

PRARANCANGAN PABRIK ISOPROPIL ALKOHOL DARI PROPILLEN DAN AIR DENGAN PROSES HIDRASI LANGSUNG FASE UAP KAPASITAS 47.000 TON/TAHUN

Nabila Quwwata Aqra¹, Azril Fahrial Ciputra^{1,*}

¹Program Studi S-1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. Jenderal Achmad Yani KM 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

*E-mail: ciputra.azril14@gmail.com

Abstrak

Industri kimia adalah salah satu industri yang relatif memiliki kontribusi besar dalam menghasilkan devisa negara berpengaruh terhadap ketahanan ekonomi Indonesia. Isopropil alkohol merupakan alkohol sekunder yang dikenal dengan nama 2-propanol, 2-hidroksil propane, sec-propanol, serta seringkali disingkat menggunakan nama IPA. Produk isopropil alkohol sudah banyak digunakan dalam industri seperti sebagai pelarut dan bahan baku dalam pembuatan kosmetik, bahan antiseptik dan desinfektan. Prarancangan pabrik isopropil alkohol di Indonesia diupayakan agar mengurangi ketergantungan isopropil alkohol dari luar negeri.

Proses diawali dengan membuat isopropil alkohol melalui reaksi antara propilen dan air pada reaktor fixed bed temperatur 150°C dan tekanan 17 atm dengan konversi 98%. Selanjutnya masuk ke flash drum untuk dipisahkan komponen cair dan gasnya, kemudian isopropil alkohol dipisahkan dari produk sampingnya dengan menggunakan menara distilasi. Kemurnian produk isopropil alkohol yang didapatkan adalah 99,5%.

Pemasaran isopropil alkohol untuk konsumsi dalam negeri sangat diprioritaskan. Bentuk perusahaan berupa Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi line and staff. Sistem kerja karyawan dibagi berdasarkan jam kerja yang terdiri dari shift dan non shift dengan total tenaga kerja yang diperlukan sebesar 131 orang. Analisa ekonomi yang dilakukan memberikan hasil investasi modal total (TCI) sebesar Rp772.489.969.930,- serta diperoleh hasil penjualan yaitu sebanyak Rp2.692.911.413.594. Selain itu diperoleh juga Return of Investment (ROI) sebelum pajak sebesar 60,95% dan Return of Investment (ROI) setelah pajak sebanyak 39,61%. Pay Out Time (POT) sebelum pajak yaitu 1,43 tahun serta Pay Out Time (POT) setelah pajak yaitu 2,06 tahun. Sehingga diperoleh Break Even Point (BEP) sebesar 44,45% dan Shut Down Point (SDP) sebanyak 34,47%. Dari hasil evaluasi ekonomi tersebut dapat ditarik kesimpulan pabrik isopropil alkohol dengan kapasitas 47.000 ton/tahun ini layak untuk dikaji lebih lanjut.

Kata kunci: propilen, isopropil alkohol, hidrasi uap, fixed bed, flash drum.

1. Pendahuluan

Industri yang tengah dikembangkan di Indonesia yaitu industri kimia. Industri kimia merupakan industri yang cukup besar kontribusinya dalam menghasilkan devisa negara. Indonesia mempunyai sumber daya alam yang berlimpah yang bisa menjadi bahan dasar atau bahan baku dari industri kimia. Tetapi, selama ini Indonesia banyak mengimport bahan kimia dari luar negeri.

Indonesia memiliki kebutuhan isopropil alkohol yang tinggi dikarenakan beberapa kegunaan yang dimilikinya. Isopropil alkohol merupakan cairan tidak berwarna, mudah menguap dan mudah terbakar. Isopropil alkohol memiliki berbagai macam kegunaan yaitu sebagai *solvent*, bahan tambahan dalam obat-obatan dan antiseptik. Sebagai produk antara, isopropil alkohol digunakan untuk produksi

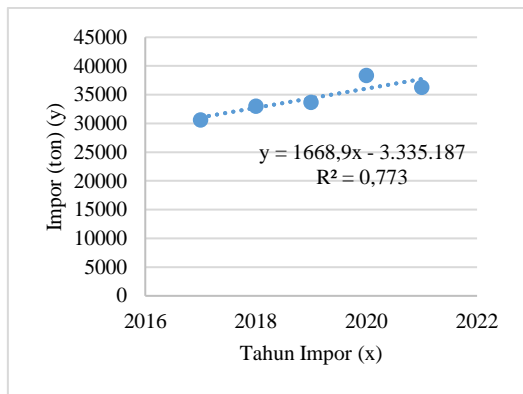
aseton, isopropil asetat dan isopropilamin (Logsdon dan Loke, 2000).

Sampai saat ini Indonesia masih belum memiliki pabrik isopropil alkohol sehingga untuk memenuhi kebutuhan isopropil alkohol, Indonesia harus mengimpor dari negara lain antara lain berasal dari Amerika Serikat, dan beberapa negara di Asia. Data mengatakan jumlah kebutuhan isopropil alkohol Indonesia cukup tinggi. Pada tahun 2021, jumlah impor isopropil alkohol sebanyak 36.282,62 Ton (BPS, 2022). Sehingga diperlukan pendirian pabrik baru di Indonesia untuk mengatasi peningkatan kebutuhan dan mengurangi ketergantungan terhadap negara lain.



Tabel 1.1 Data Kebutuhan Isopropil Alkohol (Impor) di Indonesia (BPS, 2022).

Tahun	Impor Isopropil Alkohol (Ton)	Pertumbuhan (%)
2017	30.617,746	0
2018	33.010,497	7,81
2019	33.700,172	2,09
2020	38.370,116	13,86
2021	36.282,620	-5,44
Rata-rata		3,66



Gambar 1.1 Regresi Linier Data Kebutuhan Isopropil Alkohol (Impor) di Indonesia.

Dari data pertumbuhan diatas dapat diperoleh persamaan yang mengikuti persamaan garis linier untuk memperkirakan kapasitas produksi isopropil alkohol di Indonesia pada tahun 2027:

$$y = 1669x - 3.335.187$$

$$R^2 = 0,773$$

Keterangan: y = Persamaan linier

x = tahun ke-n

R^2 = slope

Sehingga konsumsi asam sulfat pada tahun 2027,

$$y = 1669x - 3.335.187$$

$$y = 1669(2027) - 3.335.187$$

$$y = 47.876 \text{ ton/tahun} \approx 47.000 \text{ ton/tahun}$$

Sedangkan nilai produksi pabrik isopropil alkohol yang sudah berdiri di dunia dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1.2 Kapasitas Produksi Isopropil Alkohol yang ada di Dunia (Logsdon dan Loke, 2000).

Produsen (Company)	Kapasitas (Ton/Tahun)
Exxon Chemical Co.	295.000
Shell Chemical Co.	273.000
Union Carbide Corp.	250.000

Mitsui Toatsu Chemical Inc.	33.000
Nippon Petrochemical Co., Ltd	60.000

Berdasarkan hasil perhitungan dari data impor pada lima tahun terakhir dan produksi isopropil alkohol dunia perkiraan kapasitas pabrik isopropil alkohol yang akan didirikan pada tahun 2027 yaitu 47.876 ton/tahun. Namun untuk pabrik isopropil alkohol ini kapasitasnya dibulatkan ke bawah dari kapasitas total. Hal ini dikarenakan melihat kapasitas-kapasitas pabrik isopropil alkohol yang ada di dunia. Maka diputuskan kapasitas pabrik isopropil alkohol yang akan dirancang sebesar 47.000 ton/tahun.

2. Pemilihan Proses

Seleksi proses pembuatan isopropil alkohol dari propilen dan air bisa dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Proses Pembuatan Asam Fosfat

No.	Parameter	Perbandingan		
		Fase Uap	Fase Cair	Fase Cair-Uap
1	Selektivitas	96%	98 %	80-99%
2	Konversi	98%	95%	95%
3	Waktu Reaksi	Sangat Cepat	2 Jam	4-5 Jam
4	Temperatur	150-200°C	130-160°C	270°C
5	Tekanan	6,8-17,4 bar	60-100 bar	200 bar
6	Katalis	H-ZSM 5	Solid ion-exchange catalyst	Asam Lemah
7	Kelebihan	- Bahan baku bereaksi sempurna - Katalis dapat digunakan untuk 1 tahun operasi - Tidak menghasilkan produk samping	- Selektivitas tinggi	- Kemurnian Produk Tinggi
8	Kelemahan	- Selektivitas rendah	- Menghasilkan produk samping	- Tekanan operasi tinggi - Menghasilkan Produk Samping

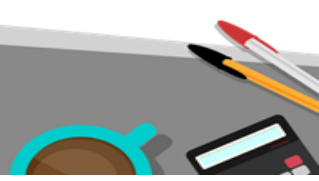
2.1 Uraian Proses

Proses produksi isopropil alkohol secara umum dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu:

1. Tahap persiapan bahan baku
2. Tahap reaksi
3. Tahap pemisahan dan pemurnian

2.1.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

Propilen dengan kemurnian 99% yang merupakan umpan segar dialirkan dari tangki penyimpanan (T-120) pada suhu 30°C dan tekanan 15 atm dan dinaikkan suhunya dengan heater (E-121) melalui bantuan steam kemudian tekanannya dinaikkan dengan kompresor (G-



122). Air proses juga dipompa dengan pompa (L-111) menuju *heater* (E-112) lalu dialirkan menuju kompresor (G-113) untuk dinaikkan tekanannya. Dengan demikian diperoleh propilen dan air bersuhu 150°C yang siap dimasukkan ke dalam reaktor (R-210). Reaktor yang digunakan adalah reaktor jenis *fixed bed multitube*.

2.1.2 Tahap Reaksi

Campuran propilen dengan air dimasukkan ke reaktor (R-210) pada tekanan 17 atm dan suhu 150°C dimana di dalam reaktor juga terdapat katalis yang dimasukkan didalam *tube*. Katalis yang digunakan yaitu HZSM-5 yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya reaksi. Reaksi terbentuknya isopropil alkohol pada reaktor berlangsung pada kondisi temperatur 150°C dan tekanan 17 atm. Reaksi yang terjadi adalah:



Reaksi pembentukan isopropil alkohol termasuk dalam reaksi eksotermis, produk yang keluar dari reaktor merupakan isopropil alkohol, air, dan propilen. Suhunya diturunkan dengan *cooler* (E-211) kemudian dimasukkan pada *flash drum* (D-220) pada temperatur 98°C dan tekanan 1 atm. *Flash drum* berfungsi untuk memisahkan antara fase uap dan fase cairan.

2.1.3 Tahap Pemisahan dan Pemurnian

Dalam *flash drum* (D-220) terjadi pemisahan antara propilen, isopropil alkohol dan air. Dimana sisa propilen, air dan isopropil alkohol menuju ke atas serta isopropil alkohol dan air menuju kolom distilasi (D-310) untuk dimurnikan lebih lanjut. Produk atas dari kolom distilasi merupakan produk utama isopropil alkohol dengan kemurnian 99,5% dialirkan menuju tangki penyimpanan (F-320) dengan temperatur 30°C dan tekanan 1 atm. Produk bawah merupakan air yang dipompa menuju *waste water treatment process* untuk digunakan kembali dalam reaktor.

3. Utilitas

Unit utilitas memiliki peran penting dan harus ada dalam perancangan suatu pabrik. Utilitas merupakan bagian dari salah satu unit produksi yang mendukung jalannya operasi pabrik yang bertugas menyediakan keperluan-keperluan rutin pada kegiatan operasi. Pada perancangan pabrik isopropil alkohol, penyediaan unit utilitas meliputi:

1. Unit Penyediaan Air
2. Unit Penyediaan *Steam*
3. Unit Pembangkit Listrik
4. Unit Penyedia Bahan Bakar
5. Unit Pengolahan Limbah

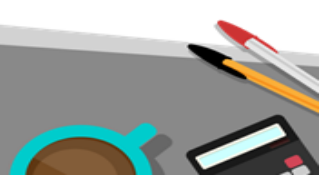
Besarnya keperluan air pendingin pada keseluruhan pabrik pembuatan isopropil alkohol adalah 1.983.427,9 kg/jam, Tetapi, jumlah air pendingin yang disediakan harus 10% lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan normal karena memperhitungkan faktor keamanan dan kebocoran. Sehingga jumlah air pendingin yang disediakan sebanyak 2.181.770,658 kg/jam. Kebutuhan air umpan boiler pada pabrik pembuatan isopropil alkohol adalah 4.528.304,91 kg/jam. Tetapi jumlah air umpan boiler yang disediakan harus 10% lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan normal karena memperhitungkan faktor evaporasi keamanan dan kebocoran. Sehingga jumlah air umpan boiler yang disediakan sebanyak 5.031.449,9 kg/jam, air sanitasi sebanyak 3.500,0111 kg/jam, penyediaan uap *steam* sebesar 5.031.449,9 kg/jam dan unit listrik sebesar 2.345,4410 kW. Listrik disuplai dari pembangkit listrik dari PLN setempat dan generator sebanyak 2 buah sebesar 500 kW.

4. Hasil Evaluasi Ekonomi

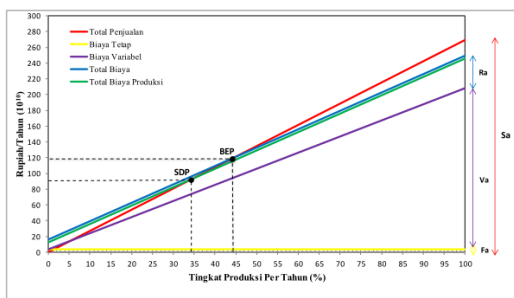
Analisa ekonomi dilakukan untuk mengetahui tingkat keuntungan ataupun kerugian dari pabrik yang dirancang. Suatu pabrik dikatakan sehat ekonominya jika dapat memenuhi kewajiban finansial kedalam dan keluar serta dapat mendatangkan keuntungan yang layak bagi perusahaan dan para investor. Kewajiban finansial dibagi menjadi finansial dalam yang terdiri dari berbagai macam beban pembiayaan operasi seperti bahan baku, bahan penunjang peralatan, gaji/upah karyawan, penyediaan piutang dagang serta luar yang terdiri dari pembayaran pinjaman bank serta bunganya. Adapun hasil evaluasi ekonomi pabrik isopropil alkohol dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut.

Tabel 4.1 Evaluasi Ekonomi Pabrik Isopropil Alkohol

Analisa	Nilai	Range	Keterangan
ROI	39,61%	11-44%	Baik
POT	2,06 tahun	2-5 tahun	Pembayaran Cepat
BEP	44,45%	40-60%	Layak
SDP	34,47%	20-40%	Layak



Return on investment merupakan ukuran dari keuntungan yang dihasilkan dari investasi yang telah dikeluarkan. ROI dinyatakan dalam persentase tahunan. Untuk industri kimia persentase ROI sebelum pajak 44% merupakan pengembalian cepat dan 11% pengembalian lambat. *Pay out time* merupakan besaran seberapa lama waktu yang diperlukan untuk mendapai keuntungan yang diperkirakan. Perhitungan ini bertujuan agar mengetahui kembalinya investasi dari lama investasi yang telah dilakukan. POT untuk industri kimia dengan pengembalian cepat selama 2 tahun dan pengembalian lambat selama 5 tahun. *Break Even Point (BEP) Break Even Point* adalah kondisi impas yang berarti pabrik menunjukkan biaya dan penghasilan jumlahnya sama atau tidak untung atau tidak rugi. Dengan *break even point* kita dapat menentukan harga jual dan jumlah unit yang dijual secara minimum serta harga dan unit penjualan yang harus dicapai agar mendapat keuntungan. *Shut down point* merupakan suatu kondisi dimana lebih murah untuk menghentikan aktivitas produksi pabrik serta membayar *Fixed Expense (Fa)* dibandingkan dengan harus melanjutkan proses produksi. Penyebabnya yaitu *variable cost* yang terlalu tinggi, atau karena keputusan manajemen akibat tidak ekonomisnya suatu aktivitas produksi (tidak menghasilkan profit. SDP disebabkan oleh *variable cost* yang terlalu tinggi dan keputusan manajemen. Grafik evaluasi ekonomi pabrik isopropil alkohol yang dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut.



Gambar 4.1 Break Even Point dan Shut Down Point Prarancangan Pabrik Isopropil Alkohol dengan Kapasitas 47.000 Ton/Tahun

6. Kesimpulan

Berdasarkan analisa ekonomi maupun teknik pada prarancangan pabrik pembuatan isopropil alkohol dari propilen maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

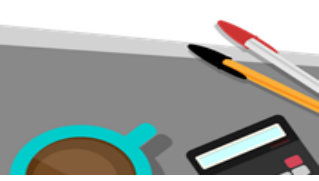
1. Kapasitas rancangan pabrik isopropil alkohol diputuskan sebanyak 47.000 ton/tahun.

2. Bentuk hukum perusahaan yang direncanakan adalah Perseroan Terbatas (PT).
3. Bentuk organisasi yang direncanakan adalah *line and staff* dengan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan 131 orang.
4. Pabrik direncanakan akan dibangun di Kawasan Industri Cilegon (KIEC) dengan luas tanah sebesar 30.725 m².
5. Hasil analisa ekonomi pabrik isopropil alkohol dari propilen dengan kapasitas 47.000 ton/tahun adalah sebagai berikut:
 - Modal investasi : Rp 772.489.969.930
 - Biaya produksi : Rp 2.493.590.424.117
 - Hasil penjualan : Rp 2.692.911.413.594
 - Laba sebelum pajak : Rp 167.801.764.873
 - Laba sesudah pajak : Rp 109.071.147.168
 - *Profit on Sales* sebelum pajak : 6,23%
 - *Profit on Sales* setelah pajak : 4,05%
 - *Return of Investment* sebelum pajak : 60,95%
 - *Return of Investment* setelah pajak : 39,61 %
 - Pay Out Time sebelum pajak : 1,43 tahun
 - Pay Out Time setelah pajak : 2,06 tahun
 - *Break Even Point* : 44,45%.
 - *Shut Down Point* : 34,47%.

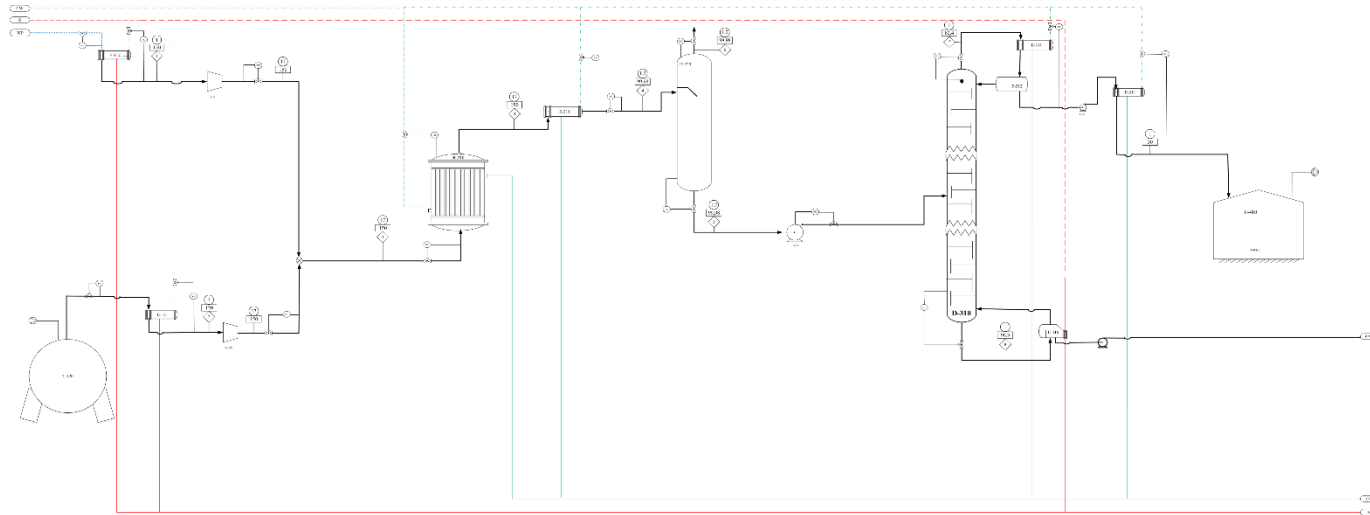
Dari hasil analisa, dapat disimpulkan Prarancangan Pabrik Isopropil Alkohol dari Propilen dengan kapasitas 47.000 ton/tahun ini layak untuk didirikan dengan catatan perlu dikaji ulang.

Daftar Pustaka

- ACS Material. (2017): MSDS ZSM-5. <https://www.acsmaterial.com/zsm-5-series-zeolite-powder.html>. Diakses pada 8 Februari 2022.
- Aries, R. S. and Newton, R. D. 1955. Chemical Engineering Cost Estimation. Mc.Graw Hill Book Co., Inc. U.S.A.
- BPS (2022): Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia, Impor dan Ekspor Menurut Jenis Barang dan Negara Asal. Jakarta.
- Brownell, L.E and Young, E.H., 1959, Process Equipment Design, 1 st ed., John Wiley and Sons, Inc., New Delhi, India.
- Brown, G.G., et all, 1956, Unit Operation, Modern Asia Edition, John wiley and Sons, Inc., Charles Tuttle, Tokyo.
- Brown et al. 1996. Gas Phase Process Pro Hydration Propylene. US patent 5 488 186.
- Carls et al. 1988. Process For The production Of Isopropyl Alcohol. US patent 4 760 203.



PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PRARANCANGAN PABRIK ISOPROPIL ALKOHOL DARI PROPILEN DAN AIR DENGAN PROSES HIDRASI LANGSUNG FASE GAS DENGAN KAPASITAS 47.000 TON/TAHUN



Neraca Massa (Kg/jam)								
	Arus 1	Arus 2	Arus 3	Arus 4	Arus 5	Arus 6	Arus 7	Arus 8
C ₃ H ₆	4655,41	0,000	93,1082	93,108	0,000	93,108	0,000	0,000
H ₂ O	0,000	46554,1	44598,8	44598,8	40138,95	4459,88	80,2779	40058,7
C ₃ H ₈ O	0,000	0,000	6517,57	6517,57	46004,76	651,757	5854,08	11,7316

KETERANGAN

CW	Cooling Water	N	Number Aliran
S	Steam	T	Temperature (°C)
CWR	Cooling Water Return	Tm	Tekanan (atm)
SC	Steam Condenser	B	Bahan/Batu
WWT	Water Waste Treatment	P	Protekt

LIC	Liquid Indicator Control	TIC	Temperature Indicator Control
FIC	Flow Indicator Control	PIC	Pressure Indicator Control

No	Kode	Nama Alat	Jumlah
17	F-410	Tangki Isorpopil	1
16	E-316	Reboiler	1
15	L-315	Pompa 2	1
14	E-314	Cooler 3	1
13	L-313	Pompa 2	1
12	F-312	Accumulator	1
11	E-311	Cooler 2	1
10	D-310	Menara Distilasi	1
9	L-221	Pompa 1	1
8	D-220	Flash Drum	1
7	E-211	Cooler 1	1
6	R-210	Reaktor	1
5	G-122	Kompresor 2	1
4	E-121	Heater	1
3	T-120	Tangki Propilen	1
2	G-113	Kompresor 1	3
1	E-112	Heater	1

Disiapkan Oleh:
 Nafisa Gopwara Aqsa (1908104220124)
 Asep Fakhri Cahya (1908104220113)

Dosen Pembimbing:
 Desi Nurandini, S.T., M.Eng
 NIP. 1987111520190620084

PRARANCANGAN PABRIK ISOPROPIL ALKOHOL DARI PROPILEN DAN AIR DENGAN
 PROSES HIDRASI LANGSUNG FASE GAS KAPASITAS 47.000 TON/TAHUN

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK KIMIA
 FAKULTAS TEKNIK
 UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
 BANJARBARU
 2022

Gambar 4.2 Process Flow Diagram Pabrik Isopropil Alkohol

- Coker A. K. 2001. Modeling of Chemical Kinetics and Reactor Design. Gulf Professional Publishing. Singapore.
- Coulson. 1989. Chemical Engineering volume 2. Perry Amond Press. New York.
- Dogra, S. K. (1990): Kimia Fisika dan Soal-soal. UI-Press. Jakarta.
- Dutia, P. (2012): Chemical Weekly. New York.
- Dong-Kwon Kim et al. 1988. Numerical Of Fixed-Bed Catalytic Reactor For Isopropyl Alcohol Synthesis. Korean of Chem-Eng. Korea.
- Geankoplis, Christie J. 2003. Transport Processes and Separation Process Principles, 4 th Edition. Prentice Hall Professional Technical Reference. New Jersey.
- Goncalves. M. L., Dimitrov, Ljubomir D., Jordao, M. H. dan Martin Wallau (2008): Synthesis Of ZSM-5. Pretince-Hall. New Jersey.
- Hesse, Herman C. 1959. Process Equipment Design, 7 th Edition. D van Nostrand. Co. New York.
- Himmelblau M, David. 2004. Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering, 7 th Edition. Prentice Hall Co. Inc. New Jersey, U.S.A.
- Kaiser, J. R., Beuther, H., Moore, L. D. dan R. C. Odioso (1962): Direct Hydration of Propylene Over Ion-Exchange Resins. American Chemical Society. New York.
- Labchem. (2020): MSDS Water. <http://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC26750.pdf>. Diakses pada 9 Februari 2022.
- Labchem. (2020): MSDS Isopropyl Alcohol. <http://www.labchem.com/tools/msds/msds/LC15750.pdf>. Diakses pada 9 Februari 2022.
- Logsdon, John E dan Richard A. Loke. (2000): Isopropyl alcohol, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Mahajani, et al. 2002. Direct Hydration Of Propylene In Liquid Phase and Under Supercritical Conditions in The Presence Of Solid Acid Catalysts. Chemical Engineering Science. Australia.
- Nolan, P. Dennis. 1994. Application of Hazop and What-If Safety Review To The Petroleum, Petrochemical and Chemical Industries. Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Norman Effendi. 2010. Safety Talk.
- Olah et al. 1989. Hydration Of Propylene To Isopropyl Alcohol Over Solid Superacidic Perfluorinated Sulfonic Acid Catalysts. US patent 4 861 923.
- Praxair. (2019): MSDS Propylene. <https://www.praxair.co.in/-/media/corporate/praxairus/documents/sds/propylene-c3h6-safety-data-sheet-sds-p4648.pdf?la=en>. Diakses pada 9 Februari 2022.
- Perry, R. H. and Chilton, C. H. 1997. Chemical Engineering Handbook, 7 th Edition. Mc Graw Hill Co. Inc. New York.
- Peter, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. Plant Design and Economics for Chemical Engineer, 4 th Edition. Mc. Graw Hill International Book Co. Kogakusha, Tokyo.
- Shigeru, Hirata. 1996. Process For Producing Isopropyl Alcohol By Hydrating Propylene. EP patent 0 717 022 A2.
- Shirazi, M.N. (2008): Propylene. McGraw-Hill. New York.
- Smith, J. M, Van Ness, H.C and Abbott, M.M. 2005. Introduction to Chemical Engineering Themodynamics. 7 th edition. Mc Graw Hill International Edition. Singapore.
- Speight, James G. 2002. Chemical and Process Design Handbook. McGraw Hill. New York.
- Treybal, Robert. E. 1981. Mass Transfer Operations, 3 rd edition. Mc Graw Hill Book Co. Singapore.
- Ulrich, G.D. 1984. A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics. John Willey and Sons Inc., New York.
- Vilbrant, F.C., and Dryden, C.E. 1959. Chemical Engineering Plant Design, 4 th . ed. International Student edition. Tokyo.
- Walas, Stanley. M. 2010. Chemical Process Equipment Selection and Design, Revised 2 nd edition. Elsevier Inc. United States of America.
- Yaws, C. L. (1999): Chemical Properties Handbook. McGraw-Hill. New York.

