

## Evaluasi Energi Pada Reaksi Pembentukan Dioctyl Phtalate pada Reaktor Alir Kontinyu

## Energi Evaluation of the Dioctyl Phtalate Formation Reaction in a Continuous Flow Reactor

A. Chalim\*

Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik - Indonesia

\*Email: [Abdchaliim@gmail.com](mailto:Abdchaliim@gmail.com)

### Artikel histori:

Diterim 01 Januari 2023

Diterima dalam revisi 19 januari 2024

Diterima 26 Februari 2024

Online 29 Februari 2024

**ABSTRAK:** *Dioctyl Phthalate* (DOP) merupakan bahan pembantu di beberapa industri bahan-bahan plastik yang biasanya disebut *plasticizer* seperti pada industri kabel, jok mobil dan bahan pelentur industri rumah tangga lainnya, maka dari itu ketersediaan DOP dapat membantu dalam industri plastik juga dapat menjadi komoditi ekspor. Proses pembuatan DOP dilakukan dengan dua langkah yaitu esterifikasi dengan katalis tetrabutyl titanete dan dealkoholisasi dengan suhu reaksi 165°C. DOP mulai di produksi di dalam negeri dengan kapasitas pabrik terbesar kurang lebih mencapai 30.000 ton/tahun. Proses produksi DOP ini menggunakan Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB, bahan baku yang digunakan seperti 2-ethyl hexanol (2-EH), phthalic anhydride (PA) dan katalis Tetra Isopropyl Titanane (TIPT) dimasukkan kedalam reaktor secara bersamaan. Reaktor jenis kontinyu ini memiliki beberapa kelebihan diantaranya nya perawatannya relatif murah dengan kondisi operasi *steady state*. Sehingga perlu dilakukan evaluasi energi pada reaktor dengan tujuan untuk mengetahui *heat loss* pada saat proses pembuatan DOP. Dari hasil penelitian tersebut terhitung nilai  $Q$  input ( $Q_1$ ) pada reaktor sebesar 2.883.560,52 kJ dengan kebutuhan energi pada reaktor  $Q$  reaksi ( $Q_2$ ) sebesar 119.179,759 kJ dan nilai  $Q$  output ( $Q_3$ ) sebesar  $1,86288693 \times 10^{12}$  kJ. Dari perhitungan evaluasi energi di atas diperoleh nilai *heat loss* sebesar  $-1,86288393 \times 10^{12}$  kJ yang relatif cukup besar. Untuk mengurangi hal tersebut reaktor perlu ditambahkan jaket pendingin agar dapat meredam terjadinya perpindahan panas pada reaktor.

**Kata kunci:** DOP, Neraca Energi, RATB

**ABSTRACT:** *Dioctyl Phthalate* (DOP) is an auxiliary material in several plastic materials industries which are usually called *plasticizers*, such as in the cable industry, car seats and other household industrial plasticizers, therefore the availability of DOP can help in the plastics industry and can also become an export commodity. The process of making DOP is carried out in two steps, namely esterification with a tetrabutyl titanete catalyst and dealcoholization with a reaction temperature of 165°C. DOP began to be produced domestically with the largest factory capacity of approximately 30,000 tons/year. This DOP production process uses a Stirred Tank Flow Reactor (RATB, the raw materials used such as 2-ethyl hexanol (2-EH), phthalic anhydride (PA) and Tetra Isopropyl Titanane (TIPT) catalyst are entered into the reactor simultaneously. This type of continuous reactor has several advantages, including relatively cheap maintenance with steady state operating conditions. So it is necessary to evaluate the energy in the reactor with the aim of knowing the heat loss during the process of making DOP. From the results of this research, the value of  $Q$  input ( $Q_1$ ) in the reactor is 2.883.560,52 kJ with the energy requirement for the  $Q$  reaction reactor ( $Q_2$ ) of 119,179,759 kJ and the  $Q$  output value ( $Q_3$ ) of  $1,86288693 \times 10^{12}$  kJ. From the energy evaluation calculation above, the heat loss value is  $-1,86288393 \times 10^{12}$  kJ which is relatively large. To reduce this, a cooling jacket needs to be added to the reactor to reduce heat transfer in the reactor.

**Keywords:** DOP, Energi Balance, RATB

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini, pemerintah sedang mengembangkannya industri kimia sebagai sektor strategis yang berperan krusial dalam Pembangunan nasional. Industri ini dianggap sebagai fondasi utama bagi perkembangan industri lainnya, seperti kemasan, serat kain, tekstil, elektronika, otomotif, barang plastik hingga obat-obatan. Kementerian Perindustrian menyatakan bahwa keberhasilan pembangunan industri nasional sangat tergantung pada kemajuan industri kimia. Dengan menjadi pemasok bahan baku bagi industri lainnya, diharapkan sektor ini memiliki kapasitas yang memadai, kinerja yang stabil, dan konsisten. Tujuannya adalah menunjukkan bahwa bahan kimia merupakan komoditas strategis yang menentukan arah kebijakan pemerintah, terutama dalam aspek ekonomi yang tercermin dalam kontribusinya terhadap Produk Domestik Bruto (PDB). Pada tahun 2022, industri kimia menjadi kontribusi terbesar ketiga dalam sektor industri pengolahan nonmigas. Selain industri migas dan nonmigas terdapat juga industri produk bahan pembantu. (Republika, 2023)

*Diethyl phthalate* (DOP) adalah salah satu produk bahan pembantu dalam industri yang paling umum digunakan sebagai *plasticizer* dalam industri bahan plastik. Produk ini sangat diminati karena kinerjanya yang baik, kemampuan campuran yang efisien, volatilitas yang rendah, ketahanan terhadap suhu dingin dan panas, minimnya perubahan bentuk, kestabilan terhadap air dan sinar UV, serta sifat listrik yang baik. DOP digunakan dalam pembuatan produk seperti *Premature Ventricular Contractions* (PVC), *Polietena* (PE) dan *cellulose*, termasuk dalam pembuatan kabel, cetakan plastik, pipa, bahan buatan kulit, atau sebagai bahan pelembut dalam produk karet. (Ramadhani, AN., 2023)

*Diethyl Phthalate* dibuat melalui cara mereaksikan *phthalate anhydride* (PA) dan *2-ethyl hexanol* (2-EH) dengan katalis *Tetraisopropyl Titanate* (TPT). Pada suhu 100 – 160°C dalam tekanan 760 torr didalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB), Reaksi yang dihasilkan bersifat eksotermis. Tahapan proses meliputi penyiapan bahan baku *phthalate anhydride* (PA) dan *2-ethyl hexanol* (2-EH), reaksi pembentukan *Diethyl Phthalate* (DOP) dalam RATB, penetralan dengan Natrium Hidroksida (NaOH), pemisahan didalam dekanter dan pemurnian produk di menara destilasi.

Indonesia memiliki beberapa pabrik yang memproduksi *Diethyl phthalate* untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri, Adapun data kapasitas dapat di lihat dari tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik Pabrik DOP di Indonesia

Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
PT. Petronika	30.000
PT. Eternal Buana Chemical Industri	30.000
PT. Indopolymers Adiputra	7.200
PT. Eterindo Nusa Graha	45.000
PT. Sari Dahin Alasindo	30.000

Metode yang digunakan untuk proses produksi DOP menggunakan proses reaksi esterifikasi. Pembuatan DOP dapat dibedakan menjadi 2 macam menurut jenis katalisnya yang pertama esterifikasi dengan katalis asam asetat, proses esterifikasi dengan jenis ini dilakukan dengan dua langkah yaitu pembentukan monoester dan pembentukan diester. Uraian proses dapat dilihat dari table 2.

**Tabel 2.** Karakteristik Jenis-Jenis Proses (Nur, H., Mahmudatun, N. 2021)

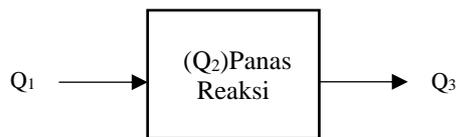
Parameter	Katalis asam asetat	Katalis tetrabutyl titanate
Waktu reaksi	1-1,5 jam	10-15 menit
Jenis katalis	Homogen	Homogen
Pemisahan Katalis	Susah Dipisahkan	Susah dipisahkan
Yield	99,3%	99,6%
Konversi	99%	99,8%
Produk yang dihasilkan	DOP dan Air	DOP dan Air
Suhu reaksi	100°C 250°C	165°C, 185°C dan 200°C

Aliran reaktor kontinyu merupakan *steady-state*. Dalam keadaan *steady-state*, komposisi pada setiap titik tidak berubah seiring dengan waktu. Reaktor CSTR merupakan tangki pengaduk dengan dilengkapi beberapa instrumen lain seperti termometer. Tangki reaktor CSTR dilengkapi dengan mantel yang berisi pemilih jenis reaktor, kelebihan CSTR menurut Levenspiel adalah produk lebih stabil, kualitas energi meningkat, campuran cepat merata dan seragam, suhu dan komposisi campuran dalam reaktor sama, waktu tinggal dan volume lebih besar, relatif murah konstruksi, mudah dikontrol, perawatan dan pembersihan relatif murah serta berguna untuk mereaksikan bahan dengan satu jenis fasa. (AR Nahara, 2021)

Kegiatan evaluasi energi adalah kegiatan sistematis yang meliputi pengamatan, pencatatan, pengukuran dan penilaian terhadap fasilitas penggunaan energi untuk mengidentifikasi potensi atau peluang yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan energi. Nantinya, juga dapat berisi rekomendasi tertentu untuk perbaikan atau energi terbarukan jika diperlukan guna mendukung tercapainya target yang diharapkan.

## 2. METODOLOGI PERCOBAAN

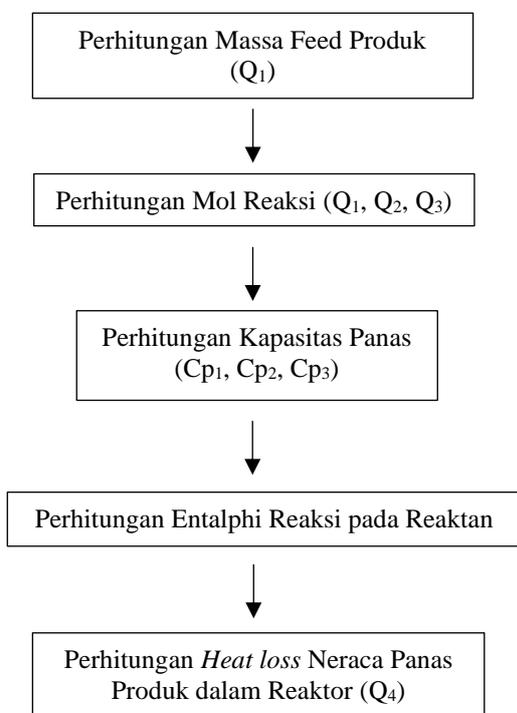
Persamaan yang digunakan untuk melakukan evaluasi energi dapat dilihat pada persamaan (1) - (9), keadaan reaktor keadaan reaktor tidak memiliki



Persamaan reaksi :



Dari persamaan reaksi diatas neraca panas masuk – neraca panas keluar ± panas reaksi neraca panas akumulasi. Selain itu, algoritma perhitungan neraca panas untuk reaktor ditunjukkan oleh diagram alir dibawah ini.



## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaktor adalah suatu alat proses tempat di mana terjadinya suatu reaksi berlangsung, didalam reaktor bahan baku mengalami perubahan bentuk

hingga menghasilkan suatu produk. Reaktor RATB adalah jenis reaktor ideal didalam ilmu teknik kimia dimana reaktor diasumsikan berjalan pada keadaan *steady state* dengan aliran reaktan dan produk secara berkelanjutan. Neraca panas adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energi masuk dan energi keluar suatu sistem yang berdasarkan pada satuan waktu operasi. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan ( $Q_1$ ) adalah 2.883.560,52 kj sedangkan didalam proses reaksi ( $Q_2$ ) membutuhkan energi sebesar 119.179,759 kj Untuk keluaran energi pada reaktor terhitung bahwa neraca energi ( $Q_3$ ) sebesar  $1,86288693 \times 10^{12}$  kj. Dari perhitungan neraca energi di atas, dapat juga terhitung *heat loss* yang terjadi pada saat proses produksi berlangsung, menurut perhitungan *heat loss* yang keluar sebesar  $1,86288393 \times 10^{12}$  kj.

Hukum konservasi energi (hk I termodinamika) [Energi masuk] – [Energi keluar] + [Energi yang terbangkitkan sistem] – [Energi yang terkonsumsi] = [Energi terakumulasi dalam sistem].

Jenis sistem energi yang terjadi pada proses pembuatan DOP adalah jenis isotermik, hal ini karena didalam reaktor yang digunakan, yaitu reaktor RATB diasumsikan berjalan pada keadaan *steady state* dengan aliran reaktan dan produk secara berkelanjutan. Pada reaktor RATB ini umpan yang masuk dianggap memiliki suatu komposisi yang sama dari masuk ke suatu reaktor keluar memiliki suatu komposisi yang sama pula seperti pada tangki (Danang, 2007). Berdasarkan persamaan (1) s.d (9) didapatkan nilai laju perpindahan panas sesuai dengan **Tabel 3, 4 dan 5**.

**Tabel 3** Perhitungan Kebutuhan Energi dalam Reaktor

Senyawa	$\Delta H$ reaktan (kj/mol)	$\Delta H$ produk (kj/mol)	$\Delta H$ reaksi (kj)
PA	-3259,4		
2-EH	-432,88		119.179,759
DOP		-242	
H <sub>2</sub> O		115.729,474	

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai energi yang dibutuhkan reaktor untuk melakukan proses produksi DOP sebesar 119.179,759 kj. Nilai diatas didapatkan dari hasil perhitungan delta H masing-masing antara bahan baku dengan delta H produk.

**Tabel 4** Perhitungan Energi Keluar Reaktor

Senyawa	$Q_3$ (kj)
DOP	$1,86257369 \times 10^{12}$
H <sub>2</sub> O	313,050.650
2-EH	191.696,539
Total	$1,86288693 \times 10^{12}$

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai keluaran energi pada reactor sebesar  $1,86288693 \times 10^{12}$  kj. Energi keluar ini perlu dihitung karena salah satu nilai perhitungan seberapa besar *heat loss* yang terjadi saat proses produksi terjadi.

**Tabel 5** Perhitungan *Heat Loss* Reaktor

Senyawa	Kalor (kj)	Q <sub>4</sub> (kj)
Q <sub>1</sub>	2.883.560,52	-
Q <sub>2</sub>	119.179,759	-
Q <sub>3</sub>	$1,86288693 \times 10^{12}$	$1,86288693 \times 10^{12}$

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh *heat loss* yang keluar sebesar  $-1,69353475 \times 10^{12}$ . *Heat loss* adalah proses kehilangan energi panas akibat terjadinya perpindahan panas pada suatu alat. Karena reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, untuk mempertahankan suhu yang ada didalam reaktor agar isothermal, perlu ditambahkan jaket pendingin untuk mengambil dan mengurangi energi yang timbul. Pendingin yang biasanya digunakan berupa air atau steam (Yoga., 2023).

#### 4. KESIMPULAN

*Diethyl phthalate* (DOP) adalah salah satu produk bahan pembantu dalam industri yang paling umum digunakan sebagai *plasticizer* dalam industri bahan plastik. Produk ini sangat diminati karena kinerjanya yang baik, kemampuan campuran yang efisien, volatilitas yang rendah, ketahanan terhadap suhu dingin dan panas, minimnya perubahan bentuk, kestabilan terhadap air dan sinar UV, serta sifat listrik yang baik. DOP digunakan dalam pembuatan produk seperti *Premature Ventricular Contractions* (PVC), *Polietena* (PE) dan *cellulose*, termasuk dalam pembuatan kabel, cetakan plastik, pipa, bahan buatan kulit, atau sebagai bahan pelembut dalam produk karet. *Diethyl Phthalate* dibuat melalui cara mereaksikan phthalate anhydride (PA) dan 2-ethyl hexanol (2-EH) dengan katalis *Tetraisopropyl Titanate* (TPT). Pada suhu 100 – 160°C dalam tekanan 760 torr didalam reaktor alir tangki berpengaduk (RATB), Reaksi yang dihasilkan bersifat eksotermis.

Reaksi kimia yang terjadi proses pembuatan DOP secara eksotermis (menghasilkan panas), maka energi yang dihasilkan disebut sebagai energi yang terbangkitkan sistem. *Heat loss* yang terjadi pada proses produksi DOP relatif cukup besar yaitu  $-1,86288393 \times 10^{12}$ . Untuk mengurangi hal tersebut reaktor perlu ditambahkan jaket pendingin. Pemilihan ini berdasarkan Luas area transfer panas reaktor lebih kecil dibandingkan dengan luas area transfer jaket ke reaksi.

#### 5. NOMENKLATUR

Berikut keterangan rumus dari persamaan yang digunakan untuk menentukan evaluasi energi yang dilihat dipersamaan 1.

BM	=	Berat Molekul (gr/mol)
Cp	=	Kapasitas Kalor (J/K)
dT	=	Laju Reaksi (M/s)
n	=	Molaritas (mol/liter)
Q <sub>1</sub>	=	Umpan Masuk (kj)
Q <sub>2</sub>	=	Umpan dalam Reaksi (kj)
Q <sub>3</sub>	=	Umpan Keluar (kj)
ΔH	=	Entalpi Reaksi Standar (J)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Nur, H., Mahmudatun, N. 2021. Prarancangan Pabrik Diethyl Phthalate Dari Phthalic Anhydride Dan 2-Ethyl Hexanol Dengan Katalis Tetraethyl Titanate Melalui Proses Esterifikasi Kapasitas 25.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*. Vol. 4 No. 1.
- Nahara, AR., Mustafa, AA., Zuchrillah, DR. 2021. Pemilihan Jenis Reaktor pada proses *Mixed Acid Route* di Pabrik Pupuk NPK. Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Ramadhani, AN., 2023. Pabrik Diethyl Phthalate dari Phthalic Anhydride dan 2-ethyl Hexanol dengan Katalis Tetraethyl Titanate Melalui Proses Esterifikasi. Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
- Republika.Co.Id, Jakarta, 2023. Kemenperin: Industri Kimia Berperan Penting dalam Pembangunan Nasional. <https://ekonomi.republika.co.id/berita/rv64ac490/kemenperin-industri-kimia-berperan-penting-dalam-pembangunan-nasional>(accessed 25.11.23)
- Risqi, K., 2009. Prarancangan Pabrik Diethyl Phthalate Dari Phthalic Anhydride Dan 2-Ethyl Hexanol Dengan Katalis Tetraethyl Titanate Melalui Proses Esterifikasi Kapasitas 25.000 Ton/Tahun. *library.uns.ac.id*.
- Yoga, R., 2023. Prarancangan Pabrik Diethyl Terephthalate Dari Terephthalic Acid Dan 2-Ethyl-Hexanol Dengan Katalis Asam Sulfat Kapasitas 20.000 Ton/Tahun (Perancangan Reaktor (Re-201)). Universitas Lampung Bandar Lampung.