

BAB II STUDI KELAYAKAN AWAL

2.1 Seleksi Proses

a. Pemilihan Bahan Baku

Phthalic anhydride dapat diproduksi melalui reaksi oksidasi *o-xylene* maupun reaksi oksidasi *naphthalene*. Pada dasarnya, produksi *phthalic anhydride* baik dari oksidasi *o-xylene* maupun oksidasi *naphthalene* memiliki proses yang sama kecuali pada reaktor, *catalyst handling*, dan fasilitas yang diperlukan pada reaktor *fluidized bed*. Katalis yang digunakan untuk kedua reaksi tersebut adalah *vanadium pentoxide* (V_2O_5) dengan rentang suhu yang digunakan sekitar 300°C-400°C (Singhai, 2014).

Berikut ini perbandingan reaksi oksidasi dari *naphthalene* dan oksidasi dari *o-xylene* pada proses pembuatan *phthalic anhydride*:

Tabel 2.1 Perbandingan Proses antara *Naphthalene* dengan *O-xylene*

| | Oksidasi dari <i>naphthalene</i> | Oksidasi dari <i>o-xylene</i> |
|---|--|---|
| Rasio Umpan (udara : <i>naphthalene/o-xylene</i>) | 15:1 | 11:1 |
| <i>Yield</i> (kgPA/kg <i>naphthalene/o-xylene</i>) | 0,98 | 1,10-1,12 |
| Kondisi Operasi | Suhu 340°C-385°C, tekanan 2 atm | Suhu 300°C-400°C, tekanan 2,2 atm |
| Produk Akhir | Pemisahan produk dari <i>Maleic anhydride</i> dilanjutkan dengan pemisahan <i>naphthoquinone</i> | Pemisahan produk dari <i>Maleic anhydride</i> |
| Kemurnian Produk | 85% | 99,8% |
| Harga Bahan Baku | US\$900- \$1100/ton | US \$ 1000-\$1500/ton |

Berdasarkan tabel 2.1 diatas, dapat dilihat bahwa proses produksi menggunakan *naphthalene* maupun *o-xylene* memiliki keunggulan masing-masing dimana *naphthalene* unggul dalam sisi harga bahan baku karena lebih murah jika dibandingkan dengan *o-xylene*. Namun dari sisi *yield* dan kemurnian produk, terlihat bahwa *o-xylene* jelas lebih unggul. Singhai (2014) dalam bukunya menambahkan bahwa saat ini banyak pelaku industri *phthalic anhydride* yang

menggunakan *o-xylene* sebagai bahan baku. Hal ini dikarenakan oksidasi dengan *naphthalene* tidak hanya menghasilkan produk samping berupa *maleic anhydride*, tetapi juga menghasilkan *naphthoquinone* yang dapat digunakan sebagai untuk mensintesis turunan *anthraquinone*, sebagai zat pewarna, obat antibakteri, dan fungisida. Oleh karena menghasilkan produk samping yang lebih banyak dari oksidasi dengan *o-xylene* menyebabkan kemurnian oksidasi dengan *naphthalene* ini lebih sedikit sehingga jarang diminati. Selain itu, %*yield* yang dihasilkan *o-xylene* lebih banyak daripada *naphthalene*. Sehingga dengan mempertimbangkan *yield* dan kemurnian produk, maka dalam pembuatan *phthalic anhydride* dipilihlah bahan baku berupa *o-xylene*.

b. Pemilihan Katalis

Katalis merupakan bahan pendukung yang dapat digunakan untuk meningkatkan kecepatan reaksi. Hal ini dikarenakan ketika reaksi berlangsung maka mekanisme alternatif yaitu energi aktivasi pada tiap langkah reaksi akan lebih rendah jika dibandingkan dengan reaksi tanpa katalis. Pada umumnya konversi kesetimbangan tidak dipengaruhi oleh katalis, namun selektivitas dapat ditingkatkan dengan adanya katalis. Umumnya penurunan tekanan akan semakin besar bila diameter katalis semakin kecil. Pada reaksi heterogen gas – padat, katalis memang tidak akan berubah pada akhir reaksi. Akan tetapi, katalis tetap ikut aktif di dalam reaksi tersebut (Hill,1977). Berikut ini pertimbangan dalam pemilihan katalis:

Tabel 2.2 Pertimbangan Pemilihan Katalis

| Keterangan | V ₂ O ₅ | TiO ₂ |
|--------------|--|---|
| Aktivitas | Bekerja lebih optimal pada kondisi suhu tinggi | Kondisi operasi bekerja pada suhu yang rendah |
| Selektivitas | Luas permukaan pada partikel sebesar 10 m ² /g, untuk mengurangi efek difusi yang dapat meningkatkan waktu tinggal reaksi | Luas permukaan pada partikel berukuran 40 m ² /g, untuk meningkatkan difusifitas |
| Harga | 44,7 \$/kg | 81,8 \$/kg |

Berdasarkan tabel tersebut, maka katalis yang akan digunakan ialah katalis V_2O_5 . Pemilihan ini dikarenakan kondisi suhu pada reaktor yang digunakan ialah sebesar $340^\circ C$ sehingga sesuai dengan kinerja optimal pada katalis V_2O_5 tersebut.

c. Reaksi Oksidasi

Secara umum oksidasi merupakan reaksi dimana suatu atom atau senyawa melepaskan/kehilangan elektron sehingga elektron yang dilepaskan tersebut akan berubah muatan menjadi semakin positif. Sebaliknya, reaksi pengikatan elektron sehingga menyebabkan turunnya bilangan oksidasi disebut dengan reaksi reduksi yang mana kedua reaksi tersebut sering di dengar dengan istilah reaksi redoks. Reaksi oksidasi pada senyawa organik menyebabkan peningkatan bilangan oksidasi atau senyawa akibat dari peningkatan atom-atom pengoksidasi seperti oksigen, nitrogen, halida atau sulfat pada atom karbon. Penentuan keadaan oksidasi senyawa organik dimulai dengan anggapan mula-mula atom karbon dalam keadaan oksidasi nol. Jika terdapat atom yang muatannya lebih elektronegatif dari atom karbon dan terikat dengan atom karbon, maka akan meningkatkan keadaan oksidasi atom karbon yang pada awalnya nol menjadi positif. Namun jika yang terjadi adalah kebalikannya yaitu terdapat atom yang muatannya lebih elektropositif dari atom karbon dan terikat dengan atom karbon tersebut, maka akan mengakibatkan turunnya keadaan oksidasi atom karbon. Peristiwa ini disebut dengan reaksi reduksi senyawa organik.

Selain reaksi oksidasi dan reduksi, terdapat pula reaksi yang melibatkan zat dapat terbakar dengan gas oksigen. Reaksi ini disebut dengan reaksi pembakaran yang mana akan menghasilkan senyawa H_2O , CO , dan CO_2 . Bahan baku *o-xylene* yang direaksikan dengan oksigen pada fase cair maupun fase gas. Menurut Kirk & Othmer (2007), oksidasi *o-xylene* fase cair menghasilkan nilai konversi kisaran 80%-90%. Hanya saja jika dalam membangun suatu industri menggunakan oksidasi *o-xylene* berfase cair, maka akan membutuhkan *capital cost* yang tinggi karena dibutuhkan unit logam dalam jumlah besar. Di sisi lain, penggunaan *o-xylene* fase uap hanya menghasilkan konversi sebesar 65%. Jika *o-xylene* direaksikan dengan oksigen akan menghasilkan produk berupa *Phthalic anhydride* dengan reaksi utama sebagai berikut :



dan terdapat pula reaksi samping yang terbentuk sebagai berikut :

- 1) $C_8H_4O_3 + (\frac{15}{2})O_2 \rightarrow 8CO_2 + 2H_2O$
- 2) $C_8H_{10} + 10O_2 \rightarrow 8CO_2 + 5H_2O$
- 3) $C_8H_{10} + (\frac{15}{2})O_2 \rightarrow C_4H_2O_3 + 4H_2O + 4CO_2$
- 4) $C_4H_2O_3 + 3O_2 \rightarrow 4CO_2 + H_2O$

2.2 Deskripsi Proses

Proses pembentukan *Phthalic anhydride* dapat dilakukan dengan beberapa tahap dimana tahap pertama ialah pengolahan bahan baku yaitu memasukkan *o-xylene* dari tangki penyimpanan ke *mixer 1* pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Setelah itu dipompa ke *vaporizer* untuk menguapkan *o-xylene* pada suhu 144,6°C yang kemudian dialirkan ke *flash drum 1* untuk memisahkan antara *o-xylene* gas dengan *o-xylene* cair. *o-xylene* cair atau *o-xylene* yang tidak teruapkan akan dialirkan kembali menuju *mixer 1* untuk mencampurkan kembali *o-xylene* yang tidak teruapkan dengan *o-xylene fresh feed*, sedangkan *o-xylene* gas dialirkan ke *furnace* bersamaan dengan udara yang diambil langsung dari lingkungan untuk menaikkan suhunya menjadi 340°C.

Tahap selanjutnya atau tahap kedua ialah tahap oksidasi yang berlangsung di dalam reaktor. Udara dan *o-xylene* yang telah dinaikkan suhunya dicampur dalam *mixer 2* yang selanjutnya di masukkan ke dalam reaktor *fixed bed multitube*. Penggunaan reaktor *fixed bed multitube* ini mengacu pada reaksi pembentukan *phthalic anhydride* yang berjalan secara eksotermis sehingga reaktor ini tepat digunakan karena memiliki luas perpindahan panas yang besar. Selain itu, penggunaan jenis reaktor ini tidak memerlukan perlengkapan bantu yang banyak dan pengendalian suhu reaktor relatif lebih murah karena menggunakan tipe *shell and tube*. Di reaktor ini terjadi reaksi oksidasi *o-xylene* dengan bantuan katalis *vanadium pentoxide* (V_2O_5) pada suhu 340°C dan tekanan 2,2 bar. Keluaran dari reaktor akan menghasilkan produk utama berupa *phthalic anhydride* dan produk samping *maleic anhydride*. Selain itu, ada pula *o-xylene*, udara, dan karbon dioksida yang keluar dari reaktor. Produk-produk tersebut di alirkan menuju kondensor untuk menurunkan suhu ke 178,6°C.

Tahap ketiga ialah tahap pemisahan dimana produk yang suhunya telah menurun, akan dialirkan menuju *flash drum 2* yang bertujuan untuk memisahkan antara gas dan liquid dengan cara mengubah *o-xylene*, *maleic anhydride*, serta *phthalic anhydride* menjadi fase liquid. Kemudian dilanjutkan dengan tahap pemurnian didalam distilasi yang digunakan untuk memisahkan *phthalic anhydride* dengan komponen lainnya. Tahap ini ditandai dengan dialirkannya produk dari *flash drum 2* menuju distilasi 1 untuk memisahkan fase gas berupa udara di aliran atas dengan fase liquid berupa *o-xylene*, *maleic anhydride*, dan *phthalic anhydride* di aliran bawah. Selanjutnya *o-xylene*, *maleic anhydride*, dan *phthalic anhydride* yang telah terpisah dengan udara dialirkan ke distilasi 2 untuk memisahkan *o-xylene* di aliran atas dengan *maleic anhydride* dan *phthalic anhydride* di aliran bawah. Lalu hasil bawah menara distilasi 2 dialirkan menuju distilasi 3 untuk memisahkan campuran tersebut sehingga diperoleh aliran atas berupa *maleic anhydride* dan aliran bawah *phthalic anhydride*. Selanjutnya campuran antara *maleic anhydride* dan *phthalic anhydride* dialirkan ke distilasi 3 untuk memisahkan keduanya.

Tahap selanjutnya ialah tahap terakhir yang merupakan tahap pematatan, dimana produk akhir berupa *phthalic anhydride* dan *maleic anhydride* masing-masing dimasukkan ke dalam *prilling Tower* untuk mengubah fase liquid menjadi solid yang kemudian dimasukkan ke tangki penyimpanan sebelum dipasarkan.

2.3 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

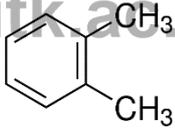
a. Bahan Baku Utama

Bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan *phthalic anhydride* atau yang selanjutnya bisa disebut dengan PA adalah *o-xylene* dan udara. PA diperoleh dari proses oksidasi fase uap katalitik dari *o-xylene* dengan menggunakan reaktor *fixed bed multitube*. Berikut ini terdapat spesifikasi dari *o-xylene* dan udara yang digunakan:

Tabel 2.3 Spesifikasi *O-xylene*

| Sifat | Keterangan |
|---------------|-------------|
| Rumus Molekul | C_8H_{10} |

www.itk.ac.id

| | |
|-------------------------|---|
| Struktur Bangun |  |
| Berat Molekul | 106,17 gr/mol |
| Bentuk Fisik | Cair |
| Titik Didih | 129°C |
| <i>Specific Gravity</i> | 0,7894 |
| Kemurnian | Min. 98% Berat |
| Kapasitas Produksi | 100.000 ton/tahun |
| Supplier | PT. Trans Pasific Petrochemical Indotama, Tuban |
| Harga | 1 – 1,5 USD/kg |

(Kirk & Othmer, 1998)

Tabel 2.4 Spesifikasi Udara

| Sifat | Keterangan |
|---------------|--------------------------|
| Berat Molekul | 28,85 |
| Bentuk Fisik | Gas |
| Warna | Tidak Berwarna |
| Titik Didih | -194,5°C |
| Densitas | 1,2928 kg/m ³ |

(Perry, 1997)

Tabel 2.5 Komposisi Udara

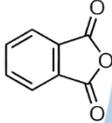
| Komponen | Komposisi (% mol maks.) |
|----------|-------------------------|
| Nitrogen | 79% |
| Oksigen | 21% |

(Al-Haraz, 2014)

b. Produk Utama www.itk.ac.id

Produk utamayang diinginkan ialah *Phthalic anhydride* (PA) dengan kemurnian lebih dari 98%. Berikut ini merupakan spesifikasi dari PA:

Tabel 2.6 Spesifikasi *Phthalic anhydride*

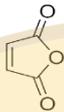
| Sifat | Keterangan |
|-------------------------|---|
| Rumus Molekul | $C_8H_4O_3$ |
| Struktur Bangun |  |
| Berat Molekul | 148,12 gr/mol |
| Bentuk Fisik | Padat |
| Warna | Tidak Berwarna |
| Titik Didih | 284°C |
| Densitas | 1,527 gr/cm ³ |
| <i>Specific Gravity</i> | 1,527 |
| Kemurnian | 99,8% |
| Harga | 1,5 – 3,2 USD/kg |

(Kirk & Othmer, 1998)

c. Produk Samping

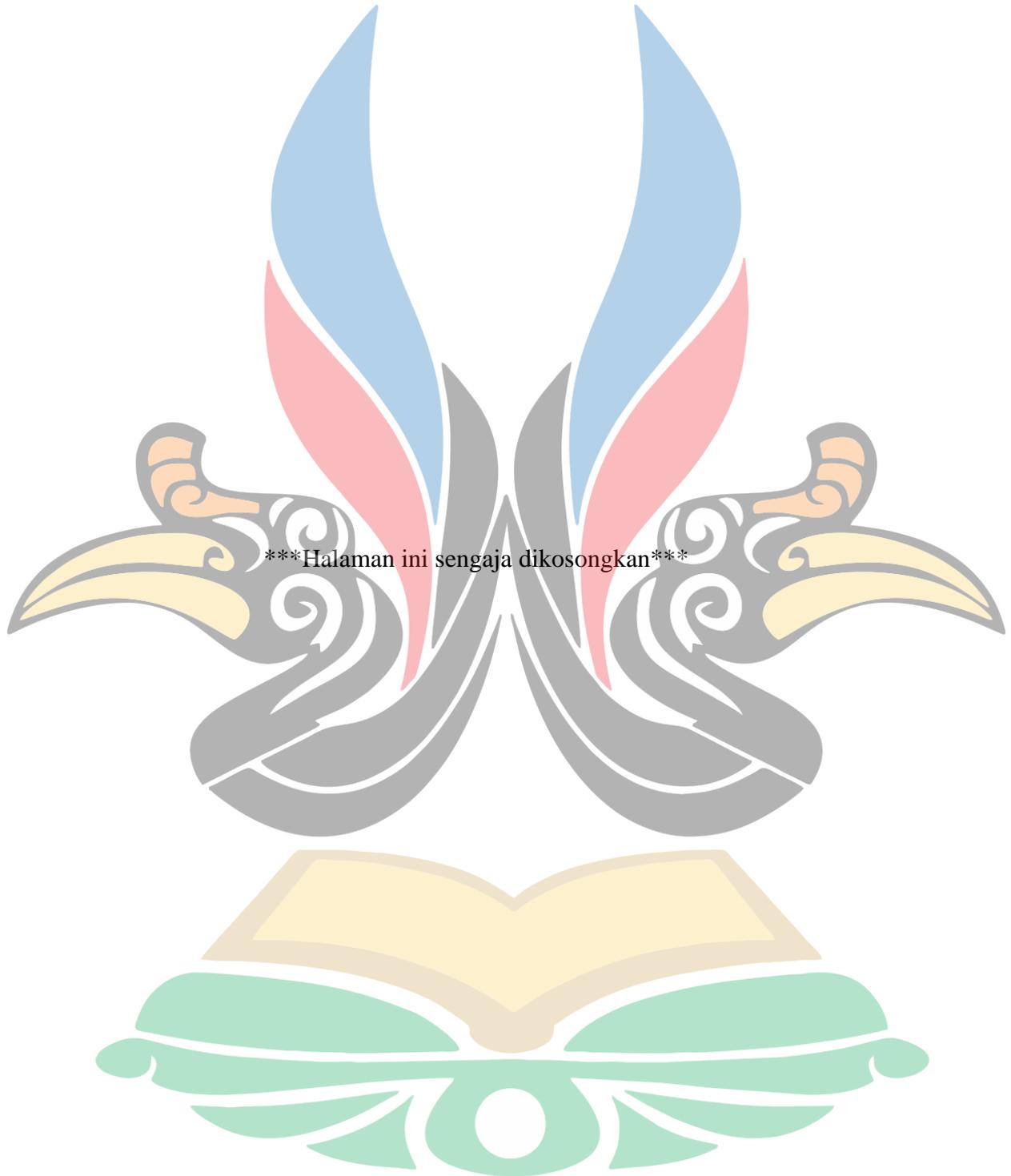
Selain PA, juga akan menghasilkan produk samping berupa *Maleic anhydride* yang disebut dengan MA. Spesifikasi dari MA seperti berikut

Tabel 2.7 Spesifikasi *Maleic Anhydride*

| Sifat | Keterangan |
|-----------------|---|
| Rumus Molekul | $C_4H_2O_3$ |
| Struktur Bangun |  |
| Berat Molekul | 98 |
| Bentuk Fisik | Padat |
| Warna | Tidak Berwarna |
| | |
| | |
| Sifat | Keterangan |
| Titik Didih | 208°C |
| Densitas | 1,48 gr/cm ³ |
| Kemurnian | 96% |
| Harga | 1,72 – 3,6 USD/kg |

(Kirk & Othmer, 1998)

www.itk.ac.id



Halaman ini sengaja dikosongkan

www.itk.ac.id