

**PRARANCANGAN PABRIK DIMETIL TEREFTALAT
DARI ASAM TEREFTALAT DAN METANOL
DENGAN KATALIS ALUMINA AKTIF
KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**

NASKAH PUBLIKASI



Oleh :

Wahyu Hapsariningsih

D 500 100 052

Dosen Pembimbing :

1. Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.
2. Ir. Herry Purnama, M.T., Ph.D.

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2014

HALAMAN PENGESAHAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

Nama : Wahyu Hapsariningsih
NIM : D 500100 052
Judul Tugas Perancangan Pabrik : Prarancangan Pabrik Dimetil Tereftalat
dari Asam Tereftalat dan Metanol
dengan Katalis Alumina Aktif
Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Surakarta, 10 September 2014

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK. 892



Ir. Herry Purnama, M.T., Ph.D.

NIK. 664

Mengetahui,




Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D.

NIK. 682




Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIK. 892

PRARANCANGAN PABRIK DIMETIL TEREFTALAT DARI ASAM TEREFTALAT DAN
METANOL DENGAN KATALIS ALUMINA AKTIF KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN

WAHYU HAPSARININGSIH D500100052

FAKULTAS : Teknik

abstrak

Prarancangan Pabrik Dimetil Tereftalat (DMT) dengan luas area sebesar 48.732 m² direncanakan akan dibangun pada tahun 2014. Di kawasan industri Cilegon Banten yang berdekatan dengan PT Mitshubishi Chemical Indonesia sebagai penyedia bahan baku serta pemasaran DMT sendiri. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 100.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat memenuhi akan kebutuhan dalam negeri maupun luar negeri.

Bahan baku yang dipakai adalah asam tereftalat (AT) sebanyak 10937,7 kg/jam dan metanol sebanyak 4519,1 kg/jam dengan menggunakan alumina aktif sebagai katalisnya. Reaksi yang berlangsung secara *eksotermis*, *adiabatis*, *irreversible* dengan menggunakan reaktor fixed bed dengan kondisi tekanan masuk 1,55 atm dan keluar reaktor 1,5 atm dengan suhu 324-330 °C. Untuk menunjang proses produksi, maka pemenuhan utilitas air menggunakan air sungai Cidanau.

Pabrik DMT ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *line and staff*. Dengan jumlah karyawan 100 orang dimana sistem kerja karyawan berdasarkan pembagian menurut jam kerja yang terdiri dari karyawan shift dan non shift.

Dari analisis ekonomi terhadap pabrik DMT ini, menunjukan keuntungan sebelum pajak Rp 3.426.999.604.185 pertahun, setelah dipotong pajak 30 % keuntungan mencapai Rp 2.398.899.722.930 pertahun. *Return of investment* (ROI) sebelum pajak 63,2% dan setelah pajak 44,2%. *Pay out time* (POT) sebelum pajak adalah 1,4 tahun dan setelah pajak 1,8 tahun . *Break event point* (BEP) sebesar 42,1% dan *shut down point* (SDP) sebesar 30,2%. Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan, pabrik ini menguntungkan dan layak untuk didirikan.

Kata Kunci : Dimetil tereftalat, Asam tereftalat, Metanol, Alumina Aktif

I. Pendahuluan

Latar belakang dan tujuan

Negara Indonesia merupakan negara yang berkembang dan melaksanakan banyak pembangunan di berbagai sektor, salah satunya adalah sektor Industri. Industri kimia adalah contoh dari sektor industri yang sedang dikembangkan di Indonesia, dan diharapkan mampu memberikan suatu kontribusi yang besar bagi pendapatan negara. Namun pelaksanaannya banyak bahan baku yang digunakan masih tergantung pada impor luar negeri yang cukup besar dibandingkan dengan eksportnya.

Salah satu usaha untuk mengatasi ketergantungan pada impor tersebut yakni dengan mendirikan pabrik untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Indonesia merupakan negara yang kaya akan sumber daya alamnya, sehingga diharapkan banyak didirikan industri pembuat bahan dasar yang nantinya dapat mengatasi ketergantungan impor luar negeri. Industri bahan dasar ini diharapkan dapat menambah devisa negara, membantu menyerap tenaga kerja sehingga mampu mengurangi angka pengangguran serta kemiskinan.

Industri polimer, merupakan salah satu industri yang berkembang pesat di Indonesia, dimana menghasilkan bahan-bahan polimer untuk kebutuhan alat-alat rumah tangga, pakaian dan lain-lain. Salah satu bahan dasar yang dibutuhkan pada industri polimer adalah dimetil tereftalat (DMT), dengan rumus molekul $C_6H_4(COOCH_3)_2$. DMT adalah dimetil ester dari asam tereftalat (AT), dengan rumus molekul $p-C_6H_4(COOH)_2$.

Peningkatan kebutuhan DMT dapat dilihat dari meningkatnya impor DMT setiap tahunnya. Pada tahun 2012 kebutuhan DMT mencapai 22.576 ton/tahun (statistik, 2012). Dan akan terus meningkat dengan kenaikan 20,54% setiap tahunnya. Hal ini disebabkan dari meningkatnya jumlah permintaan plastik, tekstil dan serat sintetis. Kebutuhan DMT tersebut semuanya dipenuhi dari impor luar negeri, karena bahan dasar DMT ini belum diproduksi di dalam negeri.

II. Tinjauan Pustaka

2.1. Pemilihan proses

Secara garis besar proses pembuatan Dimetil Tereftalat (DMT) dapat diklarifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu :

1. Proses pembuatan dimetil tereftalat (DMT) dengan bahan baku utama dari p-xylene dan metanol dengan katalis cobalt. Proses ini dikenal dengan Dynamit-Nobel atau proses Witten-Hercules.
2. Proses pembuatan dimetil tereftalat (DMT) dari bahan baku utama asam tereftalat (AT) dan metanol dengan bantuan katalis. Proses ini dikenal dengan proses esterifikasi.

2.1.1. Proses witten-hercules

Proses ini adalah reaksi pembuatan DMT tanpa memproduksi polimer grade AT (PTA) terlebih dahulu. Proses ini menghasilkan asam toluik dengan mengoksidasi p-xylene menggunakan katalis cobalt pada suhu 300°F (149°C) dan tekanan 100 psia yang menggunakan udara sebagai zat pengoksidasi. Asam toluik diesterifikasi dengan metanol menghasilkan metil toluate. Metil toluate dioksidasi dengan katalis cobalt menjadi mono metil tereftalat. Kondisi reaksi berlangsung pada suhu 400°F (205°C) dan tekanan 200-300 psia. Selanjutnya mono metil tereftalat diesterifikasi dengan metanol berlebih membentuk dimetil tereftalat dan diperoleh konversi sebesar 87%.

Proses Witten-Hercules ini lebih rumit karena adanya lebih dari satu tahapan reaksi dan mempunyai kondisi operasi yang berbeda-beda. Sehingga peralatan yang digunakan akan lebih banyak dan kompleks, sehingga mengakibatkan biaya peralatan maupun biaya prosesnya akan lebih mahal.

Proses yang kedua adalah proses esterifikasi. Ada beberapa proses esterifikasi yang telah dikembangkan, yaitu :

2.1.2. Esterifikasi AT dan Metanol dalam fase cair dengan menggunakan katalis asam sulfat (Ketta Mc and Cunningham, 1982).

Proses ini diawali dengan pencampuran bahan baku dalam *mixer*, lalu dimasukkan pada reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) pada kondisi suhu 250-300°C dan tekanan 15 atm, dimana metanol dibuat berlebih. Untuk mempercepat reaksi digunakan katalis asam sulfat dan diperoleh konversi sebesar 98%. Produk yang keluar dari reaktor dimurnikan terlebih dahulu dengan serangkaian alat, yakni menara distilasi serta merecycle sisa reaktan ke dalam *mixer*. Selanjutnya produk yang mempunyai kemurnian tinggi diambil sebagai hasil atas menara distilasi, kemudian di kristalisasi dengan menggunakan kriztalizer dan kristal basah dikeringkan pada *rotary dryer*.

Reaksi esterifikasi ini berlangsung pada tekanan yang tinggi dan lama sehingga ester yang terbentuk banyak terurai akibat dari panas sehingga dibutuhkan pemurnian yang khusus dalam memisahkan produk dengan katalis.

2.1.3. Esterifikasi AT dan Metanol dalam fase gas dengan menggunakan katalis alumina aktif

Reaksi ini berlangsung pada reaktor fixed bed dalam fase gas dengan menggunakan katalis alumina aktif (Alumina A + 1% KOH), reaksi ini berlangsung pada suhu 300-330°C dengan tekanan 1 atm, dan diperoleh konversi sebesar 96-99% (US.Patent 3.377.376 dan US.Patent 3.972.912)

Proses ini sering dipakai karena lebih ekonomis dan banyak dikembangkan secara komersial, selain itu keuntungan dari proses ini adalah pemakaian katalis alumina aktif dapat menekan seminim mungkin terbentuknya hasil samping monoetil tereftalat. AT yang tidak teresterifikasi bisa di desublimasi dan di *recycle* kembali ke reaktor. DMT beserta produk lainnya kemudian diembunkan dan dipisahkan dari metanol dengan kristalisasi.

2.1.4. Esterifikasi AT dan Metanol dengan menggunakan katalis silica gel

Reaksi ini berlangsung pada suhu 200-300°C dan tekanan 1 atm pada suatu reaktor fluidisasi (*fluidized bed*) yang berisi AT serta katalis silica gel, sedangkan uap untuk metanolnya dialirkan di bagian bawah reaktor. Keuntungan dari proses ini adalah waktu reaksi yang cukup cepat dan proses kontinyu dapat dijalankan pada tekanan atmosfer. Namun proses ini juga memiliki kekurangan yakni pada pengontrolan maupun pengoperasian reaktor fluidisasi cukup susah dan rumit.

2.2. Kegunaan produk

Di Industri, DMT merupakan bahan dasar dalam pembuatan polietilen tereftalat (PET) dan polibutilen tereftalat (PBT). PET dan PBT sendiri dapat digunakan dalam pembuatan serta poliester, film poliester dan resin botol. Serat poliester digunakan dalam industri tekstil, misalnya untuk membuat pakaian, kain pelapis, kawat ban, bahan gorden, kaos kaki dan ikat pinggang. Poliester film digunakan dalam *x-ray* dan *micro film*. Kegunaan DMT lainnya, dapat dijadikan botol poliester seperti pembungkus makanan atau minuman.

2.3. Sifat fisis, kimia bahan baku dan produk reaksi.

2.3.1. Bahan Baku

➤ Asam Tereftalat

Sifat Fisis :

- Rumus molekul : $p\text{-C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$
- Jenis : *Technical Grade*
- Berat molekul : 166,128 g/gmol
- Fase atau warna : Kristal berwarna putih
- Ukuran : 5-300 μm
- Kemurnian : 98,5% AT
1,5% impuritas (logam katalis Co)
- Specific gravity, 25°C : 1,510
- Triple point : 427°C
- Titik sublimasi : 303°C

Sifat kimia :

- Tidak larut dalam air, larut dalam dimetil tereftalat, dimetil formanit dan metanol.
- Bereaksi dengan metanol membentuk dimetil tereftalat
- Bereaksi dengan thianil halida membentuk tereftaloit halida.

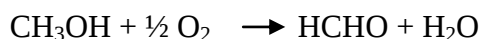
➤ Metanol

Sifat Fisis :

- Rumus molekul : CH_3OH
- Berat molekul : 32,04 gram/g.mol
- Fase atau warna : cair, tidak berbau
- Titik didih (1 atm) : $64,7^\circ\text{C}$
- Titik lebur (1atm) : $-97,68^\circ\text{C}$
- Kemurnian : 99,4% metanol dan 0,6% air
- Densitas pada 25°C : $0,78664 \text{ gram/cm}^3$
- Viskositas pada 25°C : 0,5513 cp

Sifat kimia :

- Larut dalam air, alkohol, ester dan pelarut organik lain
- Dehidrogenasi oksidatif dengan katalis silver/molybdenum oksida membentuk formaldehid.



➤ Katalis

Sifat Fisis :

- Jenis : Alumina aktif ($\pm 1\%$ KOH)
- Bentuk : *Pellet granular*
- ρ_p = densitas padatan : $1,188 \text{ gram/cm}^3$
- ϵ_p = *pore volume inside* : 0,725

$$\text{Catalyst/catalyst volume} = 1 - (\rho_b / \rho_p)$$

- ρ_b = *bulk density* : $0,3267 \text{ gram/cm}^3$
- d_p = diameter partikel : $\frac{1}{4}$ inchi
- Luas muka : $175 \text{ m}^2/\text{gram}$
- *Mean pore radius* : 45A

2.3.2. Produk

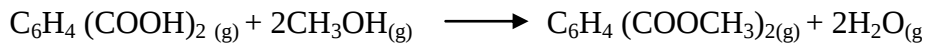
➤ Dimetil tereftalat

Sifat Fisis :

- Rumus molekul : p-C₆H₄(COOCH₃)₂
- Jenis : *Technical grade*
- Berat molekul : 194,18 gram/g.mol
- Fase/ warna : Kristal berwarna putih
- Kemurnian : 93,617% DMT
0,002% Metanol
0,048% Air
- Ukuran : 0,3-1,5 mm
- *Specific gravity*, 25°C : 1,283
- *Triple point* : 140,64°C
- Titik didih : 284°C

2.4. Tinjauan proses

Reaksi pembentukan produk dimetil tereftalat (DMT) merupakan reaksi esterifikasi. Reaksi yang terjadi adalah :



Reaksi dilakukan pada suhu 324°C dan tekanan atmosferis 1,5 atm dengan perbandingan massa metanol dan asam tereftalat 9:1, menghasilkan konversi reaktor dapat mencapai 97%. Suhu reaktor sangat terbatas maksimal 330°C karena di atas suhu 330°C akan terjadi *minor disintegration*, reaksi samping akan banyak dan problem teknik akan muncul (US Patent 3.972.912)

Pada fase gas mempunyai harga perubahan *enthalphi* standard (ΔH_f 298) adalah -0,36 kJ/mol, panas reaksi bernilai negatif sehingga dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan dimetil tereftalat (DMT) merupakan reaksi eksotermis.

III. Diskripsi Proses

Pada proses pembuatan dimetil tereftalat (DMT) dapat dibagi dalam empat tahap yaitu:

1. Tahap penyimpanan bahan baku

Bahan baku metanol cair disimpan pada tangki penyimpanan metanol pada suhu lingkungan 30 °C dan tekanan atmosferis 1 atm untuk menjaga agar metanol tetap berada pada fase cair. Sedang bahan baku untuk asam tereftalat (AT) berupa padatan kristal disimpan pada tangki penyimpanan pada suhu 30 °C dan tekanan atmosferis 1 atm.

2. Tahap penyiapan bahan baku

a. Bahan baku metanol

Bahan baku metanol cair (99,4% massa) dari tangki penyimpanan metanol (F-210) dipompakan sehingga menjadi tekanan 1,7 dan dialirkan menuju vaporizer (V-110), dimana media untuk memanaskannya adalah *Dow therm A* yang keluar dari *heat exchanger* (E-210). Uap metanol yang keluar dari vaporizer (V-110) kemudian diumpankan ke tangki separator (F-213) untuk memisahkan cairan dengan uapnya. Uap metanol yang keluar dari vaporizer (F-213) ($P=1,7$ atm, $T=97^{\circ}\text{C}$) dicampur dengan uap metanol hasil *recycle* dari menara distilasi (D-110) (99,4% massa) dengan $T= 64,86^{\circ}\text{C}$ dan tekanan dinaikkan sebesar 1,7 atm, $T=97,9^{\circ}\text{C}$ dengan menggunakan blower (G-220). Seluruh campuran dimasukkan pada *furnace* (Q-110) dengan suhu 389°C , $P=1,7$ atm.

b. Bahan baku Asam Tereftalat (AT)

Umpan AT kristal putih dari tangki penyimpanan (F-260) bersama AT *recycle* dari desublimator (B-111) lalu disublimasi menggunakan uap metanol panas dari *furnace* (Q-110) $T = 389^{\circ}\text{C}$, $P = 1,7$ atm di dalam sublimator (B-110). Hasil dari sublimasi ($T = 324^{\circ}\text{C}$, $P = 1,5$ atm) kemudian dipisahkan dari adanya logam-logam yang tidak tersublimasi menggunakan siklon (H-250). Kemudian uap metanol dan AT diumpankan pada reaktor.

3. Tahap pembentukan produk

Semua bahan baku (uap metanol maupun AT) diumpankan pada reaktor (R-110) pada kondisi suhu 324 °C dan tekanan 1,5 atm. Reaktor yang digunakan (R-110) *fixed bed* dengan kondisi *non isothermal* dan adiabatik.

Reaksi berlangsung pada fase gas, tekanannya cukup tinggi maupun suhunya. Untuk mempercepat berlangsungnya reaksi digunakan katalis. Katalis yang digunakan yaitu katalis alumina aktif A +1%KOH. Suhu keluar dari reaktor 324 °C dan tekanan 1,4 atm, suhu tidak melebihi 330°C meskipun reaksi secara eksotermis, karena apabila suhu melebihi 330°C maka diperkirakan akan terjadi *excess* metanol yang berlebih, sehingga panas *sensible* yang diperlukan untuk menaikkan suhu gas juga besar. Konversi yang bisa dicapai 97% pada suhu 334-330°C.

4. Tahap pemurnian produk

Produk yang keluar dari reaktor, yaitu DMT, air, serta sisa reaktan AT dan metanol. Bahan baku AT yang tidak ikut teresterifikasi di *recycle* di desublimasi (B-111) pada suhu 235°C. *Heat exchanger* (E-221) digunakan untuk mengurangi beban panas produk menuju desublimator (B-111), sehingga suhu akan sedikit berkurang. Hasil desublimasi (B-111) di masukkan pada bin (F-240) dan dilakukan proses sebelumnya. Kemudian produk gas di B-111 diembunkan pada kondensor (E-120) dan suhu di desain 72°C, tekanan 1 atm. Suhu 72°C yang digunakan, untuk mengembunkan agar DMT di fase gas dapat mengembun semua dan sisa gas yang tidak bisa mengembun telah bebas dari DMT, sedangkan sisa uap metanol maupun air dipurifikasi di menara distilasi (D-110). Slurry dari kondensor di kristalisasi pada cooling kristalizer (X-110) sampai suhu 10 °C. Hasil kristalisasi kemudian difiltrasi dengan *centrifuge filtration* 1 (H-140). Padatan hasil filtrasi mengandung 10% cairan metanol dan air, sedang filtrat dipompa ke menara distilasi (D-110). Kalau adanya kandungan metanol yang besar maka harus di mixer (M-120) untuk pencucian dan di centrifuge lagi, pada *centrifuge filtration* 2 (H-141). Padatan hasil filtrasi dikeringkan di *rotary dryer* (B-120), dengan suhu udara masuk 147°C dan keluar pada suhu 127°C, sedangkan

untuk filtrat gas akan dipompakan menuju menara distilasi (D-110). Udara pengering yang keluar masih mengandung sedikit metanol dan air yang kemudian diumpankan pada *flaring system* baru dibuang ke lingkungan.

Menara distilasi (D-110) bertujuan untuk merecycle sisa metanol yang tidak bereaksi dengan memperoleh hasil metanol dengan kemurnian 99,4% (% massa) pada sisi *enriching* dan membuang air hasil reaksi esterifikasi pada sisi *stripping*. Hasil atas berupa uap metanol dengan kemurnian 99,4% (% massa) sedangkan hasil bawah berupa cairan metanol. Hasil atas berupa uap metanol yang kemudian dinaikkan tekannya sampai 1,7 atm di *blower* (G-220), sedangkan untuk cairan metanolnya diolah pada UPL.

IV. Kesimpulan

Pada hasil analisis ekonomi, diperoleh nilai BEP berada pada batas minimum yang diijinkan (40-60%) yaitu sebesar 42,12%. Nilai BEP dipengaruhi oleh harga jual produk yang relatif besar dari harga bahan baku, sehingga jika selisihnya semakin besar maka akan diperoleh nilai BEP akan semakin rendah. Sebaliknya, nilai ROI akan semakin tinggi seiring dengan penurunan dari nilai BEP.

Dari hasil analisis ekonomi diperoleh :

1. *Percent Return on Investment* (ROI) setelah pajak sebesar 44,218%
2. *Pay Out Time* (POT) setelah pajak selama 1,84 tahun
3. *Break-event Point* (BEP) sebesar 42,12%
4. *Shutdown Point* (SDP) sebesar 30,20%
5. *Discounted Cash Flow* (DCF) sebesar 34,63%

Jadi, Pabrik dimetil tereftalat dari asam tereftalat dan metanol dengan katalis alumina aktif kapasitas 100.000 ton/tahun **LAYAK** untuk dipertimbangkan pendiriannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R. a. (1955). *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: Mc Graw-Hill Book Co.
- Butt, J. B. (1980). *Reaction Kinetics and Reaktor Design*. New York: Prentice-Hall, Inc.
- Ketta Mc and Cunningham, W. (1982). *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*,. New York: Marcel Decker, Inc.
- Othmer, K. (1982). *Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Vol.17*. Canada: John Wiley and Sons, Inc.
- Peter, M. a. (2003). *Plant Design and Economic for Chemical Engineers*. Tokyo: Mc Graw- Hill Book Company.
- Scott, F. H. (2006). *Element of chemical reaction engineering*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- statistik, B. p. (2012). *Data Impor-Ekspor*. Jakarta: <http://www.bps.com//>.
- Yaws, C. (1999). *Thermodynamic and Physical Properties Data*. Singapore: Mc Graw Hill Book Co.
- http://www.perpamsibanten.org/kota_cilegon.htm (diakses pada hari rabu tanggal 16 Juli 2014 jam 13.00 wib)
- US.Patent 3.377.376 dan US.Patent 3.972.912 dan US Patent 3.364.251