

Evaluasi Energi Pada Reaktor Kontinyu Terhadap Produksi DOP

Evaluation Of Energy In A Continuous Reactor On DOP Production

E. Q. Widayanti*

Universitas Muhammdiyah Gresik, Gresik - Indonesia

*Email: Estyqorry01@gmail.com

Artikel histori:

Diterim 09 Januari 2024

Diterima dalam revisi 12 Januari 2024

Diterima 21 Januari 2024

Online 29 Februari 2024

ABSTRAK: *Diocetyl 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 diantara 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 2.549.277,16 kJ dengan kebutuhan energi pada reaktor Q reaksi (Q_2) sebesar 119.179,759 kJ dan nilai Q output (Q_3) sebesar 2.549.277,16 kJ. Dari perhitungan evaluasi energi di atas diperoleh nilai *heat loss* sebesar $-1,6935 \times 10^{12}$ 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: *Diocetyl 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 2,549,277.16 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 2,549,277.16 kJ. From the energy evaluation calculation above, the heat loss value is -1.6935×10^{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, *Energy Balance*, RATB

1. PENDAHULUAN

DOP berbentuk cairan jernih, agak kental, memiliki rumus molekul $C_{24}H_{38}O_4$ dengan berat molekul 390,564 g/mol, karakteristik lain dari DOP adalah mudah menguap dan tidak korosif (Budi & Gerald., 2022). Banyaknya jumlah industri kimia, terutama industri bidang bahan plastik yang terbuat dari *Polyvinly Chloride* (PVC), membuat DOP menjadi salah satu bahan *plastictizer* yang kebutuhannya akan terus meningkat, *plastictizer* sendiri yaitu bahan yang dapat memberikan efek elastis dan tidak mudah patah (Rahajeng., 2018). Meskipun DOP sudah mulai diproduksi di dalam negeri, namun untuk mencukupi kebutuhan industri dalam negeri Indonesia masih melakukan impor DOP (Anisa & Tommy., 2020). Dengan adanya pabrik DOP dalam negeri diharapkan dapat mengurangi nilai kebutuhan impor dan kebutuhan bahan baku untuk industri khususnya barang yang dari plastik dapat terpenuhi (Nur & Mahmudatun., 2021). Kapasitas data pabrik DOP yang berdiri di dalam negeri dapat dilihat di **Tabel 1**

Tabel 1 Kapasitas Produksi DOP di Indonesia

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

Metode yang digunakan untuk proses produksi DOP menggunakan proses reaksi esterifikasi. Pembuatan DOP dapat dibedakan menjadi 2 macam menurut jenis katalisnya (sapute dkk., 2013). proses yang pertama esterifikasi dengan katalis asam asetat, proses esterifikasi dengan jenis ini dilakukan dengan dua langkah yaitu pembentukan monoester dan pembentukan diester. Sedangkan esterifikasi dengan katalis tetrabutyl titanate dengan dua langkah esterifikasi dan dealkoholisasi (Ayu., 2023). Uraian perbedaan proses dapat dilihat pada **Tabel 2**

Tabel 2 Uraian Perbedaan Proses DOP

Parameter	Katalis tetrabutyl titanate	Katalis asam asetat
Waktu reaksi	10-15 menit (Bhutada & pangarkar, 1986)	1-1,5 jam (Yinping, 2014)
Jenis katalis Pemisahan Katalis Yield	Homogen Susah dipisahkan 99,6% (Yanhua dkk, 2009)	Homogen Susah dipisahkan 99,3% (Yinping, 2014)
Suhu reaksi	Mulai dari 165°C, 185°C & 200°C (Bhutada & pangarkar, 1986)	100°C - 250°C (Yinping, 2014)
Produk yang dihasilkan Konversi	DOP dan Air 99,8% (Yanhua dkk., 2009)	DOP dan Air dihasilkan 99% (Uhm dkk., 1987)

Sebagian besar proses produksi DOP menggunakan katalis TIPT, hal ini dikarenakan *yield* pada TIPT mencapai 99,6%, serta waktu yang dibutuhkan untuk mereaksikan bahan sangat cepat yaitu 10-15 menit dengan hasil DOP memiliki konversi 99,8% (Sulistiyawati., 2023).

Proses pembuatan DOP dilakukan didalam reaktor, reaktor merupakan bagian paling penting dari industri kimia, karena reaktor merupakan suatu tempat terjadinya suatu reaksi berlangsung, baik reaksi kimia atau reaksi nuklir, serta merubah bahan baku menjadi suatu produk (Irma & Nasrul., 2019). Reaktor mempunyai beberapa jenis, untuk proses DOP ini menggunakan reaktor jenis kontinyu yaitu suatu reaktor yang mempunyai aliran masukan dan keluaran, terdiri dari campuran heterogen dan homogen. Reaksi yang dioperasikan oleh reaktor ini adalah *steady*, dimana arus yang masuk harus sama dengan arus keluar (Sulistiyawati., 2023). Berikut beberapa kelebihan menggunakan reaktor kontinyu :

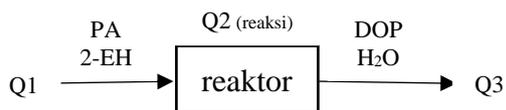
1. Pembersihan dan perawatan relative mudah
2. Opearsi dalam keadaan *steady* membuat peralatan produktif lebih stabil
3. Campuran lebih homogen karena penggunaan pengadukan (Thakore., 2015)

Reaktor jenis kontinyu yang digunakan untuk proses DOP yaitu RATB dimana bahan baku untuk proses DOP yaitu 2-EH dan PA serta katalis TPT dimasukkan kedalam reaktor secara bersamaan. Reaksi yang terjadi didalam reaktor RATB merupakan reaksi esterifikasi antara 2-EH dan PA. Katalis yang digunakan untuk proses produksi DOP adalah TIPT karena di produksi di dalam negeri sehingga harganya relatif murah (Nur & Mahmudatun 2021).

Dari keterangan dan kelebihan penggunaan reaktor kontinyu diatas, maka perlu dilakukan evaluasi energi pada reaktor, hal ini dilakukan untuk mengetahui neraca energi yang diperlukan untuk suatu proses pembuatan DOP serta untuk mengetahui heat loss yang terbuang saat proses produksi dilakukan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian ini diambil berdasarkan trial massa masuk evaluasi energi pada reaktor. Persamaan yang digunakan untuk evaluasi energi dapat dilihat dari persamaan (1) sampai (9).



Persamaan reaksi :



Dari persamaan reaksi diatas neraca panas masuk – neraca panas keluar ± panas reaksi neraca panas akumulasi..... (1)

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 = (Q_4) \text{ Heat Loss} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_1 = n \times C_p \times Dt \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_2 = \Delta H \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta H = \Delta H \text{ Produl} - \Delta H \text{ Reaktan} \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta H = (\Delta H C_{24}H_{38}O_4 + \Delta H H_2O) - (\Delta H C_8H_4O_3 + \Delta H C_8H_{18}O) \dots\dots\dots (6)$$

$$n = \text{Massa} / \text{BM} \dots\dots\dots (7)$$

$$Q_3 = n \times C_p \times dT \dots\dots\dots (8)$$

$$C_p \times dT = f A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \dots\dots\dots (9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan diatas sebelum menghitung nilai evaluasi energi pada reaktor, perlu dilakukan perhitungan neraca panas. Neraca panas merupakan suatu persamaan yang menyatakan hubungan antara energi masuk dengan energi keluar suatu sistem yang biasanya berdasarkan dengan satuan suatu

operasi (Laila., 2020), biasanya dituliskan dengan persamaan

$$[\text{energi masuk}] + [\text{energi yang terbentuk}] = [\text{energi keluar}] + [\text{energi yang terpakai}]$$

Energi sendiri bisa dipindahkan dalam bentuk kerja (W) atau bisa juga dalam bentuk panas (Q), energi dapat keluar dan masuk bersama suatu bahan atau tanpa suatu bahan (Himmelblau., 2012), berikut beberapa jenis sistem yang digunakan dalam neraca energi :

1. Adiabatik, proses perubahan sistem dengan suhu yang tidak tetap, tanpa adanya kalor yang masuk atau keluar
2. Isobarik, proses perubahan sistem dengan tekanan tetap dan volume sistem akan bertambah seiring pertambaham kalor yang masuk.
3. Isokhorik, sistem tidak terjadi perubahan volume, meskipun ada sejumlah kalor masuk atau keluar sistem
4. Isotermik, sistem yang tidak terjadi perubahan energi karena berlangsung dalam suhu konstan sehingga kalor dan perubahan energi sama dengan usaha sistem (Maduratna., 2021)

Jenis sistem energi yang terjadi pada proses pembuatan DOP adalah jenis isotermik, hal ini karena didalam reaktor yang digunakan, yaitu reaktor RATB dapat diasumsikan bahwa reaktor berjalan pada keadaan *steady state*, aliran reaktan dan produk terjadi secara berkelanjutan. Pada reaktor RATB ini umpan yang akan masuk dianggap memiliki suatu komposisi yang sama dari masuk ke suatu reaktor hingga keluar memiliki suatu komposisi yang sama pula seperti pada tangki (Annisa dkk., 2021). Alasan memilih reaktor RATB untuk proses produksi DOP adalah karena volume RATB relatif lebih besar untuk menampung jumlah kapasitas produksi dibandingkan dengan reaktor jenis lainnya, sehingga waktu penyimpanan dalam reaktor juga besar, maka dari itu zat pereaksi dapat lebih lama bereaksi dalam reaktor (Ani & Sumarni., 2021). 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	ΔH reaktan (kj/mol)	ΔH produk (kj/mol)	ΔH reaksi (kj)
PA	-3259,4		
2-EH	-432,88		119.179,759
DOP		-242	
H2O		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	Q1 (kj)	Q3
DOP	1,69325338x ¹²	
H2O	284.592.266	1,69353724x10 ¹²
2-EH	269.445,907	

Dari perhitungan diatas diperoleh nilai keluaran energi pada reaktor sebesar 2.549.277,16 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	Q (kj)	Q4 (kj)
Q1	2.549.277,16	
Q2	119.179,759	-1,69353475x10 ¹²
Q3	1,69353724x10 ¹²	

Dari hasil perhitungan diatas diperoleh heat loss yang keluar sebesar -1,69353475x10¹². 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

DOP adalah salah satu produk umum yang sering digunakan sebagai bahan tambahan atau pembantu di industri bahan plastik atau yang biasa disebut dengan *plasticizer* seperti pada industri kabel, pabrik karpet, jok kursi mobil, bahan pelentur untuk keperluan rumah tangga, dan lain-lain. Proses DOP terjadi didalam reactor RATB alasan pemakain reaktor ini suhu dan komposisi campuran dalam reaktor selalu sama, serta memiliki kapasitas yang relatif besar dibandingkan dengan reaktor lainnya

Reaksi kimia yang terjadi proses pembuatan DOP secara eksotermis (menghasilkan panas), energi yang dihasilkan biasanya disebut dengan energi yang dibantu oleh sistem. *Heat loss* yang terjadi pada proses produksi DOP relatif cukup besar yaitu -1,69353475x10¹². Untuk mengurangi hal tersebut reaktor perlu ditambahkan jaket pendingin. Pemilihan ini berdasarkan luas area transfer panas reaktor lebih kecil jika dibandingkan dengan luas area transfer jaket ke reaktor.

5. NOMENKLATUR

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

- BM = Berat Molekul (kg/mol)
- C_p = Kapasitas Kalor (kj/kmol)
- dT = Laju Reaksi
- N = Molaritas (mol)
- Q_1 = Umpan Masuk (kj)
- Q_2 = Umpan dalam Reaksi (kj)
- Q_3 = Umpan Keluar (kj)
- ΔH = Entalpi Reaksi Standar

DAFTAR PUSTAKA

- Ani, P., Sumarni., 2021. Dasar–Dasar Perancangan Reaktor. Akprind Press Yogyakarta.
- Anisa, D. B., Tommy, I. K., 2020. Prarancangan Pabrik Dioctyl Phthalate Dari Phthalic Anhydride Dan 2-Ethyl Hexanol Kapasitas 35.000 Ton/Tahun. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Annisa, R. N., Aghin, A. M., Daril, R. Z. 2021. Pemilihan Jenis Reaktor Pada Proses Mixed Acid Route Di Pabrik Pupuk NPK. Jurnal Teknik ITS. Vol. 10.
- Ayu, N. R., 2023. Pabrik Dioctyl Phthalate Dari Phthalic Anhydride Dan 2-Ethyl Hexanol Dengan Katalis Tetrabutyl Titanete Melalui Proses Esterifikasi. Universitas Pembangunan Nasional Jawa Timur.
- Bhutada, S. R. and V. G. Pangarkar. 1986. Esterification of Phthalic Anhydride with 2-Ethylhexanol. J. Chem. Tech. Biotechnol. 36: 61-66.VKJK.
- Budi, D. K. I., Gerald, A. P., 2022. Perencanaan Jalur Pipa Dan Perhitungan Daya Pompa Untuk Bahan Kimia Cair Dioctyl Phthalic (DOP) di PT. X Gresik. Seniati ITN Malang.
- David Himmelblau, James B. Riggs. 2012. Basic Principles and Calculation Chemical Engineering. New York : Mc. Graw Hill Book Company Inc.
- Irma, Y. D., Nasrul, Z. A. M., 2019. Optimasi Aplikasi Kontrol Pada Tekanan Di Continous Stirred Tank Reactor (CSTR) Menggunakan Response Surface Methodology. Jurnal Teknologi Kimia Unimal.
- Laila, S., 2020. Perhitungan Neraca Massa Dan Neraca Panas Pada Pra-Rancang Pabrik 1,3-Butadiena Dengan Proses Dehidrogenasi N-Butana Kapasitas 93.000 Ton/Tahun. Universitas Negeri Semarang.
- Maduratna, D. F., 2021. Perhitungan Neraca Masa Dan Energi Unit Primary Dan Secondary Reformer Pembuatan Amonia Departemen Produksi IA PT. Petrokimia Gresik. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Nur, H., Mahmudatun, N. 2021. Prarancangan Pabrik Dioctyl Phthalate Dari Phthalic Anhydride Dan 2-Ethyl Hexanol Dengan

- Katalis Tetrabutyl Titanate Melalui Proses Esterifikasi Kapasitas 25.000 Ton/Tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*. Vol. 4 No. 1.
- Rahajeng, H., 2018. Analisis Kapabilitas Proses Produksi Dioctyl Phthalate Di PT. Petronika Gresik. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Satpute, Satchidanand R., Yogesh H Shinde and Prakash V Chavan. 2013. Esterification of Phthalic Anhydride with 2-Ethylhexanol. *International Journal of Research in Advent Technology*. India.JN
- Sulistiyawati, S., 2023. Perancangan Pabrik Dioctyl Phthalate Dari Phthalic Anhydride Dan 2-Ethyl Hexanol Dengan Katalis Tetrabutyl Titanate Melalui Proses Esterifikasi. UPN Jawa Timur.
- Thakore, Shuchen B dan Bharat I Bhatt. 2015. *Introduction to Process Engineering and Design*. New Delhi: McGraw Hill Education (India).
- Uhm, Sung J., Lee, Tae J., Choi, Eun S., Yu and Dong W. 1987. Process for Producing Phthalic Acid Esters. US Patent 4675434.
- Yanhua, Liu., Liu Jianjun., Sun Changchun., Feng Cui., Zhang Jianping Li and Feng Chun. 2009. Method for Improving Esterification Step of Plasticizer Plant with Annual Production Capacity of 200.000 Tons. CN Patent 101591242A.K.
- Yaws, C. L., 1999. *Chemical Properties Handbook*, Mc Graw Hill Book Co., New York.
- Yinping, Chin. 2014. Preparation Method of Dioctyl Phthalate (DOP). CN Patent 104072372A.
- Yoga, R., 2023. Prancangan Pabrik Dioctyl 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.