukkan bersama gas daur ulang ke reaktor. Pada reaktor ini berupa reaktor *multitube* dengan katalis berupa *Mercury (II) chloride* pada karbon aktif dengan konsentrasi 2-10%. Kondisi pada reaktor ini memiliki tekanan (0.1–0.3 MPa) dan suhu 100–250 °C dengan waktu kontak 0.1–1 s. Konversi dari bahan asetilen menjadi produk sebesar 95-100%. Reaksi utama yang terjadi sebagai berikut:





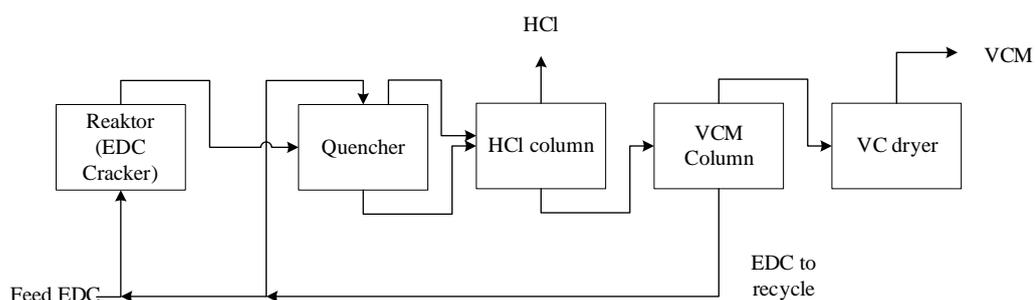
Gas kemudian meninggalkan reaktor dikompresi dan diumpankan ke menara pertama, tempat sebagian besar vinil klorida berada ditarik sebagai cairan dari bawah. Kebanyakan produk *overhead* (HCl, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl) didaur ulang ke reaktor. Untuk menghilangkan zat *inert*, sebagian kecil dari aliran gas daur ulang ini diambil dan dicuci dengan bahan berat 1,1-dikloroetana dibentuk melalui adisi kompetitif HCl pada vinil klorida. untuk memulihkan vinil klorida dan asetilena.

Di menara kedua, vinil klorida mentah didistilasi dan akan keluar pada bagian *overhead*. Bagian bawah yang lebih berat menjadi umpan ke tahap akhir *stripping* di kolom berat dengan tambahan aliran dari *wash tower* dan sebagian dikeluarkan pada bagian bawah untuk penggunaan lebih lanjut atau untuk pembakaran. *Overhead* dari *stripping column* (asetilen dan vinil klorida) dikembalikan ke hisap kompresor untuk pemulihan produk yang optimal.

Semua modifikasi proses bertujuan untuk mencapai pemulihan maksimal dari asetilen yang mahal dan menghindari tekanan dan suhu tinggi, yang dapat menyebabkan kerugian melalui polimerisasi (Ullman, 2014).

## II.1.2 Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dengan *Cracking Ethylene*

### *Dichloride*



Gambar II. 2 Diagram alir *Vinyl Chloride Monomer* dengan *cracking ethylene dichloride*

Awalnya proses ini membutuhkan NaOH sebagai diklorinator, namun cara ini sangat boros karena klorin yang mahal hanya akan bereaksi menjadi garam NaCl. Proses ini juga membutuhkan katalis yang efektivitasnya berkurang seiring

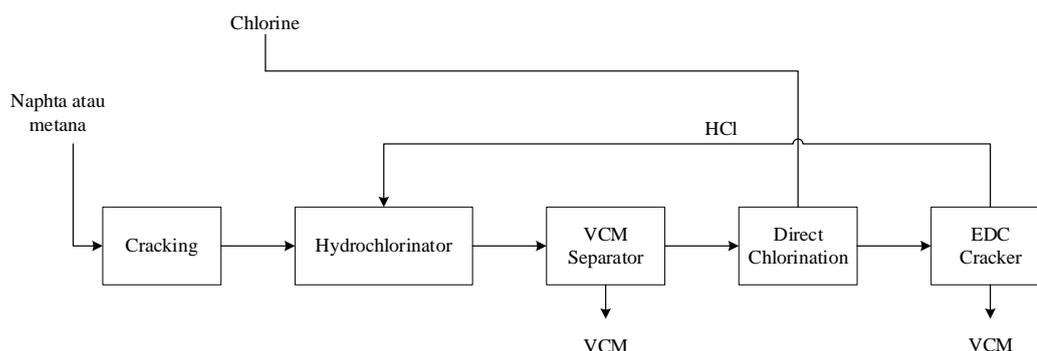


waktu. Proses ini kemudian diperbaiki tanpa menggunakan katalis dan NaOH (Ullman, 2014). EDC murni diumpankan ke evaporator di bagian atas *cracker*. Fase gas dipisahkan dari cairan yang tersisa dan diumpankan ke dalam *cracker reactor*. Reaktor merupakan *furnace* dengan desain *plug flow* reaktor dengan suhu 500-550°C dengan tekanan 2-3 Mpa. Konversi yang didapat dari reaksi ini sekitar 50-60%, *yields* VCM ±95-99% dengan waktu tinggal rata-rata 10-20 detik. Setelah memiliki melewati zona *crack* di tungku, gas didinginkan dengan *quencher* dengan aliran EDC. Aliran berlanjut fase gas dari *quencher* masuk ke dalam kolom distilasi yang pertama. Reaksi utama pada proses ini, yaitu :



Pada kolom distilasi yang pertama, hidrogen klorida dikeluarkan dari campuran. Hasil dari distilat dari distilasi pertama dikirim kembali ke proses *Oxy-EDC* untuk membentuk EDC atau digunakan untuk tujuan lain. *Bottom* produk yang mengandung *Vinyl chloride* disuling di menara kedua. Dapat dicuci dengan kaustik encer untuk menghilangkan sisa terakhir hidrogen klorida dan 1,2-dikloroetana. EDC berupa produk bawah dari kolom distilasi kedua *directcycle* menuju reaktor dan sebagian sebagai pendingin pada menara *quencher* (Ullman, 2014).

### II.1.3 Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dengan *Cracking Gases*



Gambar II. 3 Diagram Alir produksi *Vinyl Chloride Monomer* dengan *cracking gases*

Dalam proses *cracking gases* untuk pembuatan *vinyl chloride*, digunakan asetilena yang tidak dimurnikan yang dihasilkan oleh perengkahan nafta atau



metana pada suhu tinggi sampai diatas 1500 °C pada reaktor plasma (Chong, 2017). Proses-proses ini menguntungkan karena dapat dilakukan tidak memerlukan pemisahan yang mahal campuran asetilena-etilen. Reaksi pada reaktor plasma ini adalah



*Crack gases* diumpankan langsung ke hidroklorinator dimana asetilen akan direaksikan dengan HCl vinil klorida, yang kemudian dipisahkan dari zat yang tersisa. Karena semua asetilen dikonsumsi, sisa etilen lebih mudah dipisahkan, atau dapat diklorinasi langsung, di mana ia diklorinasi menjadi 1,2-dikloroetana, yang kemudian dipecah menjadi vinil klorida. Karena jumlah etilen yang hampir sama asetilena dapat dicapai dalam metode *crack gases*, prosesnya bisa diseimbangkan dengan klorin. Tekanan yang lebih tinggi (1,0–3,0 MPa) diterapkan untuk tahap hidroklorinasi di reaktor untuk menjaga ukuran reaktor tidak terlalu besar. Karena asetilena lebih encer, tidak timbul titik panas yang bermasalah dibandingkan dengan proses asetilena murni. Untuk klorinasi dan tahap *cracking*, teknologi standar bisa digunakan (Ullman, 2014). Proses ini adalah gabungan dalam beberapa metode produksi VCM, namun teknologi yang sangat mendasari metode ini berupa konversi metana menjadi asetilen membutuhkan energi yang sangat besar, sehingga belum dapat diaplikasikan di indsutri.

## II.2 Seleksi Proses

Tabel II. 1 Perbandingan Proses dalam Produksi *Vinyl Chloride Monomer*

Parameter	Macam Proses		
	VCM dari Asetilen	VCM dari <i>Cracking</i> EDC	VCM dari <i>Cracking Gases</i>
Bahan Baku Utama	Asetilen dan HCl	1,2- Dikloreтана	Metana, <i>Naphta</i> , dan HCl
Bahan Pembantu	zeolit	NaOH (optional)	klorin
Kondisi Operasi	100-250°C 0,1-0,3 Mpa	500-550°C 0,1-4 Mpa	>1500°C (pada konversi asetilen)



Katalis	<i>Mercury(II) chloride</i> pada karbon aktif	-	<i>Iron catalis</i>
Konversi	95-100%	50-60%	50% asetilen 50% <i>ethylene</i>
Yield Produk	± 100%	93-99%	
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kondisi proses tidak terlalu tinggi.</li><li>• Waktu kontak singkat.</li><li>• Konversi dan <i>yield</i> yang dihasilkan tinggi.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ekonomis untuk <i>scale up</i> dan sudah banyak digunakan pada industri.</li><li>• Bahan terjangkau dan hanya butuh satu bahan baku saja tanpa katalis.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bahan baku berupa gas alam sangat melimpah</li><li>• Dengan metode gabungan, produksi VCM sangat efisien.</li></ul>
Kekurangan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Katalis sangat sensitif sehingga mudah berkurang efektivitasnya dan berbahaya.</li><li>• Bahan berupa asetilen dan HCl anhidrat cenderung mahal.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Impuritas pada produk masih tinggi sehingga butuh banyak unit pemurnian.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baru dikembangkan dan belum ada aplikasinya pada industri sehingga masih harus dikembangkan.</li><li>• Membutuhkan energi dan utilitas yang sangat besar.</li><li>• <i>Metode crack</i> gases dengan reaktor plasma masih baru dan mahal.</li></ul>

Dari uraian proses pembuatan *vinyl chloride monomer* yang telah disebutkan diatas, maka proses yang paling efisien dan efektif untuk saat ini adalah pembuatan *vinyl chloride monomer* dari *ethylene dichloride* atau 1,2 dikloreтана dengan menggunakan proses *cracking*. Keuntungan lainnya dari proses ini antara lain:

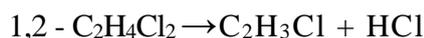
- a. Terdapat pabrik yang memproduksi bahan baku di Indonesia dengan produksi yang cukup besar.



- b. Alat utama yang digunakan cukup sederhana.
- c. Investasi dan produksi lebih ekonomis, dengan menggunakan instalasi metode *cracking* EDC.
- d. Hasil samping berupa HCl memiliki nilai jual yang cukup tinggi.

### II.3 Uraian Proses

Bahan baku berupa ethylene dichloride dengan kemurnian tinggi minimal 99.8%. EDC akan diubah menjadi *superheated steam* untuk mencegah terbentuknya *coke* pada *furnace* (abusalua, 2015). EDC dipanaskan dengan EDC *preheater*. Kemudian EDC dipanaskan kembali dengan heat exchanger dengan sumber panas dari *effluent* reaktor. EDC dipanaskan sampai memasuki fase gas. EDC kemudian masuk ke dalam reaktor berupa *plug flow* reaktor dengan kondisi operasi pada suhu 500-550°C dan tekanan 0,1-4 Mpa dengan konversi dipertahankan 50-60% dengan waktu tinggal 10-20 detik (Ullman, 2014). Menurut (Kirk, 2006) untuk mendapatkan selektivitas yang tinggi > 99% kondisi operasi pada 18 atm dan temperatur 500°C dengan menjaga konversi pada 60% dapat digunakan. Reaksi yang terjadi pada reaktor ini, yaitu:



*Ethylene dichloride* bereaksi menjadi VCM merupakan reaksi utama yang terjadi, namun terdapat reaksi samping yang dapat terjadi sehingga kondisi operasi harus disesuaikan (Dimian dan Bildea, 2008).

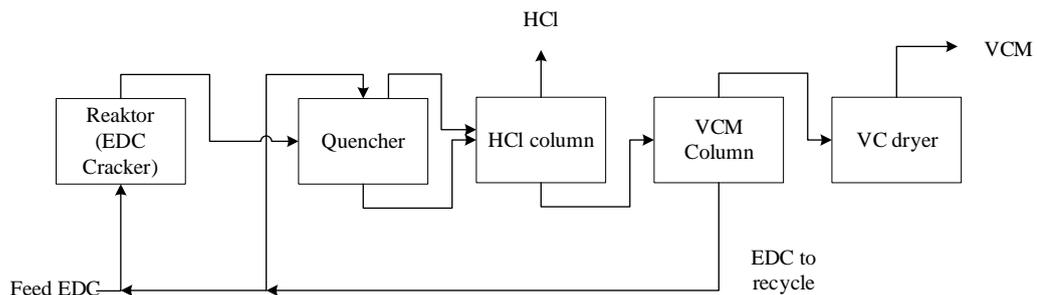
Setelah reaksi yang berlangsung pada reaktor terdapat beberapa produk samping berupa EDC, HCl, CLP, dan TCE yang dapat terbentuk atau merupakan impuritas dari bahan baku itu sendiri, sehingga perlu dipisahkan terlebih dahulu. Aliran dari reaktor masuk ke kolom pemisahan sebelum itu aliran didinginkan dengan *heat exchanger* dan *quencher*. Alasan penggunaan *quencher* adalah menurunkan suhu secara mendadak agar reaksi samping tidak terjadi hingga suhunya mencapai 370,5°C dengan tekanan 1,8 Mpa. Kemudian aliran masuk ke dalam kolom pemisahan yang pertama untuk memisahkan senyawa asam klorida,



Pra Rencana Pabrik  
“Pabrik *Vinyl Chloride Monomer* dari *Ethylene Dichloride* dengan  
Proses Cracking”

kolom dapat dioperasikan pada tekanan 0,89-0,92 Mpa dan suhu  $-35^{\circ}\text{C}$  sampai  $79^{\circ}\text{C}$ . Pada kondisi ini *liquid* yang merupakan sisa aliran yang mengandung produk dialirkan ke kolom pemisahan kedua untuk memisahkan produk VCM, dengan kondisi operasi pada tekanan 0,79-0,96 Mpa dengan suhu  $51,3$  sampai  $177,5^{\circ}\text{C}$ . VCM akan terpisah melalui distilat, sementara *bottom* yang masih mengandung EDC yang belum terkonversi serta impuritas akan masuk ke kolom ketiga.

Pada kolom ketiga dioperasikan pada tekanan 0,92 - 0,99 Mpa dengan suhu  $175,9$  sampai  $190,2^{\circ}\text{C}$  untuk memisahkan impuritas berupa TCE atau Trikloreтана. TCE akan melewati *bottom* sebagai sebagai produk bawah. Selanjutnya bagian *top* yang berupa liquid dikembalikan untuk *recycle*. EDC sebagai bahan baku yang belum terkonversi akan terpisah sebagai distilat untuk di-*recycle* ke reaktor sementara bagian bawah berupa *heavies* sebagai impuritas akan diolah ke bagian pengolahan limbah.



Gambar II. 4 Diagram alir Produksi *Vinyl Chloride Monomer* dengan *cracking ethylene dichloride*