

**DESAIN REAKTOR POLIMERISASI
PRARANCANGAN PABRIK ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS)
DENGAN PROSES EMULSION**

Selsa Idillah¹⁾, Sri Helianty²⁾

1) Mahasiswa Program Studi Teknik Kimia, 2) Dosen Teknik Kimia
Laboratorium Perancangan Produk
Program Studi Teknik Kimia S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru, 28293
E-mail : selsa.idillah2040@student.unri.ac.id

ABSTRAK

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) is a copolymer composed of polymerization styrene, acrylonitrile, and polybutadiene. Excellent toughness, good dimensional stability, and chemical resistance are ABS properties that are appealing. ABS is regularly used to make lightweight, rigid, and malleable products such as medical devices, cosmetics, household appliances, cabinets, bathtubs, pipes, and vehicle components. Consumption of plastics will continue to increase by 5% per year in Indonesia. Demand for ABS has increased significantly with imports, our final project is proposed to design an ABS plant that meets 10% of domestic ABS needs. Also, the establishment of this factory was based on advancing Indonesia's economic sector and allocates jobs for local labor. The ABS plant construction is going to hold for three years in 2022-2025. It is planned to be located in the Tanjung Buton industrial area, Riau, with a capacity of 115.000 tons/year. This capacity is to meet domestic needs and the Asia market. The ABS Emulsion Process consists of 3 stages; polybutadiene synthesis, the grafting polymerization reaction stage, and the product separation stage. The main design of this paper is polymerization reactor (R-102), which is Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) type. The operating conditions in the reactor were 73 °C and 21.67 psi. Economic analysis is also taken into account to determine whether the factory is feasible. From the economic analysis, we obtained a payback period (PBP) of 1 year, an Internal Rate of Return (IRR) of 22.75%, an Return On Investment (ROI) of 49.45%, and a Break-Even Point (BEP) of 51%, based on the feasibility analysis, it shows that the ABS plant project is feasible.

Keywords: *acrylonitrile, butadiene, styrene, economic analysis, plant design*

1. Pendahuluan

Asosiasi Industri Olefin Aromatik dan Plastik Indonesia (Inaplas) menyatakan bahwa konsumsi plastik akan terus meningkat 5% per tahunnya. *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene* (ABS) merupakan salah satu jenis plastik yang dimanfaatkan untuk membuat produk yang ringan, kaku, dan dapat dibentuk seperti

alat kesehatan, kosmetik, peralatan rumah tangga, lemari, bak mandi, pipa, dan komponen kendaraan (McKeen, 2014). Kopolimer ABS dapat diperoleh dari hasil polimerisasi *styrene*, *acrylonitrile* dan polibutadiena (Kulich dkk., 2001).

Monomer *acrylonitrile* stabil pada suhu -20°C hingga 100°C dan tahan terhadap bahan kimia yang bersifat

korosif. Sifat *impact resistance* dan *toughness* dari *butadiene*, digabungkan dengan sifat kaku (*rigidity*) *styrene* untuk mendapatkan sifat ABS *impact resistance* dan *toughness*. ABS juga mempunyai kelebihan lain yaitu tahan terhadap bahan kimia dan biaya proses produksi rendah (Yoo dkk., 2005). ABS dengan penambahan *methyl methacrylate* akan menghasilkan material transparan. Dengan keuntungan tersebut, ABS dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang terutama dalam bidang kesehatan karena bersifat *non-toxic*. Pandemi COVID-19 menyebabkan kebutuhan peralatan medis semakin meningkat dalam menunjang isolasi pasien. Kebutuhan ABS di Indonesia sampai saat ini masih dipenuhi dengan impor, pendirian pabrik ABS diharapkan mengurangi jumlah impor secara signifikan dan memajukan sektor ekonomi Indonesia.

Proses pembuatan ABS menggunakan metode polimerisasi emulsi dengan teknik pencangkokkan (*grafting*). Secara umum, sistem polimerisasi emulsi terdiri dari media pendispersi, monomer, pengemulsi, dan inisiator. Medium yang digunakan untuk mereaksikan bahan baku ialah reaktor. Pada pabrik ABS terdapat tiga reaktor diantaranya, reaktor *batch stirred tank* (R-101) yang berfungsi untuk menghasilkan bahan baku utama dalam pembuatan ABS yaitu polibutadien. Kemudian, reaktor polimerisasi *Continues Stirred Tank Reactor* (CSTR) yang terdiri dari (R-102) dan (R-103) berfungsi untuk proses *grafting*.

Reaktor merupakan alat utama dalam pabrik ABS sehingga perlu dilakukan perancangan secara detail, meliputi diameter, tebal *shell* dan *head*, tinggi reaktor, tekanan desain, dan desain sistem pengaduk. Dasar pemilihan jenis

reaktor CSTR karena fase reaksi cair-cair dan proses berlangsung kontinyu. Kehomogenan suhu dan komposisi dipertahankan. Volume reaktor ditentukan berdasarkan waktu tinggal yang diperlukan reaksi yaitu 1.24 jam.

Kondisi operasi pada reaktor (R-102) mengacu kepada paten US20050239962A1. Polibutadiena yang telah dihasilkan dari reaktor (R-101) diumpankan ke dalam reaktor (R-102). Penambahan 66,32%wt *ion-exchange water*, 0,15%wt sodium oleat sebagai *emulsifier*, 0,035%wt sodium pirofosfat, 0,009%wt dekstrosa, dan 0,0007%wt *ferrous sulfat*, 13,44%wt metil metakrilat, 5,22%wt *styrene*, 1,47%wt *acrylonitrile*, 0,074%wt *tert-dodecyl mercaptan*, dan 0,029%wt *cumene hydroperoxide* dicampur menggunakan *mixer* (M-101) kemudian diteruskan ke (R-102). Suhu reaksi yang digunakan adalah 73°C dengan tekanan 1 atm. Hasil dari reaktor (R-102) dimasukkan ke tahapan proses *grafting* kedua pada reaktor polimerisasi CSTR (R-103).

2. Bahan Baku dan Bahan Penunjang Proses

2.1 Butadiena

1,3-butadiena dipasok dari perusahaan Saudi Basic Industries Corporation (SABIC) dengan spesifikasi berat molekul sebesar 54,09 g/mol, kemurnian 99,5%, tidak berwarna, dan memiliki bau aromatik (SABIC, 2018). Monomer butadiena merupakan bahan baku utama sebagai proses tahap awal, yaitu produksi polibutadiena yang akan dilakukan dalam 4 tahap. Setiap tahap digunakan temperatur yang berbeda-beda, tahap pertama dan kedua digunakan suhu 65°C, sedangkan tahap ketiga dan keempat suhu dinaikan menjadi 80°C. Perbedaan suhu disebabkan karena kondisi operasi bergantung pada rantai struktur

yang akan dibentuk. Polibutadiena yang dihasilkan memiliki spesifikasi ukuran partikel 300 nm dan viskositas 187 cps.

2.2 Acrylonitrile

Acrylonitrile merupakan monomer bahan baku utama untuk produksi ABS. Cairan *Acrylonitrile* dipasok dari INEOS dengan spesifikasi kemurnian sebesar 99,74%, berat molekulnya 53,064 g/mol, aroma menyengat, densitas pada suhu 25°C sebesar 799,1 kg/m³-802,2 kg/m³, berwarna maksimum 5 APHA, pH 6-7,5 dan kekeruhan maksimum 3 NTU (INEOS, 2016).

2.3 Styrene

Styrene merupakan monomer bahan baku utama untuk produksi ABS. *Styrene* dipasok dari perusahaan Chevron Phillips Chemical Company dengan spesifikasi kemurnian sebesar 99,9%, berat molekulnya 104,153 g/mol, berwarna maksimum 10 skala Pt-Co (Chevron Phillips Chemical Company, 2004).

2.4 Metil Metakrilat

Metil metakrilat merupakan monomer yang berperan untuk meningkatkan sifat *impact resistance* serta menghasilkan produk transparan dalam produksi ABS. Metil metakrilat dipasok dari McKee dengan pengemasan 190 kg/drum, 15,2 MT/20-ft FCL *container* dan spesifikasi kemurnian 99,9%, berat molekul 100,12 g/mol, fasa *clear liquid* (McKee, 2016)

2.5 Potasium Klorida

Potasium klorida sebagai zat elektrolit untuk produksi ABS dipasok dari Indian Pharmacopoeia dengan spesifikasi kemurnian 99%, bubuk kristal putih yang memiliki berat molekul sebesar 74,55 g/mol, dan tidak berbau (Indian Pharmacopoeia, 2008).

2.6 Sodium Karbonat

Sodium karbonat sebagai zat elektrolit untuk produksi ABS dipasok dari TATA Chemicals dengan spesifikasi kemurnian 99%, bubuk putih yang

memiliki berat molekul 105,99 g/mol dan tidak berbau (TATA Chemicals).

2.7 Potassium Rosinate

Potassium rosinate sebagai emulsifier untuk produksi ABS dipasok dari Jihua North Longshan Chemical dengan spesifikasi kemurnian 25,5%, berat molekul 339 g/mol, cairan berwarna kuning muda yang bersifat stabil dan memiliki pH 10,4-10,8 (Jihua North Longshan Chemical, 2018).

2.8 Tert-dodecyl Mercaptan

Tert-dodecyl mercaptan sebagai zat pengontrol berat molekul pada proses polibutadiena dan produksi ABS dipasok dari Fisk dengan spesifikasi kemurnian sebesar 95%, cairan tidak berwarna yang memiliki berat molekulnya sebesar 202,4 g/mol (Fisk, 2005).

2.9 Potassium Persulfate

Potassium persulfate sebagai zat inisiator pada proses polibutadiena dan produksi ABS dipasok dari FMC Corporation dengan spesifikasi kemurnian 99,5%, padatan putih tidak berbau yang memiliki pH 6,4 dan berat molekul sebesar 270,32 g/mol (FMC Corporation, 2001).

2.10 Potassium Bicarbonate

Potassium bicarbonate sebagai zat pengontrol berat molekul pada proses polibutadiena dan produksi ABS dipasok dari Spectrum dengan spesifikasi kemurnian 99,5%, serbuk putih yang memiliki berat molekul sebesar 100,115 g/mol (Spectrum, 2019).

2.11 Sodium Oleate

Sodium oleate sebagai zat emulsifier untuk produksi ABS dipasok dari Loba Chemie dengan spesifikasi kemurnian 99%, bubuk putih yang memiliki berat molekul sebesar 304,4 g/mol (Loba Chemie, 2017).

2.12 Sodium Pirofosfat

Sodium pirofosfat sebagai emulsifier untuk produksi ABS dengan

spesifikasi kemurnian 99,99%, bubuk putih yang memiliki berat molekul sebesar 265,90 g/mol dan pH 9,9-10,8.

2.13 Ferrous Sulphate

Ferrous sulphate untuk produksi ABS dengan spesifikasi kemurnian 55,46%, kristal padatan berwarna biru-hijau dan tidak berbau. *Ferrous sulphate* memiliki berat molekul 151,91 g/mol dan pH 3,2.

2.14 Cumene Hydroperoxide

Cumene hydroperoxide untuk produksi ABS sebagai inisiator radikal bebas dipasok dari TNJ dengan spesifikasi kemurnian 90%, cairan bening yang memiliki berat molekul 152,19 g/mol, oksigen aktif 10%, dan pH 4-8.

3. Spesifikasi Produk ABS dan Output R-102

Informasi mengenai spesifikasi ABS dicantumkan pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Spesifikasi dari Produk ABS

Spesifikasi	Keterangan
Bentuk	Pelet
Warna	Transparan (tidak berwarna)
Panjang	± 1 cm
Diameter	$\pm 0,5$ cm
Haze	2,1%
Elongation (150°C)	1900
Kondisi permukaan produk	Halus
Uji <i>impact resistance</i>	16
Tingkat kelembapan	< 0,1%

(Sumber : Yoo dkk., 2004)

Hasil *Output R-102* terdiri dari air, polibutadien, *styrene* dan *acrylonitrile* yang belum terkonversi menjadi produk ABS. Konversi CSTR R-102 adalah 96,8% sehingga hasil keluaran dari R-102 akan diumpungkan ke CSTR R-103 untuk meningkatkan konversi hasil produk ABS mencapai 99,5%. Komposisi yang paling dominan pada proses emulsi adalah air,

proses pemisahan akan dilakukan pada tahap akhir agar memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan. Komposisi keluaran R-102 dicantumkan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Komposisi keluaran CSTR (R-102)

Output R-102	%Massa
Polibutadiene	11.81
Air	66.32
<i>Styrene</i>	2.427
<i>Acrylonitrile</i>	0.047
ABS	19.396

4. Desain Alat Utama Reaktor Polimerisasi (R-102)

4.1 Material Reaktor

Pemilihan material konstruksi yang digunakan dalam proses pembuatan ABS adalah 304 *stainless steel*. Pemilihan jenis material ini berdasarkan ketahanan material terhadap suhu, tekanan operasi, dan sesuai dengan material yang digunakan pada perusahaan Zibo Dewojin Trading Co., Ltd.. 304 *stainless steel* banyak digunakan untuk bahan bangunan dan industri meliputi petrokimia, karet, farmasi, bahan makanan, serta pewarna.. Pemilihan jenis *plate 304 stainless steel* didasari beberapa faktor seperti:

1. Suhu operasi maksimum berada pada 304°C
2. Sesuai dengan pH cairan

4.2 Desain CSTR

1. Menentukan Volume Reaktor

Volume reaktor disesuaikan dengan produk yang tersedia di Zibo Dewojin Trading Co., Ltd. berdomisili di Shandong, China. Spesifikasi kapasitas reaktor 50 L – 30.000 L. Dipilih reaktor dengan kapasitas 27 m³, volume kerja maksimum mencapai 26.1 m³ dari kapasitas operasi normal. Hal ini diperhitungkan berdasarkan laju produksi dan mampu menopang target produksi 80% – 100%.

2. Menentukan Waktu Tinggal

Berdasarkan paten US20050239962A1 diketahui bahwa konversi reaksi untuk R-103 adalah 99.5% dan konversi reaktor R-102 adalah 96.8%, sehingga waktu tinggal diketahui 1.24 jam.

3. Dimensi Reaktor

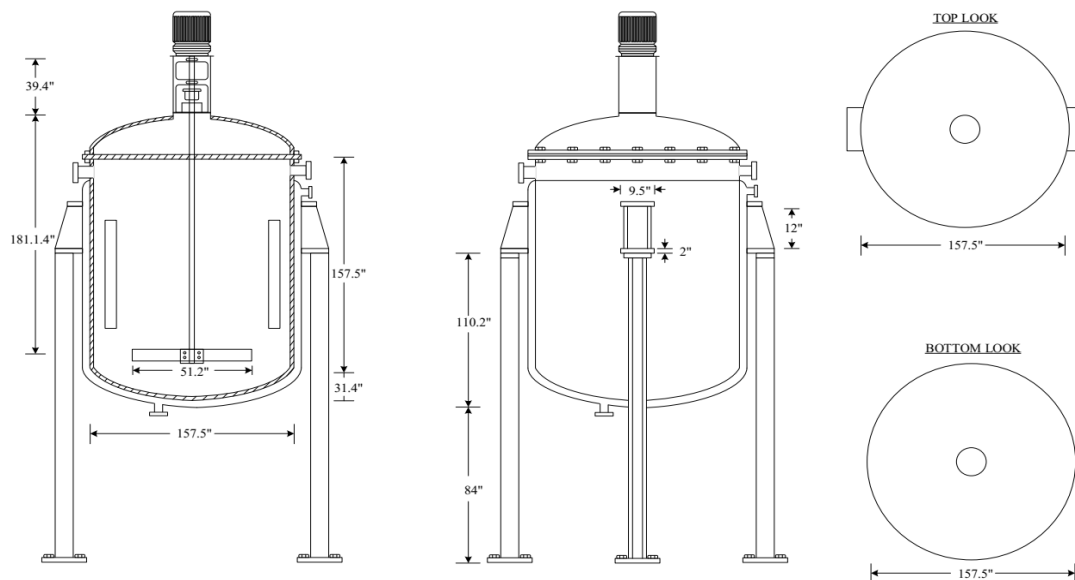
Pada tekanan 1 atm/15 psig dipilih *torispherical flanged and dished head* sebagai tutup atas dan bawah (Brownell & Young, 1959). Perbandingan yang digunakan dalam fabrikasi reaktor CSTR adalah $H = D = 4$ m. Ketebalan reaktor dapat dipesan berdasarkan permintaan, sehingga dilakukan perhitungan untuk memperoleh ketebalan yang sesuai dengan kondisi operasi R-102. Tebal *shell* diperoleh 0.4 in dan tebal *head* sebesar 0.36 in. Fabrikasi telah menyediakan *optional* untuk penggunaan sistem pengaduk dan jaket pemanas. Digunakan jenis *six pitched blade* turbin karena dapat digunakan untuk campuran berviskositas < 10,000 cp dan sesuai untuk volume fluida

sampai dengan 2,000 gal (2.673 ft³) (Geankoplis, 1993).

5. Analisa Ekonomi

Evaluasi ekonomi meliputi penentuan harga alat, investasi, biaya operasi, dan analisis kelayakan. Harga alat tiap tahun mengalami perubahan sesuai dengan kondisi perekonomian yang ada. Harga alat-alat proses yang digunakan pada pabrik ABS ini diperoleh dari beberapa situs fabrikasi yang menyediakan alat proses yaitu :

1. Tangki-tangki penyimpanan yang digunakan diperoleh dari National Storage Tank, INC.
2. Reaktor polimerisasi (R-102) diperoleh dari Zibo Dewojin Trading Co., Ltd.
3. Seluruh valve diperoleh dari Yongja Goole Valve Co., Ltd.
4. Harga unit operasi yang lainnya diperoleh dari website Matches.com dan *catalog* perusahaan China.



PERANCANGAN REACTOR TANK REAKTOR			
SELSA IDILLAH (1607112048)			
DESIGNER: SELSA IDILLAH	REV	FRGM NO	OWG NO
Site: Indonesia, ST, MT	SCALE		

Gambar 4.1 Dimensi Reaktor

Setelah meninjau analisa ekonomi, pabrik ABS merupakan salah satu pabrik yang menjanjikan untuk dibangun di Indonesia. Hal ini dapat dilihat melalui pengembalian jumlah modal (*Return of Investment*) yang mencapai 49.45%. Waktu pengembalian modal terpenuhi dalam kurun waktu satu tahun sebelum jatuh tempo pinjaman bank. Serta, pabrik ABS akan mengalami keuntungan setelah pabrik memiliki kapasitas produksi diatas 51% berdasarkan perhitungan *Break Even Point* (BEP). Perolehan hasil analisa ini telah sesuai dengan aturan standar Peter dkk. (2003) dan Perry (2003).

Keuntungan bagi para investor apabila berinvestasi pada pabrik ini dapat ditinjau dari *Internal rate of return* (IRR) yang merupakan suku bunga yang dapat dihasilkan oleh investasi. Hasil perolehan ini mencapai 22.75%, dimana nilai IRR harus dibawah 30%. Investasi yang ditanamkan akan balik modal sehingga pabrik dianggap layak untuk menjadi salah satu tempat penanaman modal bagi para investor.

6. Kesimpulan

Pabrik *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dengan kapasitas 115.000 ton/tahun akan direncanakan di kawasan industri Tanjung Buton, Riau. Pabrik ABS dapat digolongkan sebagai pabrik beresiko rendah dengan mempertimbangkan tinjauan proses, kondisi operasi, sifat-sifat bahan baku dan produk, serta lokasi pabrik. Keuntungan dapat diperoleh sebelum pajak adalah Rp.41.000.000.000.000 sedangkan keuntungan setelah pajak adalah Rp.30.000.000.000.000.

Return On Investment (ROI) sebelum pajak adalah 67.74%, sedangkan *Return On Investment* (ROI) setelah pajak

adalah 49.45%. *Payback Period* adalah 1 tahun. *Break Even Point* (BEP) adalah 51%. BEP untuk pabrik kimia pada umumnya berkisar antara 40%-60%. Pabrik layak didirikan karena nilai *Net Present Value* jauh lebih besar dibandingkan *Total Capital Investment* yaitu sebesar Rp. 6,110,068,664,290.

DAFTAR PUSTAKA

- Brownell, L.E., and Young, E.H., 1979, *Process Equipment Design*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Fink, J.K. (2010). *Handbook of Engineering and Speciality Thermoplastics: Polyolefins and Styrenics*. USA: Scrivener Publishing LLC.
- Fisk, P.R., Girling, A.E., McLaughlin, L. & Wildey, R.J. (2005). *Tert-Dodecanethiol*. UK.
- FMC Corporation. (2001). *Persulfate Technical Information*. USA.
- Gibson, J.L., Ivaneevich, J.M., & Dannelly, J.H. (1996). *Perilaku Organisasi, Struktur dan Proses*. Jakarta: Erlangga.
- Ineos. (2016). *Specification Acrylonitrile*. Europe.
- Jihua North Longshan Chemical. (2018). *Potassium Rosinate*. Oktober 31, 2019. http://www.jhbfls.com/product_detail_en/4.html
- Kulich, D.M., Gaggar, S.K., Lowry, V. & Stepian, R. (2001). *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Polymers Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (3th ed.). USA: Wiley.
- Loba Chemie. (2017). *Sodium Oleate*. November 3, 2019. <https://www.loba-chemie.com/Laboratory-Chemicals-5958D/SODIUM-OLEATE-CAS NO-143 -19-1.aspx>

- McKeen, L.W. (2014). *The Effect of Long Term Thermal Exposure on Plastics and Elastomers*. Belanda: Elsevier Inc.
- McKeen, L.W. (2016). *Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers* (3th ed.). Belanda: Elsevier Inc.
- McKeen, L.W. (2019). *The Effect of UV Light and Weather on Plastics and Elastomers* (4th ed.). Elsevier Inc.
- Peter, MS., Timmerhaus, KD., & West, RE. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. New York:McGraw Hill Book Co.
- Sabic. (2018). *1,3-butadiene*. Saudi Arabia.
- Spectrum. (2019). *Potassium Bicarbonate*. November 3, 2019. https://www.spectrumchemical.com/OA_HTML/chemical-products-Potassium-Bicarbonate-Powder-BiotechGrade_P1191.jsp?minisite=10020&respid=22372&phrase=Potassium%20Bicarbonate
- Tata Chemicals. (2019). *Sodium Carbonate*. Oktober 31, 2019. <https://www.tatachemicals.com/upload/pdf/Natural Light TCNA.pdf>.
- Yoo, K.H., Choi, J.S., Kim, S.H., Bahn, H.M., & Lee, C.H. (2005). *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) Thermoplastic Transparent*. USA.