

PRARANCANGAN PABRIK *DIOCTYL TEREPHTHALATE* DARI
ASAM TEREFTALAT DENGAN KAPASITAS 15.000
TON/TAHUN



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan Diploma Empat (D-4) Program Studi Teknologi Kimia Industri
Jurusan Teknik Kimia
Politeknik Negeri Ujung Pandang

NURUL KHOFIFAH IMRAN

432 20 075

PROGRAM STUDI D-4 TEKNOLOGI KIMIA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK KIMIA
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2022

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi dengan judul “Prarancangan Pabrik *Diocetyl Terephthalate* Dari Asam Tereftalat Dengan Kapasitas 15.000 Ton/Tahun” oleh Nurul Khofifah Imran 43220075 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, 18 Agustus 2022

Menyetujui :

Pembimbing I



Hb. Slamet Yulistiono, Dip.Ing., MT
Dr. Bidhawati, S.T., M.T.
NIP. 19640315 199703 1 001
NIP. 19760419 200501 2 002

Pembimbing II



Mengetahui,
a.n. Direktur

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Drs. Herman Banggalino, M.T.
NIP 19610831 199003 1 002

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
i	
DAFTAR SIMBOL	xiv
SURAT PERNYATAAN	xix
RINGKASAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tinjauan Pustaka Bahan Baku dan Produk.....	3
1.3 Spesifikasi Bahan Baku Dan Produk	9
1.4 Penentuan Kapasitas Rancang	12
1.5 Uraian Proses	14
BAB II NERACA MASSA DAN PANAS	
2.1 Neraca Massa	18
2.2 Neraca Panas	27

BAB III SPESIFIKASI PERALATAN

3.1	Accumulator –404 (ACC – 404).....	38
3.2	Belt Conveyor – 208 (BC – 208).....	38
3.3	Blower – 212 (BL – 212).....	39
3.4	Bucket Elevator – 106 (BE – 106).....	39
3.5	Bucket Elevator – 210 (BE – 210).....	40
3.6	Condenser – 202 (CD – 202).....	40
3.7	Condenser – 403 (CD – 403).....	41
3.8	Cooler – 204 (C – 204).....	41
3.9	Cooler – 407 (C – 407).....	42
3.10	Decanter – 203 (DC – 203).....	43
3.11	Decanter – 307 (DC – 307).....	44
3.12	Filter Press – 207 (FP – 207).....	44
3.13	Heater – 110 (H – 110).....	44
3.14	Heater – 113 (H – 113).....	45
3.15	Heater – 213 (H – 213).....	46
3.16	Hopper – 104 (HT – 104).....	46
3.17	Mixing Tank – 107 (MT – 107).....	47
3.18	Mixing Tank – 303 (MT – 303).....	47
3.19	Neutralizer Tank – 305 (NT – 305).....	48
3.20	Pompa – 102 (P – 102).....	49
3.21	Pompa – 111 (P – 111).....	49
3.22	Pompa – 109 (P – 109).....	50
3.23	Pompa – 205 (P – 205).....	50
3.24	Pompa – 302 (P – 302).....	51
3.25	Pompa – 304 (P – 304).....	52
3.26	Pompa – 306 (P – 306).....	52
3.27	Pompa – 309 (P – 309).....	53
3.28	Pompa – 401 (P – 401).....	53
3.29	Pompa – 405 (P – 405).....	54
3.30	Pompa – 406 (P – 406).....	55

3.31	Reaktor –201 (R – 201).....	55
3.32	Rotary Dryer-209 (RD – 209).....	56
3.33	Screw Conveyor – 105 (SC – 105)	57
3.34	Silo – 211 (ST – 211).....	57
3.35	Tangki – 101 (T – 101)	58
3.36	Tangki – 102 (T – 102)	58
3.37	Tangki – 301 (T – 301)	58
3.38	Tangki – 408 (T – 408).....	59
3.39	Vaporizer – 402 (VP – 402).....	59
3.40	Gudang – 01 (G-01).....	60
BAB IV UTILITAS		
4.1	Unit Pengadaan Air.....	61
4.2	Unit Pengadaan Steam	67
4.3	Unit Pengadaan Listrik	68
4.4	Unit Pengadaan Bahan Bakar	71
4.5	Spesifikasi Peralatan Utilitas	73
BAB V LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK		
5.1	Lokasi Pabrik	82
5.2	Luas Area Pabrik.....	85
5.3	Tata Letak Pabrik	86
5.4	Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	88
BAB VI STRUKTUR ORGANISASI		
6.1	Bentuk Perusahaan.....	97
6.2	Struktur Organisasi Perusahaan	98
6.3	Tugas Dan Wewenang	101
6.4	Status Karyawan Dan Sistem Penggajian	108
6.5	Sistem Kerja.....	108
6.6	Jumlah Karyawan.....	110
BAB VI ANALISA EKONOMI		
7.1	<i>Total Capital Investment (TCI)</i>	113

7.2	<i>Total Production Cost (TPC)</i>	114
7.3	Analisa Ekonomi.....	115
BAB VIII KESIMPULAN.....		117
DAFTAR PUSTAKA		119



RINGKASAN

Pra rancangan pabrik *dioctyl terephthalate* dari asam tereftalat dengan kapasitas 15.000 ton/tahun menggunakan bahan baku asam tereftalat sebanyak 820,417 kg/jam dan 2-etil heksanol sebanyak 1.622,835 kg/jam. Proses yang digunakan dalam pembuatan *dioctyl terephthalate* adalah proses esterifikasi. Reaksi esterifikasi dimulai dengan mencampurkan reaktan asam tereftalat, 2-etil heksanol, dan katalis H_2SO_4 pada suhu $150^{\circ}C$, tekanan 1 atm dan dimurnikan dengan vaporizer untuk menguapkan 2-etil heksanol.

Pabrik *dioctyl terephthalate* direncanakan didirikan di daerah kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Banten dengan bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan pabrik sebanyak 157 orang yang beroperasi selama 24 jam perhari dari 330 hari kerja pertahun.

Sarana utilitas atau bahan penunjang yang disediakan oleh unit utilitas yaitu, air 20.466,892 kg/jam, *steam* 739,470 kg/jam, listrik 115,578 kWh dan bahan bakar solar 40,068 kg/jam.

Hasil dari analisa ekonomi pabrik *dioctyl terephthalate* cukup menguntungkan dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. *Total capital invesment* (TCI) = US\$ 21.665.331,45
= Rp 432.454.581.447,02
2. Total penjualan = US\$ 21.137.459,22
= Rp 421.917.896.890,08
3. *Total production cost* (TPC) = US\$ 15.331.829,22
= Rp 306.033.618.930,19
4. Cash flow = US\$ 5.797.167,52
= Rp 115.715.361.087,68
5. *Pay out time* (POT) = 3,72 tahun
6. *Break event point* (BEP) = 49,84%

Berdasarkan hasil di atas maka pra rancangan pabrik *dioctyl terephthalate* dari asam tereftalat dengan kapasitas 15.000 ton/tahun layak untuk dipertimbangkan ke tahap perancangan sesuai dengan prosedur yang telah direncanakan.

SUMMARY

Pre-design dioctyl terephthalate plant capacity of 15.000 tons/year using terephthalic acid raw materials as much as 820,417 kg/hour and 2-ethyl hexanol as much as 1.622,835 kg/hour. The process used in the manufacture of dioctyl terephthalate is the esterification process. The esterification reaction begins by mixing terephthalic acid reactants, 2-ethyl hexanol, and H₂SO₄ catalysts at a temperature of 150 °C, a pressure of 1 atm and purified with a vaporizer to evaporate 2-ethyl hexanol.

The factory dioctyl terephthalate is planned to be established in the Krakatau Industrial area, Cilegon, Banten with the company's form is a Limited Liability Company with employees as many as 157 people, operate for 24 hours per day from 330 working days per year.

Utility facilities or supporting materials provided by the utility unit are water 20.466,892 kg / hour, steam 739,470 kg / hour, electricity 115,578 kWh and diesel fuel 40,068 kg / hour.

The result of the economic analysis of the plant dioctyl terephthalate is quite profitable with the following considerations:

1. *Total capital invesment (TCI) = US\$ 21.665,331,45
= Rp 432.454.581.447,02*
2. *Sales proceeds = US\$ 21.137. 459,22
= Rp 421.917.896.890,08*
3. *Total production cost (TPC) = US\$ 15.331.829,22
= Rp 306.033.618.930,19*
4. *Cash flow = US\$ 5.797.167,52
= Rp 115.715.361.087,68*
5. *Pay out time (POT) = 3,72 years*
6. *Break event oint (BEP) = 49,84%*

Based on the results above, the pre-design of the dioctyl terephthalate plant from terephthalic acid with a capacity of 15.000 tons/year deserves to be considered in the design stage by the planned procedures.procedures.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara berkembang yang banyak melakukan pembangunan di segala sektor. Saat ini pembangunan sektor industri mengalami peningkatan, salah satunya adalah pembangunan sektor industri kimia. Namun menurut Kemepreerin kebutuhan bahan baku industri kimia di Indoneisa masih bergantung pada impor (Kemenperin,2020).

Salah satu bahan baku industri kimia yang banyak di impor oleh Indonesia adalah bahan baku pemlastis. Pemlastis adalah senyawa aditif yang ditambahkan ke dalam polimer untuk meningkatkan kelenturan plastik. Berbagai macam bahan pemlastis yang sering digunakan diantaranya yaitu *dioctyl phatalat* (DOP), *diisononyl phatalate* (DINP) dan *dioctyl terephthalat* (DOTP). Namun penggunaan DOP dan DINP dianggap cukup berbahaya bagi lingkungan oleh para peneliti. Phthalate diketahui bisa mengganggu fungsi hormon reproduksi seperti estrogen atau testosteron. Dalam kadar yang cukup tinggi, phthalate bahkan telah dikaitkan dengan gangguan menstruasi, disfungsi ovulasi, dan peningkatan risiko endometriosis (Yulanda,2020).

Bahan pemlastis dapat dibagi menjadi dua kelompok yakni *phthalate* (*orto-phthalate*) dan *non-phthalate* (*para-phthalate*). Awalan orto- dan para- merujuk pada struktur isomernya. DOTP dengan struktur *1,4-benzenedicarboxylic acid* (posisi para) sedangkan DEHP dengan struktur *1,2-benzenedicarboxyl acid* (posisi orto). Bahan pemlastis *diethylhexyl phthalate* (DEHP/DOP) dan *dioctyl therephthalat* (DOTP) memiliki rumus kimia yang sama ($C_{24}H_{38}O_4$), tetapi perbedaan struktur isomernya membuat DEHP menjadi pemlastis *phthalate* dan DOTP sebagai pemlastis *non-phthalat*. Karena pemlastis *phthalate* tidak berikatan dengan resin ketika plastik dibuat

sehingga lebih mudah dilepaskan ke lingkungan dan dihirup atau dicerna yang dapat berbahaya bagi kesehatan. Oleh karena itu saat ini penggunaan bahan pemlastis yang umum digunakan adalah DOTP (*United State International Commission*, 2017).

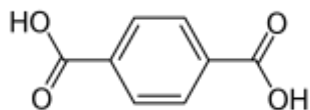
Menurut paten US 2020/0010399 A1, *dioctyl terephthalate* (DOTP) adalah bahan pemlastis yang bebas *phthalate* dan ramah lingkungan. DOTP dapat digunakan dalam proses produksi *poly vinyl chloride* (PVC) dan resin etil selulosa untuk memproduksi plastik film, kulit imitasi, kawat elektrik, pembungkus kabel, lembaran plastik, cetakan produk plastik, dan sebagainya. Berbagai Industri petrokimia di seluruh dunia telah menggunakan DOTP sebagai bahan aditif.

Tingkat konsumsi bahan pemlastis oleh industri polimer sangat tinggi yang menyebabkan impor DOTP di Indonesia sangat dibutuhkan. Salah satu cara untuk mengurangi impor adalah dengan mendirikan pabrik DOTP di Indonesia sehingga diharapkan industri kimia dalam negeri dapat mengalami peningkatan. Bahan baku pembuatan DOTP yang sangat melimpah menjadi pertimbangan pendirian pabrik DOTP di Indonesia. Maka dari itu dilakukan perancangan pabrik pembuatan DOTP untuk memenuhi kebutuhan DOTP dalam negeri.

1.2 Tinjauan Pustaka Bahan Baku dan Produk

1.2.1 Asam tereftalat ($C_6H_4(COOH)_2$)

Asam tereftalat (*terephthalic acid*) adalah senyawa organik yang dikenal juga dengan nama 1,4 *benzene dicarboxylic acid*, senyawa ini mempunyai rumus kimia $C_6H_4(COOH)_2$ merupakan salah satu senyawa petrokimia yang berbentuk kristal atau tepung dan berwarna putih yang digunakan sebagai bahan baku industri serat sintetis. Asam tereftalat merupakan salah satu produk antara yang banyak dibutuhkan oleh industri lain, diantaranya berguna untuk bahan pembuat plastik, film, dan serat *polyester* lainnya.

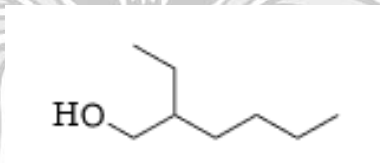


Gambar 1.1 Struktur Kimia Asam Tereftalat

1.2.2 2-Etil Heksanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2\text{OH}$)

2-etil heksanol (2-EH) atau 2-etil heksil alkohol atau oktil alkohol dengan rumus kimia $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2\text{OH}$ merupakan senyawa organik golongan alkohol. Pada suhu kamar berupa suatu cairan tak berwarna, larut dalam semua senyawa organik dan sedikit larut di dalam air. Senyawa ini tingkat toksisitasnya rendah, tapi mudah terbakar.

2-etil heksanol memiliki kegunaan antara lain sebagai bahan baku dalam pembuatan *dioctyl terephthalat* (DOTP) yang berguna untuk pembuatan bahan pemlastis untuk PVC, sebagai bahan baku dioctyl adipate, 2-etilheksil fosfat sebagai aditif untuk minyak pelumas dan lain-lain. 2-etil heksanol juga digunakan sebagai pelarut dan *extracting agent*.

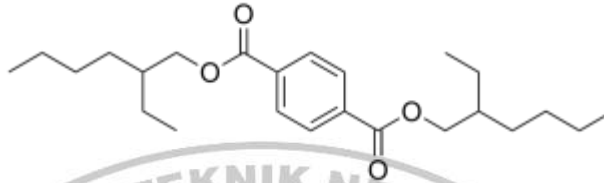


Gambar 1.2 Struktur Kimia 2-Etil Heksanol

1.2.3 *Dioctyl Terephthalate* ($\text{C}_6\text{H}_4(\text{CO}_2\text{C}_8\text{H}_{17})_2$)

Dioctyl terephthalate (DOTP) memiliki formula kimia yaitu ($\text{C}_{24}\text{H}_{38}\text{O}_4$). DOTP adalah cairan tidak berwarna, hampir tidak berbau, sedikit kental yang digunakan untuk membuat resin lebih fleksibel dan lebih mudah diproses sebagai plastik. DOTP adalah bahan kimia organik sintetis dan bagian dari kelompok produk kimia, yang dikenal sebagai bahan pemlastis. *Diethylhexyl terephthalate* juga disebut *dioctyl terephthalate* (DOTP) adalah pemlastis yang tidak beracun untuk wadah makanan dan memiliki kompatibilitas yang baik dengan bahan polimer seperti polivinil klorida (PVC), volatilitas rendah, dan sifat listrik yang sangat baik. *Dioctyl*

terephthalate yang merupakan diester dari asam tereftalat dengan cabang rantai dari 2-ethyl heksanol. Karena aman bagi lingkungan, maka produk ini dapat dijadikan pengganti yang sangat baik untuk *dioctyl phthalate*.



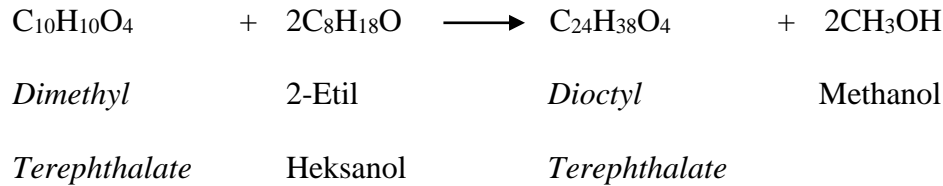
Gambar 1.3 Struktur Kimia *Dioctyl Terephthalate*

1.2.4 Proses Pembuatan *Dioctyl Terephthalate*

1) Proses Transesterifikasi

Patent JP 2003238479 menjelaskan mengenai proses produksi DOTP dengan metode transesterifikasi *dimethyl terephthalate* (DMT) dengan C₆-C₁₈ alkil monohidrat alkohol terdapat dua tahapan proses produksi. Tahap pertama methanol yang terbentuk sebagai produk samping dipisahkan pada temperatur kontrol uap di bawah titik didih alkohol monohidrat dan menggunakan kolom destilasi atau parsial kondensor hingga konsentrasi metil ester mencapai kurang dari 20-30%. Tahap kedua, temperatur reaksi akan naik hingga 198-220 °C setelah ditambahkan umpan alkohol monohidrat segar untuk menghasilkan produk yang mengandung kurang dari 1% berat mono metil ester.

Bahan baku proses transesterifikasi untuk menghasilkan DOTP adalah *dimethyl terephthalat* (DMT) dan 2-etil heksanol. Metode ini merupakan solusi dari metode esterifikasi dimana DMT tidak larut dalam 2-etil heksanol, meskipun demikian muncul masalah baru yakni adanya residu metil etil heksil tereftalat. Industri yang menggunakan proses ini adalah *Eastman Chemical Company* (Amerika) dan menghasilkan produk samping berupa metanol. Reaksi yang terjadi dengan menggunakan bahan baku DMT dan 2-etil heksanol adalah sebagai berikut:



Dimethyl terephthalate dan 2-etil heksanol diumpungkan ke dalam reaktor berpengaduk dengan rasio 1:5 mol dan katalis tetraisopropil titanat sebanyak 0,2 ml dengan temperatur reaksi 198 °C - 220 °C tekanan atmosfer. Methanol yang terbentuk kemudian didestilasi pada suhu 90 °C. Saat laju destilasi alkohol melambat ditambahkan 1,5 mol 2-etilheksanol segar hingga kandungan mono metil ester dalam produk kurang dari 1% berat. Waktu reaksi mencapai 4 jam.

2) Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi adalah sebuah metode untuk membuat suatu diester asam terephthalat termasuk mereaksikan asam tereftalat dan C₆-C₁₈ alkil monohidrat alkohol, dengan adanya katalis berbasis titanium atau zirkonium untuk menghasilkan di (C₆-C₁₈ alkil) terephthalat. Paten US 2015/0307435 A1 menggunakan asam sulfat sebagai katalis. *Diocetyl terephthalate* (DOTP) yang dihasilkan melalui proses esterifikasi umumnya menggunakan bahan baku 2-etil heksanol sebagai C₆ - C₁₈ alkil monohidrat alkohol. Proses ini banyak digunakan di Korea dan memiliki nilai konversi yang tinggi mencapai 90% atau lebih. Reaksi yang terjadi dengan menggunakan bahan baku asam tereftalat dan 2-etil heksanol adalah sebagai berikut:



Reaksi dimulai dengan mencampurkan reaktan asam tereftalat, alkohol, dan katalis H₂SO₄. Berdasarkan paten US 2015/0307435 A1 reaksi dapat dilakukan pada suhu 150-270 °C tekanan 0,1-10 bar dan waktu reaksi bervariasi.

Alkohol diumpankan secara berlebih ke dalam reaktor dan air yang terbentuk dikeluarkan dari reaktor untuk meningkatkan konversi asam tereftalat menjadi DOTP. Beberapa penelitian menggunakan gas nitrogen yang diinjeksikan ke dalam reaktor untuk menguapkan air yang terbentuk. Paten WO 2014/185872 A1 menjelaskan desain reaktor untuk memproduksi DOTP tanpa menggunakan gas nitrogen dengan cara reaktor dihubungkan langsung dengan menara pendingin sehingga semua air yang terbentuk dan alkohol yang tidak bereaksi akan keluar dari reaktor.

Campuran produk dapat berupa di ($C_6 - C_{18}$ alkil monohidrat alkohol) tereftalat, DOTP, residu $C_6 - C_{18}$ alkohol, air, asam tereftalat tak bereaksi. Setelah proses reaksi selanjutnya adalah proses purifikasi DOTP dari campuran produk. Purifikasi DOTP dapat mencakup serangkaian proses yakni distilasi, netralisasi asam, dan filtrasi. Distilasi dilakukan untuk memisahkan alkohol yang tidak bereaksi dalam kemurnian tinggi, misalnya 98%, atau lebih besar. Katalis asam dalam campuran produk dapat dinetralkan. Pemisahan produk reaksi dapat dilakukan sebelum menetralkan katalis asam atau sebaliknya. Katalis dapat dinetralkan dengan mendinginkan campuran produk pada suhu kurang dari 100°C , kemudian menambahkan larutan alkali setara dengan jumlah asam yang ada dalam campuran reaksi. Basa yang cocok untuk digunakan misalnya garam logam alkali, khususnya garam natrium seperti natrium karbonat, dan hidroksida logam alkali seperti natrium hidroksida. Penyaringan bertujuan untuk memisahkan asam tereftalat yang tidak bereaksi dan garam yang terbentuk dengan campuran produk. Purifikasi DOTP selanjutnya dengan mengkontakan filtrat dengan zat penghilang warna seperti arang aktif, dan menyaring filtrat yang diolah, misalnya menggunakan bantuan filter, untuk memberikan DOTP dengan spesifikasi yang sesuai.

1.2.5 Pemilihan Proses Pembuatan *Dioctyl Terephthalate*

Berdasarkan pada dua proses pembuatan DOTP yang telah dijelaskan maka dapat dilihat perbedaan pada kedua proses tersebut pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. 1 Perbandingan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi

No		Esterifikasi	Transesterifikasi
1.	Bahan Baku	$C_8H_6O_4$ (asam tereftalat) dan $C_8H_{18}O$ (2-etil heksanol)	$C_6H_4(CO_2CH_3)_2$ (dimetil tereftalat dan $C_8H_{18}O$ (2-etil heksanol)
2.	Kondisi Operasi	T=150-270°C P= 1 atm	T=198-220 °C P= 1 atm
3.	Katalis	H_2SO_4 , TiO_2	$C_{12}H_{28}O_4Ti$
4.	Produk Samping	Air	Methanol
5.	Residu	-	Metil Etil Heksil Tereftalat
6.	Ketersediaan Bahan Baku	Bahan baku tersedia di Indonesia	Bahan baku DMT tidak tersedia di Indonesia
7.	Waktu Reaksi	6 Jam	4 Jam
8.	Rasio Bahan Baku	1:2,0057 mol	1:5 mol

Berdasarkan pada dua proses pembuatan DOTP, maka dalam perancangan ini proses yang digunakan adalah proses estrifikasi. Dapat dilihat dari tinjauan bahan baku seperti asam tereftalat dan 2-etil heksanol yang telah tersedia di Indonesia dan tidak perlu dilakukan proses impor, rasio perbandingan bahan baku yang digunakan pada proses esterifikasi lebih rendah dibandingkan dengan proses transestrifikasi. Penggunaan katalis asam sulfat pada proses estrifikasi lebih menguntungkan karena untuk menghasilkan produk DOTP dari bahan baku asam tereftalat yang telah dicairkan dengan 2-etil heksanol dapat berlangsung menjadi satu aliran proses di dalam reaktor, dan pada proses esterifikasi tidak meghasilkan residu pada proses pembuatan DOTP dibandingkan dengan proses transesterifikasi yang menghasilkan residu metil etil heksil tereftalat.

Proses esterifikasi berlangsung secara eksotermal pada temperatur 150°C, tekanan 1 atm, konversi sebesar 98 - 99% dan waktu reaksi yang terjadi selama adalah 6 jam dengan fase cair. Katalis yang digunakan pada proses esterifikasi DOTP adalah H_2SO_4 , karena jika menggunakan

katalis titanium maka suhu reaksi akan sangat tinggi yaitu 210 °C dan katalis dimasukkan/dicampurkan pada suhu 170 °C (US 2020/0010399 A1) dan untuk menghilangkan air reaksi dari campuran reaksi dengan melakukan *stripping* menggunakan gas inert (US 2015/0307435 A1).

1.3 Spesifikasi Bahan Baku Dan Produk

1.3.1 Spesifikasi Produk

1) *Diocetyl Terephthalate*

Rumus molekul	: $C_{24}H_{38}O_4$ / $C_6H_4(CO_2C_8H_{17})_2$
Berat molekul	: 386,54 g/mol
Wujud	: Cairan pada 25 °C dan 1,013 bar
Warna	: Tidak berwarna
Titik leleh	: -48 °C (225,15 K)
Titik didih	: 383 °C (656,15 K)
Densitas (g/cm ³)	: 0,98

2) Air

Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,02 kg/kmol
Wujud	: Cairan pada 25 °C dan 1,013 bar
Warna	: Tidak berwarna
Titik leleh	: 0 °C (273,15 K)
Titik didih	: 100 °C (373,15 K)
Densitas (g/cm ³)	: 0,9982

- 3) Natrium Sulfat
- Rumus molekul : Na_2SO_4
- Berat molekul : 142,04 kg/kmol
- Wujud : Padatan kristal pada 25 °C dan 1,013 bar
- Warna : Putih
- Titik leleh : 888 °C (1153,15 K)
- Titik didih : 1700 °C (1.973,15 K)
- Densitas (g/cm^3) : 2,68

1.3.2 Spesifikasi Bahan Baku

- 1) Asam Tereftalat
- Rumus molekul : $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4 / \text{C}_6\text{H}_4(\text{COOH})_2$
- Berat molekul : 166,13 kg/kmol
- Wujud : Padat pada 25 °C dan 1,013 bar
- Warna : Putih
- Titik sublimasi : 300 °C (573,15 K)
- Titik lebur : 427 °C (700,15 K)
- Densitas (g/cm^3) : 1,58 (pada 25 °C)
- 2) 2-Etil Heksanol
- Rumus molekul : $\text{C}_8\text{H}_{17}\text{OH} / \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{CH}_2\text{OH}$
- Berat molekul : 130,23 kg/kmol
- Wujud : Cair pada 25 °C dan 1,013 bar
- Warna : Tidak berwarna
- Titik leleh : -20 °C (2053,15 K)

Titik didih : 186 °C (459,15 K)
Densitas (g/cm³) : 0,832

1.3.3 Spesifikasi Bahan Baku Pendukung

1) Asam Sulfat

Rumus kimia : H₂SO₄
Berat molekul : 98 g/ gmol
Wujud : Cair
Warna : Tidak berwarna
Titik leleh : 10 °C (283,15 K)
Titik didih : 288 °C (561,15 K)
Densitas(g/cm³) : 1,84
Kemurnian : 98%

2) Natrium Hidroksida

Rumus molekul : NaOH
Berat molekul : 39,99 kg/kmol
Wujud : Padat 25 °C dan 1,013 bar
Warna : Tidak berwarna
Titik leleh : 318 °C (591,15 K)
Titik didih : 1390 °C (1663,15 K)
Densitas (g/cm³) : 1,09

1.4 Penentuan Kapasitas Rancang

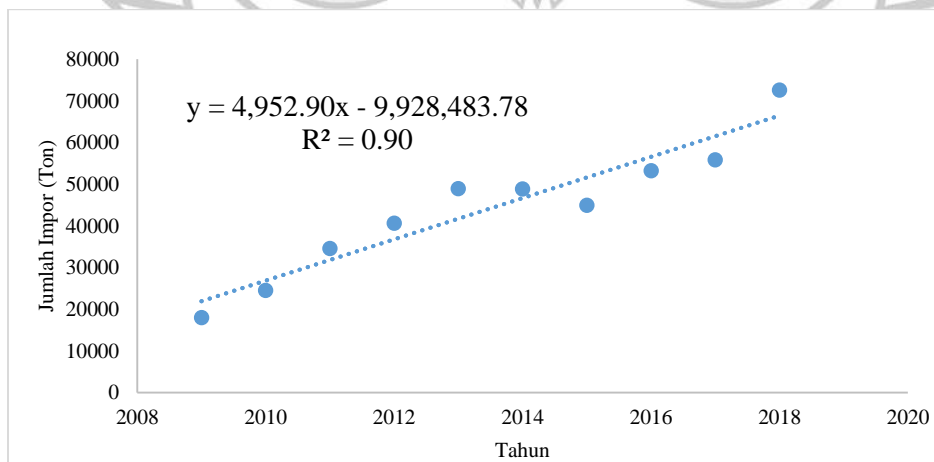
Penentuan kapasitas produksi *diocetyl terephthalate* (DOTP) ditentukan sesuai dengan kebutuhan dalam negeri. Berikut ini kebutuhan impor DOTP pada setiap tahunnya. Data Biro Pusat Statistik menunjukkan:

Tabel 1. 2 Kebutuhan Impor DOTP

No.	Tahun	Kapasitas Impor (Ton/Tahun)
1	2009	17.959,46
2	2010	24.496,16
3	2011	34.523,12
4	2012	40.575,97
5	2013	48.927,04
6	2014	48.852,10
7	2015	44.919,24
8	2016	53.233,84
9	2017	55.846,74
10	2018	72.544,64

(Sumber: Data BPS Tahun, 2020)

Berdasarkan Tabel 1.2 dapat diperkirakan kebutuhan impor DOTP pada tahun 2030 dapat dihitung melalui regresi linear Gambar 1.4 berikut:



Gambar 1.4 Grafik Kebutuhan DOTP di Indonesia Tahun 2009-2018

$$y = \text{slope} \cdot x + \text{intersept}$$

$$y = 4.952,90 \cdot x - 9.928.483,78$$

Dimana:

$$y = \text{Kebutuhan DOTP (ton)} \quad x = \text{Tahun}$$

Pabrik direncanakan akan beroperasi pada tahun 2030, sehingga kebutuhan DOTP pada tahun tersebut adalah:

$$y = 4.952,90 (2030) - 9.928.483,78$$

$$y = 125.903,220 \text{ ton}$$

Berikut ini adalah daftar ketersediaan bahan baku pembuatan DOTP.

Tabel 1. 3 Daftar Perusahaan yang memproduksi bahan baku DOTP

No	Bahan Baku	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
1	Asam Tereftalat	PT. Indorama Petro Chemical	500.000
2	2-Etil Heksanol	PT. Petro Oxo Nusantara	150.000
3	H ₂ SO ₄	PT Petrokimia Gresik	1.170.000
4	NaOH	PT Asahimas Chemical	370.000

Tabel 1. 4 Daftar Perusahaan yang Memproduksi DOTP

No.	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi (Ton/Tahun)
1	Hanhwa – Korea	15.000
2	Aekyung Petrochemical-Korea	20.000
3	Ela Chemical –Turki	40.000
4	Changcun Plastics – Taiwan	50.000
5	Oxea – Eropa	60.000
6	OCI Chemical – Korea	72.000
7	BASF-Inggris	100.000
8	Sibur –Rusia	100.000

Melihat kebutuhan DOTP di Indonesia, kapasitas produksi DOTP, dan ketersediaan bahan baku maka dapat ditetapkan kapasitas produksi pabrik DOTP yang akan dirancang pada tahun 2030 diharapkan akan dapat memenuhi 11% peluang kapasitas produksi DOTP tahun 2030 di Indonesia.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas rancangan (Ton)} &= 125.903,220 \times 11\% \\ &= 13.849,354 \approx 15.000 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

1.5 Uraian Proses

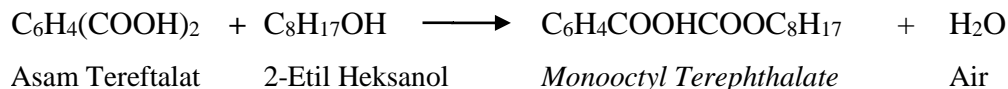
Berdasarkan paten US 2020/0010399 A1 dan US 2015/0307435 A1 secara garis besar pabrik pembuatan DOTP melalui proses esterifikasi dapat dibagi menjadi empat tahapan proses yaitu:

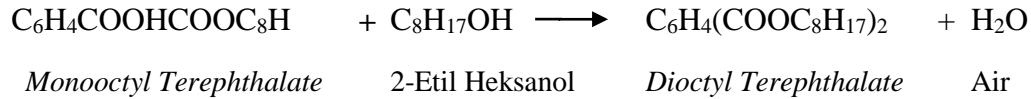
1.5.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Bahan baku 2-etil heksanol dari tangki penyimpanan dialirkan menuju *mixing tank* dan *heater*. Asam tereftalat yang berbentuk padat dari *hopper tank* dipindahkan menggunakan *screw conveyor* dan *bucket elevator* menuju *mixing tank*. Asam tereftalat dan 2-etil heksanol dicampurkan dengan rasio massa 1:1 untuk mencegah penggumpalan asam tereftalat, dan meningkatkan kelarutan asam tereftalat sebelum masuk reaktor. Paten US2018/0362440 A1 menjelaskan dengan adanya pencampuran ini maka dapat meningkatkan efisiensi reaksi dan menurunkan waktu reaksi hingga 37,5% dan luas permukaan asam tereftalat di dalam *slurry* meningkat hingga 5-11%. *Slurry* asam tereftalat kemudian dipanaskan di *heater* pada suhu 150°C. Campuran 2-etil heksanol dan katalis H₂SO₄ sebanyak 1% berat asam tereftalat (US 2015/0307435 A1) dipanaskan di *heater* hingga 150 °C.

1.5.2 Tahap Reaksi

Reaksi kimia pembentukan DOTP disesuaikan dengan paten US 2015/0307435 A1 dengan perbandingan asam tereftalat:2-etil heksanol yaitu 1:2,0057 mol dengan kondisi operasi suhu 150 °C dan tekanan 1 atm menggunakan katalis H₂SO₄. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:





Kedua reaksi berjalan secara berurutan. Reaksi tahap pertama berlangsung sangat lambat dalam suasana heterogen. Reaksi tahap kedua berlangsung dengan sangat cepat jika dibandingkan dengan reaksi tahap pertama, karena reaksi ini berlangsung dalam suasana homogen menghasilkan *dioctyl terephthalate* (DOTP) sehingga reaksi pertama merupakan reaksi pembatas (Dazhuang, 2006). Keluaran atas reaktor merupakan campuran *excess* 2-etil heksanol dan air yang terbentuk selama reaksi berlangsung. Keluaran bawah reaktor adalah asam tereftalat, DOTP dan sisa katalis H_2SO_4 yang tidak bereaksi.

1.5.3 Tahap Separasi

Hasil pada bagian atas reaktor yang berupa uap yakni campuran 2-etil heksanol dan air langsung dikondensasikan di *condenser*. Campuran cairan 2-etil heksanol dan air keluaran *condenser* dialirkan ke *decanter* untuk dipisahkan berdasarkan densitas dan kelarutan. Air akan di alirkan ke IPAL, sementara 2-etil heksanol akan dipanaskan kembali di *heater* sampai suhu 150 °C dan di alirkan kembali ke reaktor.

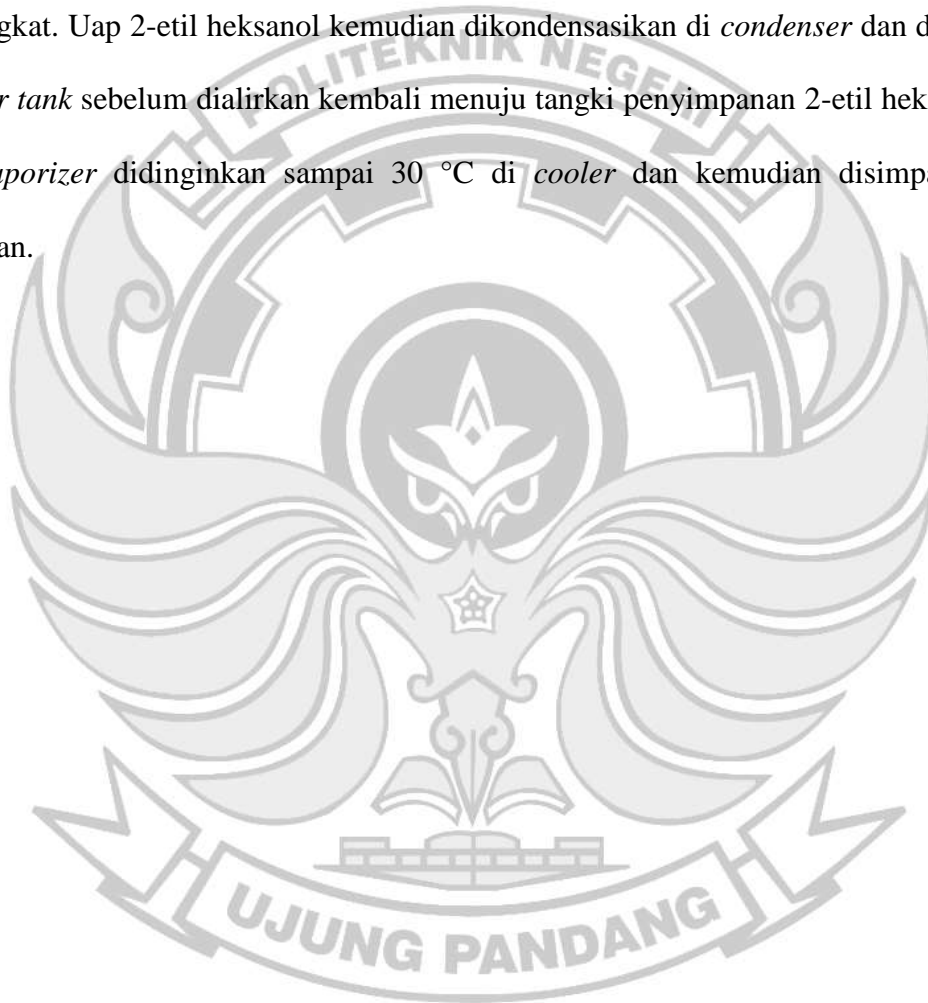
Hasil pada bagian bawah reaktor yang berupa campuran asam tereftalat padat, DOTP, katalis H_2SO_4 , air dan 2-etil heksanol didinginkan sampai 30 °C di *cooler* untuk kemudian disaring di *filter press* untuk memisahkan asam terftalat yang tidak bereaksi. Cake asam tereftalat keluaran *filter press* masih mengandung air sehingga dialirkan dengan *belt conveyor* ke *rotary dryer* untuk dikeringkan menggunakan udara pemanas dari *heater* dengan suhu mencapai 130 °C. Asam tereftalat kemudian dipindahkan dengan *bucket elevator* untuk disimpan di dalam *silos tank*.

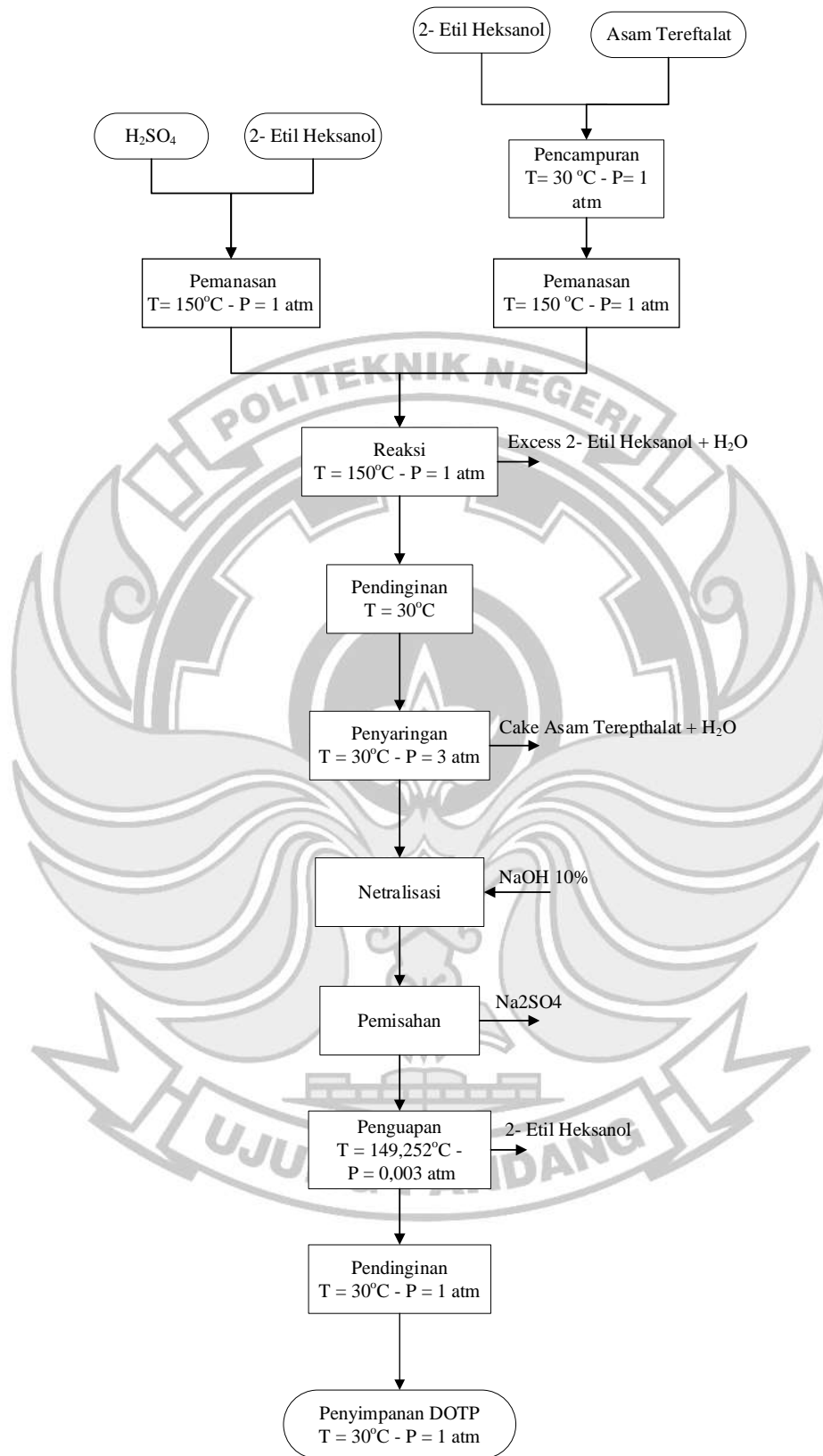
Air dari utilitas dan NaOH 48% dari tangki diumpankan ke *mixing tank* sehingga diencerkan menjadi NaOH 10% untuk diumpankan ke *neutralizer tank* bersamaan dengan penambahan air untuk menetralkan katalis H_2SO_4 . Garam Na_2SO_4 yang terbentuk larut di dalam

air pencuci dipompa menuju *decanter* untuk dipisahkan. Pada aliran bawah *decanter* yang mengandung Na_2SO_4 dialirkan menuju IPAL.

1.5.4 Tahap Purifikasi

Hasil dari *decanter* yang mengandung produk DOTP dan sedikit 2-etil heksanol diumpankan ke *vaporizer* untuk menguapkan 2-etil heksanol sehingga kemurnian produk DOTP akan meningkat. Uap 2-etil heksanol kemudian dikondensasikan di *condenser* dan di tampung di *accumulator tank* sebelum dialirkan kembali menuju tangki penyimpanan 2-etil heksanol. DOTP keluaran *vaporizer* didinginkan sampai $30\text{ }^\circ\text{C}$ di *cooler* dan kemudian disimpan di tangki penampungan.





Gambar 1.5 Diagram Alir Proses Pembuatan DOTP

BAB VIII KESIMPULAN

Hasil analisa dan perhitungan dari Prarancangan Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* dari Asam Tereftalat dapat disimpulkan bahwa:

1. Pabrik *Diocetyl Terephthalate* direncanakan didirikan di daerah kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Banten.
2. Pra Rancangan Pabrik Pembuatan *Diocetyl Terephthalate* kapasitas 15.000 ton/tahun menggunakan bahan baku asam tereftalat sebanyak 820,417 kg/jam dan 2-etil heksanol sebanyak 1.622,835 kg/jam.
3. Proses yang digunakan dalam pembuatan *Diocetyl Terephthalate* adalah proses esterifikasi. Reaksi esterifikasi dimulai dengan mencampurkan reaktan asam tereftalat, 2-etil heksanol, dan katalis H_2SO_4 pada suhu $150\text{ }^{\circ}C$, tekanan 1 atm dan dimurnikan dengan vaporizer untuk menguapkan 2-etil heksanol.
4. Sarana utilitas atau bahan penunjang yang disediakan oleh unit utilitas yaitu, air 20.466,892 kg/jam, *steam* 739,470 kg/jam, listrik 115,578 kWh dan bahan bakar solar 40,068 kg/jam.
5. Bentuk perusahaan adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan jumlah karyawan pabrik sebanyak 157 orang.
6. Hasil dari analisa ekonomi pabrik *Diocetyl Terephthalate* sebagai berikut:
 - *Total capital invesment* (TCI) = US\$ 21.665.331,45
= Rp 432.454.581.447,02
 - Total penjualan = US\$ 21.137.459,22
= Rp 421.917.896.890,08
 - *Total production cost* (TPC) = US\$ 15.331.829,22

- = Rp 306.033.618.930,19
- *Cash Flow* = US\$ 5.797.167,52
= Rp 115.715.361.087,68
- *Pay out time (POT)* = 3,72 tahun
- *Break even point (BEP)* = 49,84%

Berdasarkan hasil diatas maka pra rancangan pabrik *Diocetyl Terephthalate* dari asam tereftalat dengan kapasitas 15.000 ton/tahun layak untuk dipertimbangkan ke tahap perancangan sesuai dengan prosedur yang telah direncanakan.



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI. 2020. *Data Impor Bahan Industri Kimia: Diocetyl Terephthalate Tahun 2009-2019*. (Online). <http://www.bps.go.id/>. (Diakses pada tanggal 10 Januari 2021).
- Bank Indonesia. 2020. *Kurs Transaksi Bank Indonesia*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/informasi-kurs/transaksi-bi/default.aspx>. (Diakses pada tanggal 02 Juli 2022).
- Brownell, Lloyd E dan Young Edwin. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John Wiley and Sons Inc.
- CEPCI. 2019. Chemical Engineering Cost Plant Index. *Chemical Engineering* www.che.com.
- Coker, A. K. 2001. *Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design*. Texas, United States: Gulf Publishing Company.
- Dazhuang, L., Shaohui, S., Jianguo, W., dan Peiqin, S. 2006. Study on the Consecutive Reaction Kinetics of Synthesis of Di (2-Ethylhexyl) Terephthalate Under Nonisothermal Conditions. *Wiley Periodicals, Inc. Chem Kinet.* 38: 578-584.
- DPD RI Provinsi Banten. 2020. *Profil Profinsi Banten*. (Online). <https://banten.dpd.go.id/public/post/detail/profil-provinsi-banten>. (Diakses pada tanggal 26 Juni 2022).
- Felder, R. M. and Rousseau R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Process, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Freude, D. 2004. *Molecular Physics (International Edition)*. Saksoni, Jerman: Universitat Leipzig.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3rd Edition*. United States of America: Prentice-Hall International.
- Kementerian PU. 1996. *Kriteria Perencanaan Pengolahan Air*. Jakarta: Direktorat Jendral Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum.
- Kementrian Perindustrian Republik Indonesia. 2020. *64% dari Industri Nasional Bergantung pada Bahan Baku Impor*. (Online). <https://kemenperin.go.id/artikel/9306/64-dari-Industri-Nasional-Bergantung-pada-Bahan-Baku-Impor>. (Diakses pada tanggal 29 Mei 2021).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw - Hill International Edition.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.

- Matches Engineering. 2022. *Cost Information Equipment*. (Online):
<http://matche.com/EquipCost.htm> (Diakses pada tanggal 02 Juli 2022)
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Megyesy, E. F. 2001. *Pressure Vessel Handbook 12th Edition*. Oklahoma: University of Tulsa.
- Otoritas Jasa Keuangan. 2022. *Suku Bunga Dasar Kredit*. (Online).
<https://www.ojk.go.id/kanal/perbankan/Page/Suku-Bunga-Dasar.aspx>. (Diakses pada tanggal 14 Juli 2022).
- Paten JP No. 2003238479. Hayashi, K. 2003. *Method for Producing Higher Alcohol Terephthalic Acid Ester*.
- Perry, R. H. and Green D. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition*. New York: McGraw - Hill Book Company.
- Perry, R. H. and Green D. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 8th Edition*. New York: McGraw - Hill Book Company.
- Peter, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering, 4th Edition*. New York : Mc Graw Hill International Book Co.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. R. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Rushton, A. 1982. *The Selection and Use of Liquid/Solid Separation Equipment*. England: Institute of Chemical Engineers.
- Sinnot, R. K. 2005. *Chemical Engineering Volume 6 4th Edition*. New York: Buttenworth - Heinemann.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6th Edition*. Singapore: Mc Graw Hill.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations, 3rd Edition*. Singapore: McGraw -Hill Book Co.
- Ulrich, G. G. 1984 *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Willey and Sons.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Kesehatan dan Keselamatan Kerja
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003 Tentang Ketenagakerjaan
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007 Tentang Perseroan Terbatas (UUPT).

- USIC. 2017. *Diocetyl Terephthalate (DOTP) from Korea*. United State International Commission: Washington DC
- US Patent No. 2015/0307435 A1. De Munick, N., A. 2015. *Esterification Process*.
- US Patent No. 2018/0362440. Liao, T. C., Chuang, J. J., dan Lin, H. M. 2018. *Diocetyl Terephthalate Plasticizer and Method of Enchanging Reaction Efficiency in Process for Producing the Same*.
- US Patent No. 2020/0010399 A1. Nandy, R., Patrick, B., dan Nesakumar, J. 2020. *Method of Making Dialkyl Terephthalate from Terephthalic Acid*.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- WO Patent No. 2014/185872 A1. Caahit, Y. 2014. *DOTP (Diocetyl Terephthalat) Production Method*.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill
- Yulanda, Raja Friska. 2020. *Ketahui Bahaya Pthalate, Kandunga Plastik yang Berdampak Pada Kesuburan*. Artikel Kehamilan Good Doctor. (Online). <https://www.gooddoctor.co.id/hamil-sehat/kehamilan/ketahui-bahaya-phthalate-kandungan-plastik-yang-berdampak-pada-kesuburan/>. (Diakses pada tanggal 10 Januari 2021).