



---

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Selama ini, penggunaan bahan kimia dari Isopropyl benzene (Cumene) seperti phenol, phenolic resin dan aceton, oleh industri-industri di Indonesia masih mengimpor dari Italia, Jerman dan Belanda. Krisis multi dimensi yang melanda Indonesia sampai sekarang, belum juga pulih, ditandai dengan semakin terpuruknya nilai tukar rupiah terhadap dollar. Hal ini berakibat pada industri yang memakai bahan baku impor tidak dapat bertahan, sehingga menyadarkan kita untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor.

Sejak tahun 1950, Cumene dengan rumus molekul  $C_9H_{12}$  yang merupakan senyawa aromatik bercincin tunggal dengan kenampakan cairan tak berwarna dan berbau seperti produk aromatik yang khas, mulai menjadi salah satu produk petrokimia yang pertumbuhannya terus meningkat seiring semakin besar manfaatnya bagi industri barang-barang sintetis. Sebagian besar produk Cumene ini, digunakan sebagai bahan antara untuk pembuatan phenol 50% dan aceton 48%, sedangkan sisanya 2% untuk pembuatan solvent, zat aditif dan beberapa zat lainnya.

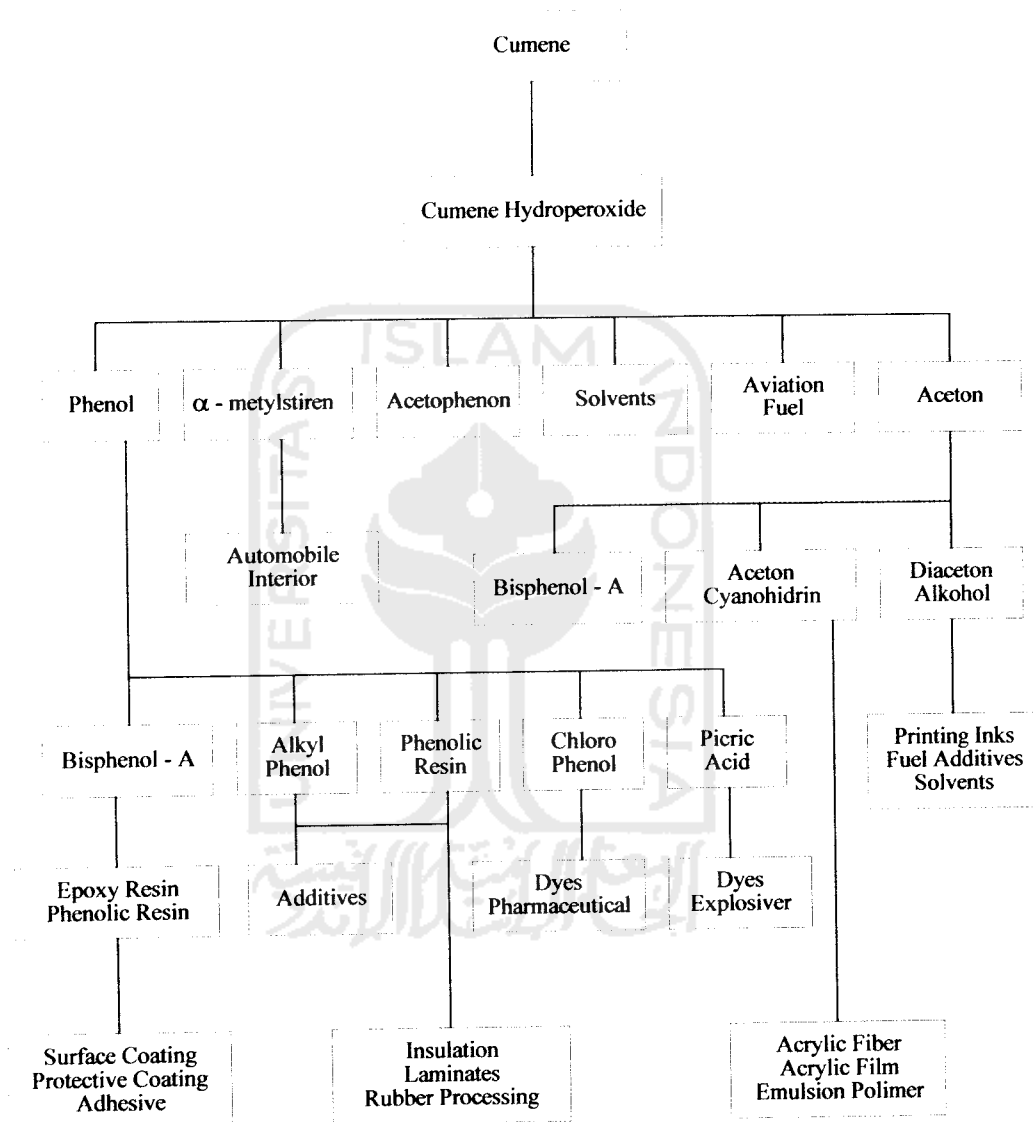
Maka perlu bagi Indonesia untuk mendirikan pabrik cumene sendiri, dengan harapan, kita dapat memasarkan produk-produk dari bahan baku cumene dengan harga yang jauh lebih murah, sekaligus dapat mempertahankan pasar



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

dalam negeri serta dapat melakukan diversifikasi produk yang bernilai ekonom lebih tinggi untuk memperbaiki perekonomian dan menambah pendapatan bangsa.

Gambar 1.1. Produk-produk kimia organik dari bahan baku cumene



### 1.1.1 Penentuan Kapasitas Rancangan

Dalam menentukan kapasitas rancangan pabrik, kapasitas pabrik yang akan didirikan harus berada diatas kapasitas minimum atau sama dengan kapasitas pabrik yang sudah berjalan. Selain itu, penentuan kapasitas rancangan, mampu mendekati kebutuhan dalam negeri.

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kapasitas rancangan pabrik Cumene, yaitu:

a. Proyeksi kebutuhan Cumene di Indonesia

Data statistik menunjukkan bahwa impor Cumene mengalami peningkatan dengan kenaikan 1,59 % per tahun nanti mencapai 250.000 ton. Perkembangan impor Cumene di Indonesia selama periode 1999 – 2004 adalah sebagai berikut:

Tabel 1.1. Data impor cumene di Indonesia

Tahun	Jumlah (ton)
1999	304.675,2
2000	264,237.3
2001	99.804,6
2002	299.144,1
2003	293.216,9
2004	297.960.1

(Sumber: Data impor Biro Pusat Statistik)



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Tabel 1.2. Data impor phenol dan acetone di Indonesia

Tahun	Phenol (ton/th)	Acetone (ton/th)
1999	2.581,577	12.815,848
2000	5.969.704	10.494,524
2001	4.627,675	9.084,971
2002	1.587,923	10.998,835
2003	1.222,541	12.758.199
2004	637,531	13.401,124

(Sumber: Data impor Biro Pusat Statistik)

b. Ketersediaan bahan baku

Bahan baku pembuatan Cumene yaitu berupa benzene dan propylene, yang dapat diperoleh dari dalam negeri sendiri, sehingga tidak tergantung dari negara lain. Bahan baku propylene disediakan oleh PT. Chandra Asri Petrochemical di Cilegon dengan kapasitas 240.000 ton/tahun. Sedangkan bahan baku benzene disediakan oleh kilang paraxylene di Cilacap dengan kapasitas 120.000 ton/tahun. Dan kilang pertamina Balongan, Dengan demikian, bahan baku cukup tersedia dan mudah memperolehnya.

c. Skala komersial pabrik yang didirikan

Berdasarkan pertimbangan skala komersial, kapasitas minimal yang masih dapat memberikan keuntungan jika didirikan pabrik Cumene dari bahan baku benzene dan propylene adalah 5.000 ton/tahun (Dow Chemical, US) dan kapasitas terbesar adalah 400.000 ton/th (Celanese, Co. US). Beberapa produsen cumene lain disajikan dalam tabel sebagai berikut :



"Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Tabel 1.3 Data produsen cumene di dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas ( Ton / tahun )
Dow Chemical	Midland, A.S.	5.000
Zagrab	Yugoslavia	8.000
Novo Kuibyshek	Rusia	25.000
SIR	Italia	30.000
Shell	USA	36.000
Chevron	USA	40.000
Borzesti	Rumania	42.000
Clark	USA	45.000
BP. Chemical	United Kingdom	50.000
Gulf	Kanada	60.000
Marathon	USA	63.000
Texaco	USA	68.000
Grozy	Rusia	85.000
Rhone-Progil	France	100.000
Mitsubishi	Jepang	110.000
Huls	Germany	120.000
Gulf	Holland	150.000
Saras	Italy	180.000
Veba	Germany	200.000
Moutedison	Italy	220.000
Celanese	USA	290.000

(Sumber : WWW. Jhon.Mc.Ketta. Com)



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Tabel 1.4 Data produsen cumene di dunia

Pabrik	Lokasi	Kapasitas ( Ton / tahun )
INA-Organsko Kemijsk	Eropa Timur	15.600
Amoco Chemical	Amerika Utara	23.000
Herdillia Chemical	Asia Oceania	29.000
Demex	Amerika Latin	40.000
Hindustan Organic CH	Asia Oceania	45.000
Yecimientos Petrolif	Amerika Latin	46.000
Neftochim	Eropa Timur	50.000
Kemtec Petrochemical	Amerika Utara	52.000
Coostak Chem	Amerika Utara	68.000
Leuna Werke	Eropa Barat	85.000
Ici Chemical and Poly	Eropa Barat	135.000
Ertisa SA	Eropa barat	170.000
Unipar Uniao De In	Eropa latin	173.000
Nurachem	Eropa Barat	200.000
Enichem Anic	Eropa Barat	240.000
Formosa Chemical	Asia Oacenia	270.000
Enichem	Eropa barat	280.000
Dow Benelux	Eropa Barat	340.000
Ruhl Oel	Eropa Barat	400.000

(Sumber : WWW. The.innovation-group.Com)

Berdasarkan ketiga pertimbangan tersebut diatas, maka untuk perancangan awal pabrik Cumene ini, ditetapkan kapasitas sebesar 250.000 ton / th.

Dengan kapasitas ini diharapkan :

- , Dari Perhitungan Regresi linear Maka diperkirakan kebutuhan Cumene pada tahun 2010 yang belum mampu dipenuhi Sebanyak 259.839,7074 ton , Dari



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Proyeksi Kebutuhan dalam negeri pada tahun 2010 tersebut dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri yang mengalami peningkatan sebesar 1.59 % per tahun

- Dapat membuka kesempatan berdirinya industri lain yang menggunakan cumene sebagai bahan baku.
- Dapat memberikan keuntungan, karena kapasitas secara komersial yang masih memberikan keuntungan adalah 5.000 hingga 400.000 ton per tahun.

### 1.1.2 Kegunaan Produk

Produk cumene telah banyak digunakan dalam industri, antara lain sebagai:

- Bahan baku pembuatan phenol dan aseton
- Bahan baku industri plastik
- Bahan baku pembuatan acetophenone
- Zat aditif pada bahan bakar untuk meningkatkan kemampuan mesin piston pesawat terbang
- Solvent pada industri cat
- Bahan intermediet untuk pembuatan resin dan asam terephthalat

### 1.2. Tinjauan Pustaka

#### 1.2.1 Macam-macam proses

Dalam pembuatan cumene ada beberapa proses yang digunakan, beberapa diantara proses tersebut adalah :



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

### ➤ Pembuatan cumene dengan proses $AlCl_3$ dari Monsanto

Pembuatan cumene dengan proses  $AlCl_3$  dari Monsanto ini terbagi dalam tiga unit yaitu unit alkilasi, unit pembuangan katalis dan unit pemurnian. Umpan yang terdiri dari *fresh benzene*, *recycle benzene*, propylene dan katalis  $AlCl_3$ , masuk ke dalam reaktor.

Reaksinya merupakan reaksi eksotermis yang panasnya dibuang melalui sirkulasi air pendingin yang melewati reaktor. Cumene, propylene, DIPB dan benzene yang tidak bereaksi, keluar dari reaktor dialirkan ke unit pemurnian yang terdiri dari kolom *depropanizer*, kolom benzene dan kolom cumene. Sedangkan  $AlCl_3$  yang sudah terpakai dialirkan ke unit pembuangan katalis.

### ➤ Pembuatan cumene dengan proses $AlCl_3$ dari Lummus Crest

Proses ini terdiri dari beberapa unit yaitu unit alkilasi/transalkilasi, unit persiapan katalis, unit netralisasi dan unit pemurnian. *Fresh benzene*, *dry benzene* dan propylene, dialirkan ke dalam reaktor alkilasi disertai dengan pencampuran katalis  $AlCl_3$ . Hasil reaksi yang berupa cumene, propane, DIPB dan benzene yang tidak bereaksi, dimasukkan ke dalam reaktor transalkilasi bersama-sama dengan DIPB recycle.

Di reaktor transalkilasi, DIPB yang masuk akan diubah menjadi cumene, sehingga melalui proses ini cumene yang dihasilkan akan lebih banyak bila dibandingkan dengan teknologi proses yang terdahulu. Kemudian dari hasil reaktor transalkilasi dialirkan ke unit netralisasi agar dapat dipisahkan dari katalis yang sudah terpakai. Setelah bebas dari





## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

katalis, lalu diumpankan ke unit pemurnian yang terdiri dari kolom *depropanizer*, kolom benzene, kolom DIPB dan kolom cumene. Produk akhir yang dihasilkan terdiri dari cumene, propane dan produk aroma berat.

### ➤ Proses Mobil / Badger

Pada proses ini, pembuatan cumene dari benzene dan propylene menggunakan katalis zeolite (dari Mobil), reaktor alkilasi bentuk *fixed bed*, reaktor transalkilasi dan kolom destilasi. Propylene cair, *fresh* benzene dan *recycle* benzene dicampur dan diumpankan ke dalam reaktor alkilasi dimana propylene bereaksi dengan sempurna. *Recycle* DIPB (diisopropyl benzene) dan benzene diumpankan ke reaktor transalkilasi sehingga bereaksi dan menghasilkan cumene tambahan.

Hasil dari reaktor alkilasi masuk ke kolom *depropanizer*, sedangkan hasil reaktor transalkilasi dan hasil bawah *depropanizer*, masuk ke kolom benzene, menghasilkan *benzene recycle* dan *crude* cumene, dimana hasil atas adalah cumene dan hasil bawah berupa DIPB dialirkan ke kolom DIPB. Hasil atasnya berupa DIPB (*di-recycle* kembali) dan hasil bawahnya adalah TIPB (triisopropyl benzene).

### ➤ Proses CD Tech

Ciri khusus dari proses ini adalah adanya kolom katalitik destilasi (kolom CD) yang mengkombinasikan antara reaksi kimia dan fraksinasi dalam satu unit operasi, dimana fraksinasi terletak pada bagian bawah



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

kolom. Uap dari kolom CD dikondensasikan, sekaligus untuk memisahkan propane maupun propylene yang tidak bereaksi.

Kemudian dikembalikan sebagai *refluk*. *Fresh* benzene dicampur dengan arus *refluk* tersebut, kemudian dimasukkan ke dalam kolom CD untuk direaksikan dengan propylene dan sebagian lagi dimasukkan ke *transalkylator*. Propylene dan benzene dalam kolom CD bereaksi, sehingga menghasilkan cumene dan PIPB. Hasil bawah dari kolom CD dimasukkan dalam kolom destilasi dengan hasil atas adalah cumene, sedangkan hasil bawah dimasukkan dalam kolom destilasi selanjutnya, untuk memisahkan PIPB dari aromatik berat.

DIPB dimasukkan dalam *transalkylator* untuk direaksikan dengan benzene untuk menghasilkan cumene tambahan. Produk dari *transalkylator*, dimasukkan kembali pada reaktor CD bagian bawah, untuk pemisahan lebih lanjut.

### ➤ Proses SPA dalam fase gas oleh UOP

Dalam proses ini UOP menggunakan Asam Fosfor Padat (*Solid Phosphoric Acid / SPA*) sebagai katalis. Reaktor alkilasi yang digunakan adalah jenis *fixed bed* dengan kondisi operasi suhu 275 °C dan tekanan 18 atm. Hasil reaksi dialirkan ke *flash drum* untuk memisahkan propane dari cumene, DIPB, dan benzene. Cairan dari *flash drum* dialirkan ke *menara distilasi- 01*. Di Menara distilasi, umpan yang terdiri dari benzene, cumene, dan DIPB dipisahkan. Pada bagian atas kolom akan keluar benzene dan sebagian kecil cumene, dan DIPB. Aliran pada bagian atas



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

kolom selanjutnya dikembalikan untuk bersama-sama dengan fresh benzene masuk *reaktor fixed multitube*. Untuk aliran bawahnya yang sebagian besar terdiri dari cumene selanjutnya dialirkan ke *menara distilasi-02* untuk dipisahkan dari fraksi-fraksi berat lainnya. Kemurnian produk cumene sebesar 99,9% mol.

Dari Semua proses yang ada proses Proses SPA dalam Fase gas oleh UOP dipilih dengan pertimbangan

- ❖ Memberikan Kemurnian Produk yang besar yaitu 99.9% mol
- ❖ Tidak membutuhkan reactor tambahan untuk mendapatkan cumene yang besar
- ❖ Lebih Sempel dalam perancangan alat

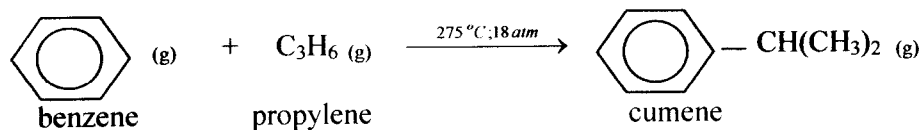
(John Mc. Ketta, 1983)

### 1.2.2 Konsep Proses

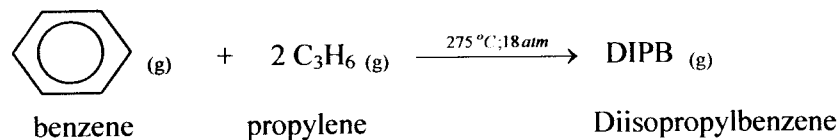
#### a. Dasar Reaksi

Reaksi pembentukan cumene merupakan reaksi alkylasi, yaitu apabila benzene direaksikan dengan suatu Haloalkana dengan katalisator suatu asam Lewis.

Reaksi utama :



Reaksi samping :

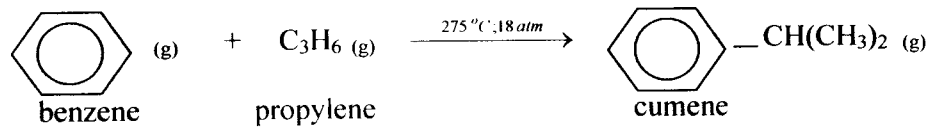




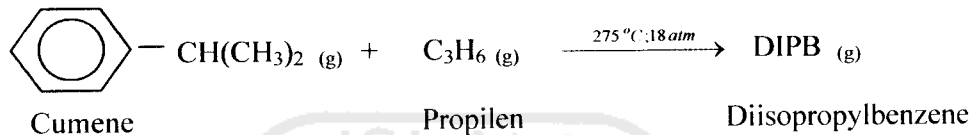
## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Dari referensi lain didapatkan reaksi yang berbeda dimana Cumene yang dihasilkan bereaksi dengan propilen untuk membentuk DiPB

Reaksi utama :



Reaksi samping :



Konversi propilene untuk reaksi di atas adalah 99% dengan rasio selektivitas mol produk cumene : DIPB = 31:1 (E. L. Kugler,1995). Dan perbandingan mol benzene dan Propilen adalah 2:1 untuk menghasilkan DiPB seminimal mungkin.

Reaksi pembentukan cumene bersifat eksotermis dengan panas yang dihasilkan sebesar 23784,689 kal/mol. Reaksi berjalan dengan baik, pada reaktor *fixed bed multi tube* fase gas

### 1.2.3 Pemakaian Katalis

Proses pembuatan cumene dari reaksi alkilasi antara benzene dan propilene akan berjalan lebih baik dengan bantuan katalis. Katalis berfungsi untuk menurunkan energi aktivasi dan mempercepat reaksi. Berbagai macam katalis dapat digunakan dalam proses pembuatan cumene.



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Dengan menggunakan katalis asam phosphat Kieselguhr yang berbentuk *spherical* padat ini, konversi maksimum yang dihasilkan adalah 99 % terhadap propylene.

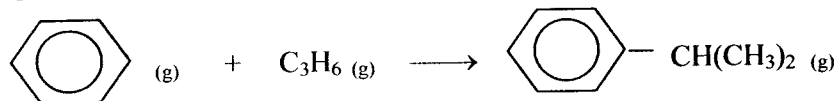
Tabel. 1.5. Macam katalis untuk reaksi alkilasi pembuatan cumene

Kelompok	Contoh	Tipe Asam
<i>Acidic halides</i>	$\text{AlCl}_3, \text{AlBr}_3, \text{SnCl}_2, \text{SbCl}_3, \text{FeCl}_3$	<i>Lewis acids</i>
<i>Metal alkyls and alkoxides</i>	$\text{AlR}_3, \text{BR}_3, \text{ZnR}_3, \text{Al(OPh)}_3$	<i>Lewis acids</i>
<i>Proton acids</i>	$\text{HCl}, \text{HCl-AlCl}_3, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{HF}_2, \text{H}_3\text{PO}_4$	<i>Bronsted acid</i>
<i>Acidic oxides and sulfides</i>	Zeolit (e.g., ZMS-5), aluminosilicates	<i>Bronsted/Lewis acid</i>
<i>Supported acids</i>	$\text{H}_3\text{PO}_4$ Kieselguhr, $\text{SiO}_2, \text{HF}_2, \text{Al}_2\text{O}_3,$	<i>Bronsted/Lewis acid</i>
<i>Cation-exchanger resins</i>	permutit Q, Amberlite IR 112, Dowes 50	<i>Bronsted acid</i>

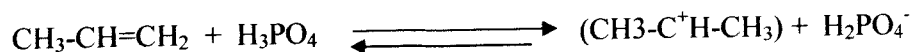
### 1.2.4 Mekanisme Reaksi

Secara umum mekanisme reaksi alkilasi antara benzene dan propylene dapat dijelaskan dengan konsep karbokation sebagai berikut:

Reaksi :



Tahap 1. Pembentukan elektrofil, suatu karbokation.



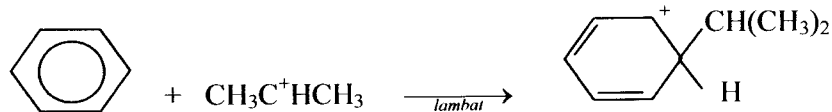
karbokation sekunder yang lebih stabil



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Dengan adanya katalis asam fosfat, maka propilen akan tersubstitusi secara elektrofilik membentuk ion carbonium yang merupakan radikal bebas.

Tahap 2. Serangan elektrofilik pada benzene  $\text{CH}(\text{CH}_3)_2$



Ion carbonium yang terjadi, akan menyerang sebuah atom H pada gugus benzene, membentuk ion arhenium.

Tahap 3. Eliminasi sebuah ion hidrogen, sehingga dihasilkan cumene.



Ion arhenium akan bereaksi dengan  $\text{H}_2\text{PO}_4$  menghasilkan cumene.

### 1.2.5 Kondisi Operasi

Dari hasil percobaan yang dilakukan oleh perusahaan pemegang lisensi proses, yaitu Universal Oil Product (UOP), ada beberapa variabel yang berpengaruh terhadap konversi, yaitu :

#### 1. Temperatur

Kondisi operasi dipilih suhu reaksi  $275\text{ }^\circ\text{C}$  karena pada suhu ini, diperoleh konversi total propilene yang paling besar yaitu 99%. Suhu maksimum yang digunakan pada reaksi ini dibatasi sampai  $300\text{ }^\circ\text{C}$ , mengingat katalis asam fosfat pada suhu di atas  $300\text{ }^\circ\text{C}$  akan menguap.



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

### 2. Tekanan

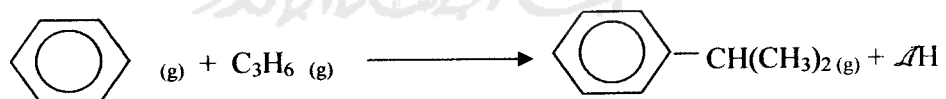
Untuk skala komersial yang menguntungkan dipilih tekanan 250 psi (18 atm), karena untuk selektivitas yang sama, jika dipilih tekanan yang lebih besar, akan didapatkan keuntungan yang sedikit. Hal ini karena selektivitas yang diperoleh tetap sama dengan tekanan operasi 250 psi.

### 3. Perbandingan Mol Reaktan

Besarnya perbandingan mol umpan akan berpengaruh pada konversi propilene dan pembentukan reaksi samping DIPB. Semakin besar perbandingan mol umpan, maka akan menurunkan DIPB yang terbentuk. Dipilihnya perbandingan mol umpan propilene dan benzene yaitu 1 : 2, karena jika perbandingannya sangat tinggi, maka laju produksi cumene yang dihasilkan per unit reaksi adalah rendah.

#### 1.2.6 Tinjauan Thermodinamika

Ditinjau dari segi thermodinamika reaksi pembentukan cumene dari benzene dan propilene menghasilkan panas sebesar :



$$\Delta H_{298} = -23784,689 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H_{548} = -18218,8057 \text{ kal/mol}$$

Dari  $\Delta H$  tersebut dapat dilihat bahwa reaksi pembentukan cumene adalah reaksi eksotermis.



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Untuk energi bebas dari data diperoleh  $G^{\circ}$  untuk reaksi pembentukan cumene adalah 35803 kal/mol. Maka pada suhu 298 °K harga konstanta kesetimbangan K:

$$K_o = \exp (- G/RT) = 1,82 \times 10^{26}$$

Pada suhu operasi tertentu berlaku rumus :  $\ln K/K_o = - Hr/R$

$$( 1/T - 1/298)$$

Panas reaksi pada 548 °K = -18218,8057 kal/mol. Diperoleh harga K =  $1,457 \cdot 10^{20}$ . Dilihat dari derajat kesetimbangan pada reaksi pembentukan cumene dengan rumus :

$$K = \frac{y_{C_9H_{12}}}{y_{C_6H_6} \cdot y_{C_3H_6}} = \frac{\left( \frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} \right)}{\left( \frac{1 - \varepsilon}{2 - \varepsilon} \right) \left( \frac{1 - \varepsilon}{2 - \varepsilon} \right)}$$

$$1,457 \cdot 10^{20} \cdot \varepsilon^2 - 2,914 \cdot 10^{20} \cdot \varepsilon + 1,457 \cdot 10^{20} = 0$$

Dengan rumus ABC diperoleh harga :

$$\varepsilon_1 = 1,0265$$

$$\varepsilon_2 = 1,0012$$

Karena harga K sangat besar dan  $\varepsilon$  lebih besar dari 1, maka reaksi alkilasi antara benzene dengan propilene pada proses ini merupakan reaksi ireversibel (searah).

### 1.2.7 Tinjauan Kinetika

Ditinjau dari segi kinetika diketahui bahwa harga k ditentukan dari persamaan Arrhenius.





## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

$$k = A.e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

dimana :

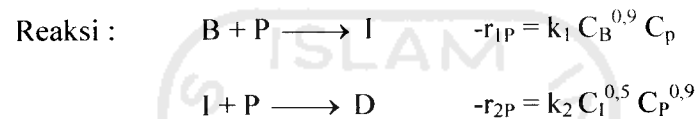
k = konstanta kecepatan reaksi

Ea = energi aktivasi

A = frekuensi tumbukan

T = suhu

R = konstanta gas ideal



Dari referensi didapatkan harga k sebagai berikut:

$$k_1 = 3,5 \times 10^4 \exp\left(\frac{-24.90}{RT}\right) \text{ mole / g cat.s}$$

$$k_2 = 2,9 \times 10^6 \exp\left(\frac{-35.08}{RT}\right) \text{ mole / g cat.s}$$

T dalam satuan Kelvin

B = benzene

P = propylene

I = isopropil benzene (cumene)

D = diisopropil benzene

*Chemical Marketing Reporter Production of Cumene*



## "Pra Rancangan Pabrik Cumene dari Propylene dan Benzene dengan Kapasitas 250.000 Ton/Tahun"

Faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi adalah :

### 1. Suhu

Semakin tinggi suhu, maka harga k akan semakin besar sehingga reaksi berjalan semakin cepat.

### 2. Katalis

Adanya katalis dalam reaksi akan menurunkan energi aktivasi, sehingga akan menyebabkan harga konstanta kecepatan reaksi naik, sehingga reaksi akan berjalan lebih cepat

