

BAB II
STUDI KELAYAKAN AWAL

2.1 Seleksi Proses

Pembuatan Metil Etil Keton dapat dilakukan melalui beberapa proses sebagai berikut.

2.1.1 Sintesis Metil Etil Keton

Umumnya, sintesis MEK dilakukan melalui reaksi dehidrogenasi 2-butanol, oksidasi n-butana fase cair, dan oksidasi langsung n-butena. Deskripsi dari masing-masing reaksi tersebut adalah sebagai berikut.

1) Dehidrogenasi Katalitik 2-Butanol

Proses sintesis metil etil keton dengan dehidrogenasi 2-butanol atau *secondary butyl alcohol* (SBA) merupakan reaksi endotermis yang dilakukan pada fase gas dengan reaksi yang terjadi ditunjukkan oleh persamaan (2.1) berikut.



Proses ini dimulai dengan memanaskan uap SBA terlebih dahulu. Kemudian, SBA dimasukkan ke dalam reaktor yang mengandung katalis. Katalis yang biasa digunakan berupa ZnO atau brass di mana suhu reaktor diatur pada 250 – 550°C dan tekanan 1 – 4 atm. Produk gas dari reaksi tersebut kemudian dikondensasi dan dilanjutkan ke tahap purifikasi. Hasil utama dari proses ini yaitu MEK dengan yield 85 – 98 dari SBA (EPA, 1994).

2) Oksidasi n-Butana Fase Cair

Proses pembentukan MEK melalui oksidasi n-butana fase cair merupakan hasil samping dari sintesis asam asetat. Pada awalnya, n-butana dan udara kompres atau oksigen dimasukkan ke dalam reaktor dengan bantuan katalis berupa kobalt, magnesium, atau kromium asetat. Reaksi ini akan membentuk asam asetat sebagai produk utama, MEK, dan produk samping lainnya seperti ethanol, etil asetat, asam format, dan asam propionat. Proses oksidasi n-butana fase cair dinyatakan oleh persamaan reaksi (2.2) berikut.

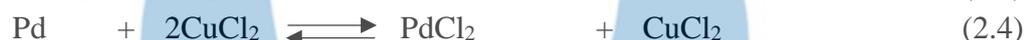


Umumnya, proses ini berlangsung pada suhu operasi 150 - 225 °C dan tekanan 53– 65 atm. Proses kontinyu dengan *plug flow reactor* dapat menghasilkan MEK dan asam asetat pada rasio massa 3:1. Sementara itu, proses *batch* akan menghasilkan rasio massa MEK dan asam asetat sebesar 0,4:1 (Kirk & Othmer, 1995). Kelemahan dari proses oksidasi fase cair yaitu terjadinya

korosi sebagai akibat dari proses oksidasi sehingga peralatan prosesnya perlu ditangani secara khusus (EPA, 1994).

3) Oksidasi Langsung n-Butena

Proses ini berlangsung dengan mengalirkan oksigen ke n-butena fase gas dengan bantuan katalis PdCl₂/2CuCl₂. Proses ini menggunakan mekanisme reaksi redoks sehingga katalis yang digunakan akan terbentuk kembali melalui oksidasi. Reaksi yang terjadi pada proses oksidasi langsung n-Butena seperti ditunjukkan oleh persamaan-persamaan di bawah ini.



Proses yang dikenal dengan Hoecsht-Wacker ini beroperasi pada kondisi kisaran 85 °C dan tekanan 7 atm. Kelebihan dari proses ini yaitu membutuhkan energi yang rendah sehingga lebih ekonomis dari segi investasi modal. Akan tetapi jika ditinjau secara komersial, proses ini dianggap tidak baik karena akan membentuk banyak produk samping seperti butiraldehid, butanon terklorinasi, dan karbon dioksida. Banyaknya produk samping yang dihasilkan akan menurunkan yield MEK. Selain itu, proses ini juga cukup sulit dalam tahap purifikasi produknya (EPA, 1994).

Secara umum, perbandingan ketiga proses sintesis di atas dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Metode Sintetis MEK

Kriteria	Dehidrogenasi 2-Butanol	Oksidasi n-Butana Fase Cair	Oksidasi Langsung n-Butena
Bahan Baku	Sec-Butil Alkohol	n-Butana	n-Butena
Kondisi Operasi	T : 250 – 550 °C P : 1 – 4 atm	T : 150 - 225 °C P : 53 - 65 atm	T : 85 °C P : 7 atm
Katalisator	Tembaga oksida, seng oksida, atau perunggu oksida	Kobalt, magnesium, atau kromium asetat	Oksigen dan katalis asam
Konversi	85 - 98%		86%
Produk Utama	Metil etil keton	Asam asetat	Metil etil keton
Produk Samping	Hidrogen	MEK, ethanol, etil asetat, asam format, dan asam propionat	butiraldehid, butanon terklorinasi, dan karbon dioksida

Berdasarkan perbandingan di atas, maka metode yang dipilih untuk melakukan sintesis MEK adalah Dehidrogenasi Sec-Butil Alkohol dengan pertimbangan sebagai berikut.

- MEK merupakan produk utama sehingga kapasitasnya akan lebih besar dibandingkan kedua metode lainnya.
- Tidak terjadi reaksi samping sehingga proses purifikasi produk dapat lebih mudah dan ekonomis.
- Kondisi operasi relatif rendah (1 – 4 atm) dibandingkan metode lainnya.
- Konversi yang dihasilkan dapat mencapai hingga 98%.
- Proses tidak bersifat korosif sehingga peralatan proses tidak memerlukan penanganan khusus dan dapat menggunakan bahan konstruksi dari baja.

Pada proses Dehidrogenasi SBA, umumnya katalis yang digunakan adalah oksida logam di mana ZnO dipilih karena tidak memiliki kemampuan katalitik tambahan yang dapat mengurai keton menjadi olefin dan oksida karbon sebagaimana katalis oksida logam lainnya (Perona, 1957). ZnO merupakan katalis heterogen yang umum digunakan karena tidak bersifat korosif, lebih mudah untuk dipisahkan dari produk, serta cocok digunakan pada reaksi dengan suhu tinggi (*highly endothermic*).

2.1.2 Separasi Metil Etil Keton

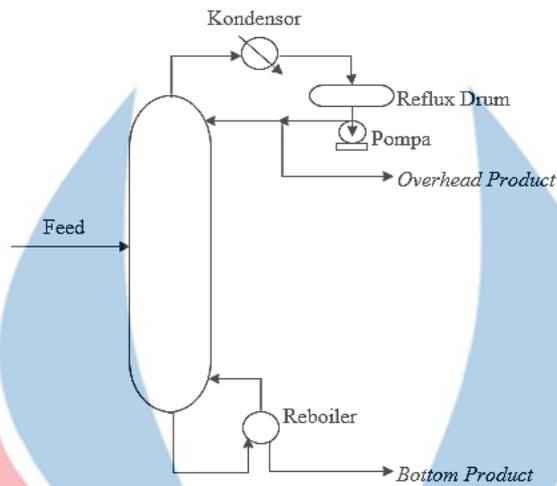
Proses pemisahan MEK dapat dilakukan melalui beberapa metode distilasi berikut ini.

1) *Conventional Distillation*

Distilasi merupakan metode pemisahan bahan kimia yang didasarkan pada perbedaan volatilitas bahan kimia tersebut. Bahan yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap terlebih dahulu, sedangkan bahan dengan titik didih yang lebih tinggi akan mengembun dan nantinya menguap bila telah mencapai titik didih bahan tersebut. Metode ini merupakan unit operasi kimia jenis perpindahan massa yang didasarkan pada prinsip bahwa masing-masing komponen dalam suatu larutan akan menguap pada titik didihnya (Treybal).

Pada dasarnya, kolom distilasi dibagi menjadi 3 *section* yaitu *feed stage*, *rectification section*, dan *stripping section*. *Feed stage* merupakan *section* di mana aliran umpan masuk ke dalam kolom distilasi. *Rectification section* merupakan bagian di atas *feed stage* yang berfungsi sebagai pengayaan fraksi ringan yang distilat. *Stripping section* merupakan bagian di bawah *feed stage* yang berfungsi sebagai tempat terjadinya pelepasan fraksi ringan sebagai produk bawah distilasi. Pada distilasi sederhana, proses pemisahan tidak memerlukan tambahan berupa

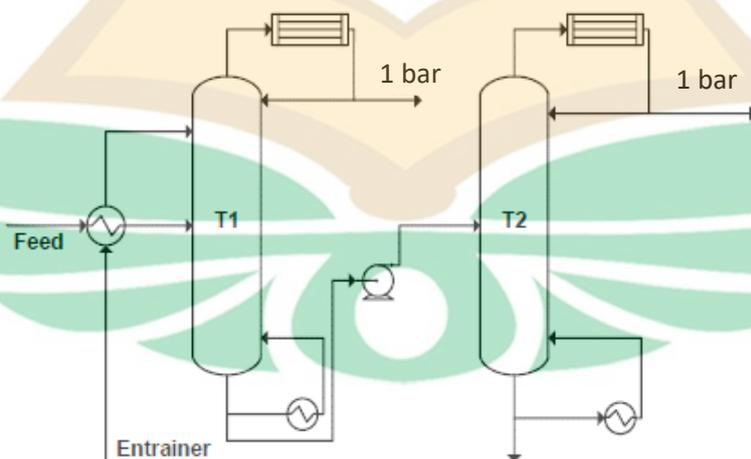
pelarut sehingga lebih ekonomis dibandingkan metode distilasi lainnya. Untuk lebih jelasnya, skema distilasi konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Skema *Conventional Distillation*

2) *Extractive Distillation*

Extractive distillation (ED) dikenal sebagai teknologi yang efisien dalam pemisahan campuran kompleks dengan penambahan pelarut pada bagian atas kolom yang akan mengubah koefisien aktivitas di fase cair untuk meningkatkan volatilitas relatif (Zhu dkk, 2017). Umumnya, ED terdiri dari 2 kolom dengan tekanan yang sama yaitu *extractive column* (EC) dan *recovery column* (RC). Ada beberapa faktor yang sangat berpengaruh pada ED seperti jumlah *entrainer*, rasio refluks (RR), dan jumlah *stage* yang ideal (Yang dkk, 2017). Pada dasarnya, proses pemisahan menggunakan distilasi ekstraktif dianggap kurang ekonomis karena membutuhkan biaya tambahan untuk pengadaan pelarut. Distilasi jenis ini cocok digunakan untuk memisahkan campuran azeotrop yang tidak mampu dipisahkan secara maksimal oleh distilasi konvensional. Untuk lebih jelasnya, skema distilasi ekstraktif dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.

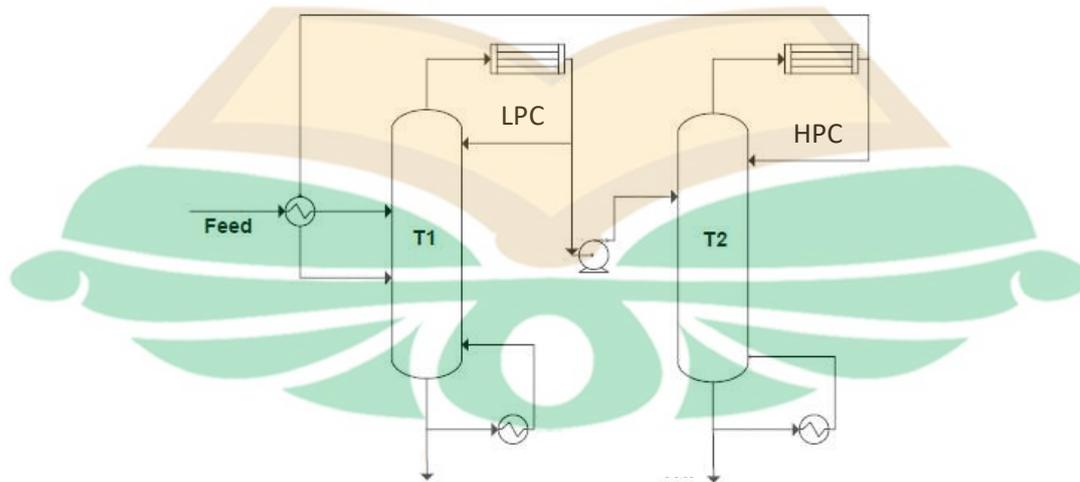


Gambar 2. 2 Skema *Extractive Distillation*

Extractive distillation menggunakan pelarut dengan titik didih yang tinggi dalam jumlah yang besar untuk mengubah koefisien aktifitas fase cair. Jika umpan adalah azeotrop dengan titik didih minimum, maka pelarut yang ditambahkan memiliki volatilitas yang lebih rendah daripada komponen utama campuran umpan. Pelarut tersebut ditambahkan ke tray yang letaknya hanya beberapa tray dibawah *top* kolom sehingga *entrainer* mengalir ke bawah dan hanya sedikit *entrainer* yang hilang menjadi uap. Jika umpan merupakan azeotrop maksimal, maka pelarut masuk kedalam kolom bersama dengan umpan. Komponen dalam umpan harus memiliki sifat pelarut yang berbeda sehingga pelarut membuat volatilitas relatif komponen utama mengalami peningkatan (Seader dkk, 2011).

3) *Pressure Swing Distillation*

Pressure-swing distillation (PSD) adalah proses pemisahan yang menggunakan dua kolom distilasi biasa dan beroperasi secara seri pada tekanan yang berbeda (Seader dkk, 2011). PSD merupakan metode distilasi yang didasarkan pada perbedaan tekanan dari 2 kolom yang disebut *low pressure column* (LPC) dan *high pressure column* (HPC). Prinsip PSD yaitu ketika campuran menyimpang dari Hukum Raoult. Kemudian, azeotropik dapat digeser atau diubah dengan menyesuaikan tekanan. Pada saat yang sama, tinggi kemurnian produk dapat diperoleh dari atas dan bawah kolom distilasi (Gao dkk, 2017). Pada dasarnya, distilasi dengan prinsip perbedaan tekanan ini dinilai cukup efisien untuk menghasilkan kemurnian zat yang tinggi. Akan tetapi, jika dibandingkan dengan distilasi konvensional maka jenis distilasi ini kurang ekonomis karena membutuhkan 2 kolom distilasi dengan tekanan berbeda. Sementara itu, produk MEK yang dibutuhkan oleh pasar umumnya tidak terlalu murni sehingga distilasi jenis ini dianggap kurang efektif dalam proses pemisahan MEK. Untuk lebih jelasnya, skema distilasi ini dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut.



Gambar 2. 3 Skema *Pressure Swing Distillation*

Secara umum, perbandingan ketiga metode separasi di atas dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Perbandingan Metode Separasi MEK

Kriteria	<i>Coventional Distillation</i>	<i>Extractive Distillation</i>	<i>Pressure Swing Distillation</i>
Jumlah Kolom	1	2	2
Tekanan Operasi	1 atm	1 atm	1 – 4 atm
Pelarut	-	Membutuhkan pelarut tambahan	-
Kemurnian Produk	99,95%	99,99%	99,99%

Berdasarkan perbandingan di atas, maka metode yang dipilih untuk melakukan separasi MEK adalah *conventional distillation* dengan pertimbangan sebagai berikut.

- Produk MEK yang dibutuhkan oleh pasar tidak memerlukan kemurnian yang sangat tinggi.
- Proses pemisahan dilakukan pada tekanan 1 atm.
- Distilasi sederhana tidak membutuhkan tambahan pelarut dalam proses pemisahan bahan.
- Distilasi hanya memerlukan satu kolom sehingga biaya lebih ekonomis.

2.2 Deskripsi Proses

Proses pembuatan Metil Etil Keton melalui reaksi Dehidrogenasi 2-Butanol dapat dijabarkan sebagai berikut.

2.2.1 Preparasi Bahan Baku

Pembuatan MEK menggunakan bahan baku berupa 2-butanol atau yang kerap dikenal dengan SBA (Sec-Butil Alkohol). Umumnya, bahan baku yang digunakan mengandung fraksi massa SBA 99,5% dan 0,5% H₂O. SBA dari tangki penyimpanan akan dialirkan ke dalam vaporizer untuk mengubah fase liquid menjadi fase gas. Selanjutnya, keluaran vaporizer dialirkan ke kompresor untuk mempersiapkan umpan sebelum masuk reaktor.

2.2.2 Sintesis Metil Etil Keton

Sintesis MEK berlangsung secara endotermis pada reaktor *fixed bed multitube* dengan bantuan katalis ZnO. Reaktor ini berada pada kondisi operasi temperatur 260 °C dan tekanan 3 bar. Konversi dari proses ini dapat mencapai hingga 98%. Produk keluaran reaktor berupa MEK, SBA, H₂, dan H₂O kemudian dikondensasi sebelum dialirkan ke unit separator.

2.2.3 Separasi Produk

Setelah dikondensasi, campuran gas kemudian dialirkan ke dalam flash drum. Flash drum berfungsi untuk memisahkan gas H₂ sebagai produk atas dari campuran lainnya. Selanjutnya, produk bawah dari flash drum dipanaskan menggunakan *heater* sebelum masuk ke menara distilasi. Separasi MEK dilakukan menggunakan menara distilasi dengan kondisi operasi tekanan 1 atm dan temperatur 82,67 °C. Tujuan akhir dari proses ini adalah menghasilkan MEK dengan kemurnian 99,95%. Sementara itu, sisa SBA yang tidak bereaksi dapat dijual secara komersil untuk meningkatkan nilai ekonomi pabrik.

2.3 Spesifikasi Bahan Baku dan Produk

2.3.1 Bahan Baku

❖ 2-Butanol

Rumus Kimia	: CH ₃ CH(OH)CH ₂ CH ₃ atau C ₄ H ₉ OH
Sinonim	: <i>Secondary Butyl Alcohol (SBA)</i>
Kemurnian	: 99,5 %
Impuritas	: H ₂ O : 0,5 %
Densitas (30 °C)	: 329,08 kg/m ³
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Distributor	: Hebei Yanxi Chemical China
Kapasitas produksi	: 10.000 ton/bulan
Spesifikasi	: 160 kg/drum
Harga Beli	: US\$1.200/ton (hbyanxi.en.made-in-china.com)

❖ Seng Oksida

Rumus Kimia	: ZnO
Grade	: 99,5 %
Komposisi	: Zn : 80,34%; O : 19,66%
pH (25 °C)	: 7,37
Warna	: Putih kekuningan
Distributor	: PT Indoxide Surabaya
Spesifikasi	: 500 kg/jumbo bag
Harga Beli	: US\$2.900/ton (data.un.org)

2.3.2 Produk

❖ 2-Butanon

www.itk.ac.id

Rumus Kimia	: $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$ atau $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$
Sinonim	: Metil Etil Keton (MEK)
Berat Molekul	: 72,10 g/mol
Kemurnian	: 99,95 %
Impuritas	: H_2O : 0,001 %
Titik Didih (1 atm)	: 79,64 °C
Spesific Grafity	: 0,81
Densitas (30 °C)	: 329,19 kg/m ³
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Kapasitas produksi	: 3.333 ton/bulan
Spesifikasi	: 160 kg/drum
Harga Jual	: US\$1.800/ton (data.un.org)

❖ 2-Butanol

Rumus Kimia	: $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}_3$ atau $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$
Sinonim	: <i>Secondary Butyl Alcohol</i> (SBA)
Kemurnian	: 98,5 %
Impuritas	: H_2O : 1,4 %
Densitas (30 °C)	: 329,84 kg/m ³
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Kapasitas produksi	: 1.992 ton/bulan
Spesifikasi	: 160 kg/drum
Harga Jual	: US\$1.150/ton (data.un.org)

www.itk.ac.id