

NASKAH PUBLIKASI
PRARANCANGAN PABRIK
METIL METAKRILAT DARI ASETON SIANOHDRIK
KAPASITAS 65.000 TON/TAHUN



Disusun Oleh :

Dwi Sapta Kusumandari

D 500 090 020

Dosen Pembimbing :

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

Eni Budiyati, M.T., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNIK KIMIA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2015

Surat Persetujuan Artikel Publikasi Ilmiah

Yang bertanda tangan di bawah ini pembimbing skripsi/ tugas akhir:

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

NIK : 664

Telah membaca dan mencermati naskah artikel publikasi ilmiah, yang merupakan ringkasan skripsi/ tugas akhir dari mahasiswa:

Nama : Dwi Sapta Kusumandari

NIM : D 500 090 020

Program studi : Teknik Kimia

Judul skripsi : Prarancangan Pabrik Metil Metakrilat dari Aseton Sianohidrin,
Kapasitas 65.000 Ton/ Tahun.

Naskah artikel tersebut layak dan disetujui untuk dapat dipublikasikan.

Demikian persetujuan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan seperlunya.

Surakarta, Februari 2016

Dosen pembimbing



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

NIK. 664

INTISARI

Perancangan pabrik metil metakrilat dengan menggunakan bahan baku aseton sianohidrin, metanol, dan asam sulfat berkapasitas 65.000 ton/tahun. Proses pembuatan metil metakrilat dibuat melalui dua tahap, pertama adalah hidrolisis, aseton sianohidrin dengan asam sulfat menjadi metakrilamid sulfat. Reaksi berlangsung pada fase cair, *irreversible*, eksotermis yang diproses dalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB). Reaksi tahap kedua adalah reaksi esterifikasi metakrilamid sulfat dengan metanol membentuk metil metakrilat. Reaksi berlangsung pada fase cair, *irreversible*, eksotermis yang diproses dalam RATB.

Pabrik metil metakrilat menghasilkan produk sebanyak 8.192,2680 kg/jam yang membutuhkan bahan baku aseton sianohidrin sebanyak 7.4969,6280 kg/jam, asam sulfat sebanyak 13.665,9821 kg/jam, dan metanol sebanyak 8.203,1423 kg/jam. Utilitas yang dibutuhkan meliputi 1.634.177,4051 kg/jam air pendingin, air untuk kebutuhan *steam* sebesar 14,600,6596 kg/jam yang diproduksi dari *boiler*, bahan bakar 230,200,0467 kg/hari, kebutuhan listrik sebesar 750 kW diperoleh dari Pembangkit Listrik Negara (PLN) dan disediakan sebuah *generator set* sebagai cadangan, serta kebutuhan udara tekan sebesar 76,14 m³/jam.

Pabrik metil metakrilat berdiri pada lahan seluas 20.000 m² yang direncanakan akan dibangun di Kabupaten Gresik, Provinsi Jawa Tengah pada tahun 2019 dengan hasil analisa ekonomi sebagai berikut : Jumlah *Fixed Capital Investment* sebesar Rp. 422.107.111.548,62, *Percent Return On Investment* sebelum pajak sebesar 35,20 % dan setelah pajak sebesar 24,64 %, *Pay Out Time* sebelum pajak selama 2,2 tahun sedangkan setelah pajak selama 2,9 tahun, *Break Even Point* sebesar 56,75 %, *Shut Down Point* sebesar 41,54 %, dan *Discounted Cash Flow* sebesar 26,02 %. Berdasarkan data di atas maka pabrik ini layak untuk didirikan.

Kata kunci : metil metakrilat, aseton sianohidrin, RATB, *irreversible*, eksotermis

ABSTRACT

Methyl methacrylate plant design using raw materials acetone cyanohydrin, methanol and sulfuric acid with a capacity of 65,000 tons / year. The process of making methyl methacrylate was made through two stages, the first is hydrolysis, acetone cyanohydrin with sulfuric acid into metakrilamid sulfate. The reaction takes place in the liquid phase, irreversible, exothermic processed in continuous stirred-tank reactor (CSTR). The second stage reaction is metakrilamid sulfate esterification reaction with methanol to form methyl methacrylate. The reaction takes place in the liquid phase, irreversible, exothermic processed in CSTR.

Factories produce methyl methacrylate as much 8192.2680 kg / hr that require raw materials acetone cyanohydrin as 7.4969,6280 kg/hour, as much sulfuric acid 13665.9821 kg/hour, and methanol as 8203.1423 kg/hour. Utilities required includes 1,634,177.4051 kg/hour of cooling water, water for steam needs of 14,600,6596 kg/hour produced from boiler, fuel 230,200,0467 kg/day, the electricity needs of 750 kW was obtained from the Perusahaan Listrik Negara (PLN) and provided with a generator set as a backup, as well as compressed air requirement of 76.14 m³ /h.

Methyl methacrylate factory stands on an area of 20,000 m² are planned to be built in Gresik regency, East Java province in 2019 with the economic analysis results as follows: Number of Fixed Capital Investment of Rp. 422,107,111,548.62, Percent Return On Investment before tax of 35.20 % and after tax of 24.64 %, Pay Out Time before tax for 2.2 years, while after tax for 2.9 years, Break Even Point by 56 , 75%, Shut Down Point amounted to 41.54%, dan Discounted Cash Flow amounted to 26.02%. Based on the data above, it is feasible to set up factories.

Keywords : methyl methacrylate, acetone cyanohydrin, RATB, irreversible, exothermic

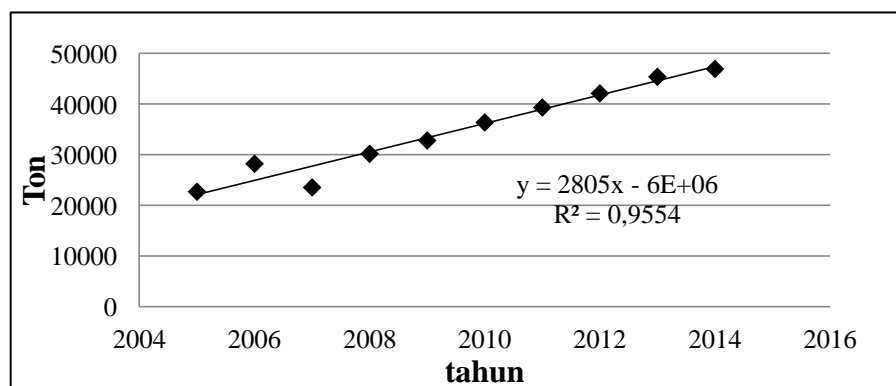
A. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman yang terus menerus mengalami kemajuan baik dalam bidang teknologi maupun dalam bidang industri, Indonesia terus berusaha untuk ikut mengambil bagian dalam proses pembangunan tersebut sehingga diharapkan dapat membantu peningkatan kualitas Negeri ini. Salah satunya dalam bidang pembangunan industri. Hal ini menyebabkan semakin banyaknya diversifikasi usaha yang dilakukan mulai dari bahan mentah hingga bahan setengah jadi yang diproses hingga menjadi produk intermediate ataupun produk jadi.

Tujuan utama yang mendasari berdirinya pabrik metil metakrilat yaitu untuk mendapatkan keuntungan baik secara sosial maupun secara ekonomi. Untuk itu industri metil metakrilat sangat propektif untuk dikembangkan di Indonesia terutama untuk kemajuan dimasa yang akan datang. Dengan tersedianya modal yang cukup memadai maka sifat propektif industri metil metakrilat dapat terlaksana dengan baik dalam berbagai hal. Baik dalam hal pemasaran, perolehan bahan baku yang mudah di dapatkan, terpenuhinya teknologi penunjang hingga tersedianya tenaga pelaksana.

B. PERANCANGAN KAPASITAS

Diketahui dari data BPS kebutuhan metil metakrilat yang terus meningkat setiap tahunnya di Indonesia dari tahun 2005-2014, di tunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 1.1. Jumlah Impor Metil Metakrilat di Indonesia

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa kebutuhan metil metakrilat di Indonesia pada tahun 2019 sekitar 57.000 ton/tahun. Direncanakan pabrik berdiri pada tahun 2019 mendatang dengan kapasitas produksi sebesar 65.000 ton/tahun guna mencukupi kebutuhan metil metakrilat baik dalam maupun luar negeri. Kapasitas ini ditetapkan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri
2. Dapat di ekspor sehingga menghasilkan devisa untuk negara
3. Menciptakan lapangan kerja baru bagi masyarakat

Berdasarkan pertimbangan yang dilihat dari ketersediaan bahan baku, sumber bahan baku, sarana transportasi, iklim, utilitas, pemasaran, dan ketersediaan tenaga kerja, lokasi pabrik di pilih di daerah Gresik, Jawa timur.

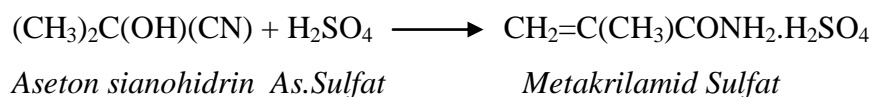
C. PEMILIHAN JENIS PROSES

Proses pembuatan metil metakrilat terdiri dari 3 cara yaitu :

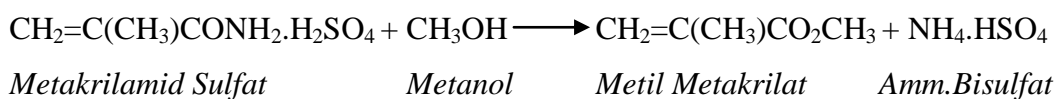
1. Metil metakrilat dari aseton sianohdrin
2. Metil metakrilat dari isobutanol atau isobutilena
3. Metil metakrilat dari etilena

Dari ketiga jenis proses di atas dipilih proses pembuatan metil metakrilat dari aseton sianohidrin karena proses tersebut lebih aman dibandingkan dengan proses lainnya. Pada proses ini terdiri dari dua tahap, yaitu tahap hidrolisis dan tahap dengan proses esterifikasi. Reaksi-reaksi yang terjadi pada tahap hidrolisa dan esterifikasi adalah sebagai berikut :

Reaksi Hidrolisa (reaksi 1)



Reaksi esterifikasi (reaksi 2)



bahan baku dengan reaktor. Sebelum memasuki tangki penyimpanan, bahan-bahan yang berasal dari tanki truk di alirkan menuju tangki penyimpanan.

Dalam tangki penyimpanan (T-01) ACH cair di simpan pada suhu 30°C dan tekanan 1 atm. Pada kondisi tersebut ACH berbentuk cair karena dapat mendidih pada suhu 170,85°C dengan tekanan 1 atm. Kemudian dari tangki penyimpanan (T-01), ACH dipanaskan dengan menggunakan heater (HE-01) hingga mencapai suhu 130°C dan kemudian di alirkan menuju reaktor hidrolisa (R-01). Pada tangki penyimpanan, asam sulfat 98% (T-02) dalam kondisi cair dengan suhu 30°C tekanan 1 atm di alirkan menuju heater (HE-02) untuk dipanaskan hingga mencapai suhu 130°C. Setelah mencapai suhu panas yang diinginkan, asam sulfat di alirkan menuju reaktor hidrolisa (R-01). Reaktor dirancang menjadi 3 yaitu R-01, R-02, dan R-03. Untuk bahan metanol 98% di simpan dalam tangki (T-03) yang kemudian di alirkan menuju heater (H-03) untuk dipanaskan dari suhu 30°C menjadi 130°C dan tekanan 1 atm. Selanjutnya bahan-bahan di alirkan dengan bantuan pompa (P-06) menuju reaktor esterifikasi (R-04) dengan menaikkan suhu hingga 150°C dan tekanan 7 atm. Pada reaktor esterifikasi dirancang menjadi 3 reaktor yakni R-04, R-05, dan R-06.

Reaksi pembentukan metil metakrilat terdiri atas 2 tahap yaitu tahap pembentukan metakrilamid sulfat. Metakrilamid sulfat merupakan produk yang berasal dari reaktor hidrolisa. Reaktor yang di gunakan merupakan reaktor alir tangki berpengaduk dengan fase cair-cair. Kondisi operasi reaktor menggunakan range suhu antara 130°C pada tekanan 1 atm dan perbandingan mol ACH dan mol asam sulfat yang masuk ke dalam reaktor adalah 1 : 1,6. Asam sulfat pada reaksi ini berfungsi sebagai reaktan, pelarut, maupun katalis. Reaksi yang terjadi adalah reaksi eksotermis dan pada tahap ini menghasilkan metakrilamid sulfat, sisa ACH, sisa asam sulfat, air, dan ammonium bisulfat. Ammonium bisulfat sendiri berasal dari hasil recycle asam sulfat hasil bawah MD-03 pada tahap pemisahan dan pemurnian produk. Selanjutnya di alirkan menuju reaktor esterifikasi (R-04) dan di reaksikan dengan metanol. Tahap kedua reaksi pembentukan metil metakrilat. Pada reaktor esterifikasi berfungsi untuk membentuk MMA dan jenis yang digunakan adalah reaktor alir tangki berpengaduk. Reaksi yang terjadi dalam

reaktor adalah reaksi eksotermis sehingga dilengkapi dengan coil pendingin. Adapun kondisi operasi didalam reaktor bersuhu 150°C dengan tekanan sebesar 7 atm. Sehingga suhu umpan dari hasil reaktor hidrolisis (R-03) yang bersuhu 130°C dinaikkan dengan menggunakan heater (HE-04) dan tekanan 1 atm dinaikkan dengan bantuan pompa (P-11). Perbandingan metakrilamid sulfat dengan metanol yg akan direaksikan adalah 1 : 3.

Hasil keluaran reaktor adalah MMA, ammonium bisulfat, dan air. Selanjutnya tahap pemisahan dan pemurnian produk. Pada proses ini hasil keluaran yang berasal dari reaktor esterifikasi (R-06) di alirkan menuju kolom stripper (ST) guna memisahkan produk dari asam-asamnya dengan suhu 85°C dengan tekanan 1 atm. Untuk menurunkan suhu dari 150°C menjadi 85°C digunakan cooler (Co-01) dan penurunan tekanan menggunakan *expansion valve*. Hasil atas (*light product*) adalah MMA, ACH, MS, metanol, sisa ammonium bisulfat, dan air dan hasil bawah (*weight product*) terdiri dari ACH, asam sulfat, dan ammonium bisulfat. Kemudian dialirkan menuju *accumulator* (AC-04) untuk menampung sementara kondensat. Selanjutnya pada menara distilasi (MD-03) dengan kondisi suhu 240°C dan tekanan 1 atm dilakukan pemisahan. Hasil atas MD-03 berupa produk samping ammonium bisulfat yang mengandung sedikit ACH dan asam sulfat bersuhu 219°C yang kemudian dialirkan melewati *cooler* (Co-03) untuk menurunkan suhu menjadi 35°C menuju tangki penyimpanan dengan, kemudian dialirkan menuju truk pengangkut menggunakan pompa (P-19). Sedangkan hasil bawah MD-03 yang bersuhu 273°C berupa asam sulfat dan sedikit ammonium bisulfat direcycle kembali menggunakan pompa (P-17) dan *cooler* (Co-02) untuk menurunkan suhu menjadi 130°C menuju R-01. Untuk hasil atas ST dilakukan penampungan sementara didalam *accumulator* (AC-01) yang kemudian kondensat diumpankan menuju kolom distilasi (MD-01) dengan suhu 75°C dan tekanan 1 atm.

Pada kolom MD-01 metanol dan sedikit air dipisahkan sebagai hasil atas dengan suhu 67°C. Selanjutnya di *recycle* kembali menuju reaktor esterifikasi (R-04) sebagai umpan. Hasil bawah dari menara MD-01 adalah MMA, ACH, MS, ammonium bisulfat, air dan sedikit metanol sebagai umpan di kolom distilasi

(MD-02) berikutnya pada suhu 99,66°C dan tekanan 1 atm dengan hasil bawah berupa sedikit MMA, ammonium bisulfat, ACH, dan MS pada kondisi suhu 154°C dan tekanan 1 atm. Kemudian dilakukan penurunan suhu dengan menggunakan *cooler* (Co-04) yang selanjutnya dialirkan menggunakan pompa (P-14) menuju unit pengolahan limbah (UPL). Sedangkan hasil atas MD-02 diperoleh MS, metanol, MMA, dan sedikit air pada kondisi suhu 98°C ditampung menggunakan *accumulator* (AC-03) yang kemudian dialirkan menuju Dekanter (DK) pada suhu 35°C. Dari dekanter dihasilkan produk akhir yaitu MMA yang kemudian di masukkan ke dalam tangki penyimpanan produk (T-04) yang kemudian dialirkan menuju truk pengangkut menggunakan pompa (P-16).

F. SPESIFIKASI ALAT UTAMA PROSES

1. Reaktor Hidrolisis

| | |
|--------------------|--|
| Kode | : R-01, R-02, R-03 |
| Fungsi | : Tempat mereaksikan larutan aseton sianohidrin dengan asam sulfat menjadi metakrilamid sulfat |
| Bahan konstruksi | : <i>stainlees steel</i> |
| Jenis alat | : Reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) |
| Jumlah | : 3 buah |
| Kondisi operasi | : 130°C (1 atm) |
| • Konversi | |
| Konversi reaktor 1 | : 76 % |
| Konversi reaktor 2 | : 93 % |
| Konversi reaktor 3 | : 98 % |
| Diameter | : 2,2243 m |
| Tinggi | : 23,1109 m |
| Jenis <i>head</i> | : <i>Torispherical head</i> |
| • Pengaduk | |
| Jenis | : turbin (1 impeler) |
| Motor | : variable-speed belt |

Kecepatan : 300 rpm
Diameter : 0,7414 m
Daya motor : 35 Hp

- Pendingin

Jenis : koil
Tebal *koil* : 0,0635 m
Luas penampang : 27,9415 m²

2. Reaktor Esterifikasi

Kode : R-04, R-05, R-06
Fungsi : Tempat mereaksikan metakrilamid sulfat dengan methanol menjadi metakrilamid sulfat dan ammonium bisulfat.

Bahan konstruksi : *stainless steel*
Volume reaktor : 17,5291 m³
Jenis alat : Reaktor alir tangki berpengaduk (RATB)
Jumlah : 3 buah
Kondisi operasi : 150°C (7atm)

- Konversi

Konversi reaktor 1 : 70 %
Konversi reaktor 2 : 91 %
Konversi reaktor 3 : 97 %

Diameter : 2,5838 m
Tinggi : 3,6427 m
Volume : 17,5291 m³
Jenis Head : *Torispherical head*

- Pengaduk

Jenis : turbin (1 impeler)
Motor : variable-speed belt
Kecepatan : 300 rpm
Diameter : 0,8613 m
Daya motor : 35 Hp

- Pendingin

Jenis : koil

Luas penampang : 65,5411 m²

Tebal *koil* : 0,0731 m

3. Menara Stripper

Kode : ST

Fungsi : memisahkan asam sulfat dan ammonium bisulfat dari campuran

Jenis : *Plate sieve tray*

Bahan konstruksi : *stainless steel*

Jumlah : 1 buah

- Kondisi operasi

a. Umpan masuk : 84,92°C (1 atm)

b. Atas : 74,82°C (1 atm)

c. Bawah : 240,45°C (1 atm)

diameter : 2,7612 m

Tinggi : 18,0259 m

Tebal shell : 0,1875 in (0,0048 m)

Tebal head : 0,1875 in (0,0048 m)

Jenis head : *torispherical head*

Plat

- Jumlah : 68 *stage*

- Umpan masuk : *Tray no.3* (dari atas)

4. Menara Distilasi 3

Kode : MD-03

Fungsi : Memisahkan asam sulfat dan ammonium bisulfat

Jenis : Plate Sieve Tray

Bahan konstruksi : *Carbon steel*

Jumlah : 1 buah

- Kondisi operasi
 - a. Umpan masuk : 240,45^oC (1 atm)
 - b. Atas : 219,05^oC (1 atm)
 - c. Bawah : 273,52^oC (1 atm)

Tinggi : 12,0494 m
 Tinggi head : 0,2614 m
 Diameter : 1,1185 m
 Tebal shell : 0,1875 in (0,0048 m)
 Tebal head : 0,1875 in (0,0048 m)
 Jenis head : *plat sieve tray*

Plat

- Jumlah : 49 stage

5. Menara Distilasi 1

Kode : MD-01
 Fungsi : memisahkan methanol dari campuran untuk digunakan kembali di reaktor esterifikasi
 Jenis : *plat sieve tray*
 Bahan konstruksi : *stainless steel*
 Jumlah : 1 buah
 Tinggi MD : 8,5326 m

- Kondisi operasi
 - a. Umpan masuk : 74,82^oC (1 atm)
 - b. Atas : 65,23^oC (1 atm)
 - c. Bawah : 99,66^oC (1 atm)

• Plat

- a. Jumlah : 18 *stage*
- b. Umpan masuk : *Tray no.11*

Diameter : 1,3429 m
 Umpan masuk : tray nomor 11 (dari bawah)
 Tebal shell : 0,188 in
 Tebal head : 0,188 in

6. Menara Distilasi 2

| | |
|-------------------|--|
| Kode | : MD-02 |
| Fungsi | : memisahkan metil metakrilat dari pengotor (aseton sianohidrin, metakrilamid sulfat, dan ammonium bisulfat) |
| Jenis | : <i>plat sieve tray</i> |
| Bahan konstruksi | : <i>stainless steel</i> |
| Tinggi MD | : 8,5326 m |
| Diameter | : 1,3429 m |
| Jumlah | : 1 buah |
| • Kondisi operasi | |
| a. Umpan masuk | : 99,66°C (1 atm) |
| b. Atas Suhu | : 100,05°C (1 atm) |
| c. Bawah | : 153,85°C (1 atm) |
| • Plat | |
| a. Jumlah | : 38 <i>stage</i> |
| b. Umpan masuk | : <i>Tray no.8</i> |
| Umpan masuk | : tray nomor 8 (dari bawah) |
| Tebal shell | : 0,188 in |
| Tebal head | : 0,188 in |

7. Dekanter

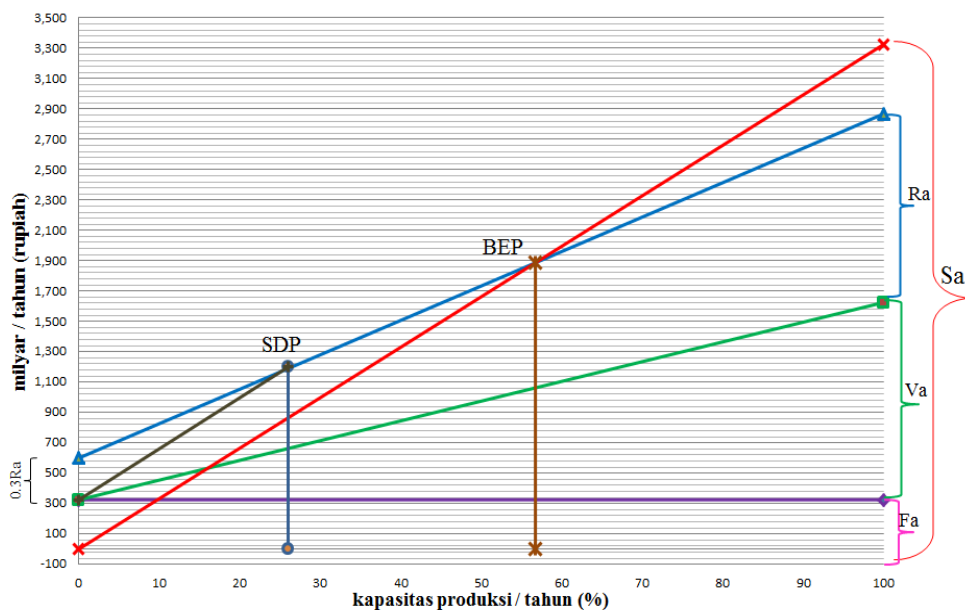
| | |
|------------------|--|
| Kode | : DC |
| Fungsi | : memurnikan produk dari MD-02 dengan kemurnian 99,8% |
| Jenis | : <i>continuous gravity decanter silinder horizontal</i> |
| Bahan konstruksi | : <i>Carbon steel</i> |
| Jumlah | : 1 buah |
| Kondisi operasi | : 35°C (1 atm) |
| Waktu tinggal | : 46,73 menit |
| Volume | : 7,6190 m ³ |

Diameter : 1,7991 m
 Panjang : 4,3775 m

G. ANALISIS EKONOMI

Analisis ekonomi digunakan dalam perancangan pabrik untuk mendapatkan perkiraan mengenai besarnya laba yang diperoleh, kelayakan investasi, terjadinya titik impas, dan lamanya inbestasi dapat dikembalikan, selain itu, anilisia ekonomi juga berfungsi untuk mengetahui apakah pabrik yang akan dididrikan memperoleh keuntungan atau tidak, serta layak atau tidaknya jika didirikan.

Pabrik metil metakrilat berdiri pada lahan seluas 20.000 m² yang direncanakan akan dibangun pada tahun 2019 dengan jumlah *Fixed Capital Investment* sebesar Rp. 422.107.111.548,62, *Percent Return On Investment* sebelum pajak sebesar 35,20% dan setelah pajak sebesar 24,64%, *Pay Out Time* sebelum pajak selama 2,2 tahun sedangkan setelah pajak selama 2,9 tahun, *Break Even Point* sebesar 56,75%, *Shut Down Point* sebesar 41,54 %, dan *Discounted Cash Flow* sebesar 26,02%. Hasil analisa dapat di lihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2. Grafik Parameter Analisis Ekonomi

H. KESIMPULAN

Analisa hasil kelayakan ekonomi pabrik metil metakrilat adalah sebagai berikut :

1. Keuntungan sebelum pajak sebesar Rp. 530.580.516.802,14
Keuntungan sesudah pajak sebesar Rp. 371.406.361.761,50
2. *ROI (Return On Investment)* sebelum pajak adalah 35,20%
ROI (Return On Investment) sesudah pajak adalah 24,64%
ROI (Return On Investment) sebelum pajak untuk pabrik beresiko rendah minimal 11% (Aries dan Newton, 1995).
3. *POT (Pay Out Time)* sebelum pajak adalah 2,2 tahun
POT (Pay Out Time) sesudah pajak adalah 2,9 tahun. *POT (Pay Out Time)* sebelum pajak untuk pabrik beresiko rendah maksimal 5 tahun (Aries dan Newton, 1995).
4. *BEP (Break Event Point)* adalah 56,75%.
SDP (Shut Down Point) adalah 34,62%. *BEP* untuk pabrik kimia pada umumnya berkisar antara 40%-60%.
5. *DCF (Discounted Cash Flow)* adalah 26,02%
DCF yang dapat diterima harus lebih besar dari bunga pinjaman di bank. Besarnya *DCF* untuk pabrik beresiko rendah minimal 1,5 kali besarnya bunga bank.

Hasil analisis kelayakan ekonomi menyatakan bahwa pabrik metil metakrilat layak dipertimbangkan untuk didirikan dan dikaji lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adu, I. K., dkk, 20017, “*Comparison of methods for assessing environmental, health and safety (EHS) hazards in early phases of chemical process design*”, Institut for Chemical and Bioengineering, EYH Zurich, Witzerland.
- Brownell, L. E., dan Young, E. H., 1979, “*Process Engineering Design*”, 3rd ed, Willey Eastern Ltd. New Delhi.
- Biro Pusat Statistik, 2014, “*statistic Perdagangan Luar Negeri Indonesia*”, import Menurut Jenis Barang dan Negara Asal, Jakarta, <http://www.bps.go.id>, diakses Jumat, 7 Maret 2014, pukul 08.30 WIB.
- Coulson, J.H., dan Richardson, J.F., 1983, “*Chemical Engineering Design*”, vol.6, Pergason Press, Oxford.
- Kern, D. Q., 1965, “*Process Heat Transfer*”, Mc. Graw-Hill Book Company Inc., Singapura.
- Kirk, R. E., dan Othmer, D. F., 1995, “*Encyclopedia of Chemical Technology*”, 4th edition, vol. 16, John Wiley and Sons Company Inc., New York.
- Perry, R. H., dan Green, D., 1999, “*Perry’s Chemical Engineer’s Hand Book*”, 7th ed, Mc Graw Hill Book Company Inc., New York.
- Peters, M.S., dan Timmerhaus, E. D., 1980, “*Plant Design and Economy for Chemical Engineer’s*”, 3rd ed, Mc Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Ullmann’s, 1989, “*Encyclopedia of Industrial Chemistry*”, Weihim Fifth Completely Revised Edition, John Wiley and Sons Company Inc., Jerman.