E-ISSN : 2988-1986
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 2 Tahun 2026

PRARANCANGAN PABRIK *TRIOXANE* DARI FORMALDEHID MENGGUNAKAN KATALIS ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 2.000 TON/TAHUN

Mayangsari[1] , Rezky Hasan[2], La Ifa[3], Fitra Jaya[4]

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia

Corresponding Author: myng5194@gmail.com

ABSTRAK

Prarancangan pabrik trioxan ini direncanakan dengan memanfaatkan formaldehid sebagai bahan baku utama yang direaksikan menggunakan katalis asam sulfat. Proses produksi yang diadopsi meliputi reaksi polimerisasi formaldehid menjadi trioxan, yang kemudian diikuti oleh tahap pemurnian melalui distilasi. Pemilihan proses ini didasarkan pada pertimbangan kesederhanaan operasional serta telah teruji dan banyak diterapkan dalam skala industri. Kapasitas produksi pabrik direncanakan sebesar 2.000 ton/tahun dengan target mulai beroperasi pada tahun 2029.

Tahapan utama proses meliputi persiapan bahan baku, reaksi dalam reaktor, pemisahan produk menggunakan dekanter, pemurnian melalui menara distilasi, serta penyimpanan produk akhir. Untuk mendukung kelangsungan operasi, pabrik dilengkapi dengan unit utilitas yang mencakup penyediaan air, energi listrik, dan bahan bakar. Air digunakan untuk kebutuhan proses, sistem pendingin, serta sanitasi, sedangkan energi listrik dipasok dari sumber eksternal yang dilengkapi dengan generator sebagai cadangan.

Berdasarkan hasil analisis ekonomi, total investasi (Total Capital Investment/TCI) yang dibutuhkan sebesar Rp43,42 miliar, yang terdiri atas Fixed Capital Investment (FCI) sebesar Rp30,39 miliar dan Working Capital Investment (WCI) sebesar Rp13,03 miliar. Biaya produksi total (Total Production Cost/TPC) diperkirakan mencapai Rp119,77 miliar per tahun, dengan nilai penjualan produk sebesar Rp141,67 miliar per tahun.

Kata kunci: Trioxan, Formaldehid, Polimerisasi, Prarancangan Pabrik, Analisis Ekonomi

Article History
Received: Juli 2026
Reviewed:Juli 2026
Published: Juli 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. Pendahuluan

Trioxane, atau 1,3,5-*Trioxane*, adalah senyawa organik dalam bentuk padatan kristal dengan rumus kimia C3H6O3. *Trioxane* terbentuk melalui reaksi trimerisasi formaldehida, dan berfungsi penting sebagai prekursor utama dalam produksi polyoxymethylene (POM) yang

merupakan polimer rekayasa yang banyak digunakan di industri otomotif, elektronik, dan mesin presisi karena kekuatan mekanik yang tinggi dan stabilitas dimensi (Kirk-Othmer, 2005). *Trioxane* berkualitas tinggi sangat penting untuk kualitas POM yang dihasilkan, sehingga permintaan global terhadap *Trioxane* terus meningkat seiring dengan pertumbuhan industri plastik rekayasa (Ullmann, 2011).

Trimerisasi formaldehid dalam keadaan cair diselesaikan dengan katalis asam yang merupakan cara produksi *Trioxane* di industri. Reaksi ini eksotermik dan dapat balik, sehingga pengendalian suhu dan sistem pemisahan yang efisien diperlukan di mana produk reaksi sampingan seperti paraformaldehid (Ullmann, 2011) menjadi relevan. Katalis yang umum digunakan di bidang ini adalah asam sulfat (H_2SO_4), dan asam fosfat, atau resin tukar ion tipe asam kuat. Asam sulfat sering kali menjadi katalis pilihan di antara yang lainnya dan ini karena betapa efektifnya dalam mendorong reaksi ke depan dan kemudahan penanganan pada skala industri (Kirk-Othmer, 2005).

Proses pembuatan trioxan ini sangat menguntungkan, dan untuk ini di Indonesia sudah seharusnya didirikan pabrik trioxan pada skala industri. Upaya ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada negara lain, memenuhi kebutuhan trioxan dalam negeri, membuka peluang kerja, dan dapat mendorong pertumbuhan industri lainnya. Hal ini juga dapat membantu mengatasi krisis multi dimensi, dan meningkatkan daya saing di pasar global.

Tabel 1.1 Data Impor Kebutuhan Trioksan

No.	Tahun	Impor (kg)	%P (Impor)
1	2020	1.589.063	-
2	2021	1.872.661	0,18
3	2022	1.871.706	0,00
4	2023	2.098.592	0,12
5	2024	2.010.711	-0,04
		Total	**0,26**
		Rata-rata	**0,06**

(Badan Pusat Statistika, 2024)

Pabrik trioksan direncanakan didirikan pada tahun 2029, sehingga untuk menentukan kapasitas produksi pabrik trioksan dapat menggunakan rumus *discounted methode* menggunakan persamaan:

$Fn = Fi\ (1+i)^n$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan kebutuhan trioksan pada tahun 2029 yaitu sebesar 2.746 ton/tahun. Dengan berbagai pertimbangan, baik melalui data impor kebutuhan trioksan di Indonesia dan ketersediaan bahan baku yang ada di Indonesia serta kapasitas pabrik yang telah ada, baik di Indonesia maupun di negara lain, maka prediksi kapasitas produksi trioksan akan mengambil 75% dari kebutuhan trioksan pada tahun 2029. Dilihat dari peraturan perundang-undangan maka didapat perkiraan kapasitas pabrik yang akan didirikan pada tahun 2029 yaitu sebesar **2.000 ton/tahun**.

2. Seleksi dan Uraian Proses

2.1 Seleksi Proses

Proses yang banyak digunakan dalam pembuatan trioxan dari trimerisasi formaldehid yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan proses pembuatan trioxan

Faktor Pembanding	Trimerisasi dengan Katalis Homogen	Trimerisasi dengan Katalis Heterogen
Kondisi Operasi	Temperatur sekitar 60 °C dengan tekanan atmosfer.	Temperatur 80–200 °C dengan tekanan 200–400 psi.
Konsentrasi Formaldehid	Menggunakan larutan formaldehid berkonsentrasi 60%.	Menggunakan larutan formaldehid berkonsentrasi 40%.
Konversi	80%	50-60%

Katalis	Katalis asam harus dipisahkan dari produk untuk mencegah korosi pada peralatan proses.	Katalis dapat dipisahkan dengan mudah dan diregenerasiuntukdigunakan kembali sehingga mengurangi konsumsi katalis.

Pada perancangan ini dipilih proses pembuatan trioxan dengan cara trimerisasi formaldehid dengan katalis homogen. Katalis yang digunakan adalah asam sulfat (H_2SO_4) dengan pertimbangan harga katalis lebih murah dan kondisi operasi lebih aman.

2.2 Uraian Proses

Proses pembuatan trioxan terdiri dari 3 tahapan :

a. Tahapan Bahan Baku

Bahan baku formaldehid cair disimpan di dalam tangki penyimpanan formaldehid (T-01) pada suhu lingkungan (30^oC) dan tekanan atmosferis (1 atm) untuk menjaga agar fase formaldehid tetap pada fase cair. Katalis asam sulfat cair disimpan di dalam tangki penyimpanan asam sulfat (T-02) pada suhu lingkungan (30^oC) dan tekanan atmosferis (1 atm) untuk menjaga agar fase asam sulfat tetap pada fase cair.

b. Tahap Ekstraksi

Larutan formaldehid pada suhu 60^oC dan tekanan 1 atm diumpankan ke Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (R-01) dengan kondisi isothermal dan non-adiabatik. Di dalam reaktor akan terjadi reaksi trimerisasi formaldehid menjadi trioxan (reaksi bersifat eksotermis dan *irreversible*) sebagai berikut:

$$3\ CH_2O \xrightarrow{H_2SO_4} C_3H_6O_3$$

Besarnya konversi formaldehid mencapai 80% mol. Di dalam reaktor akan terjadi kenaikan temperatur akibat dari reaksi yang bersifat eksotermis, sehingga untuk mempertahankan suhu reaksi keluar dari reaktor 60^oC diperlukan jaket pendingin dengan air sebagai media pendingin

c. Tahap Pemisahan dan Pemurnian Produk

Produk keluar reaktor terdiri dari CH_2O, H_2O, H_2SO_4, $C_3H_6O_3$ dengan suhu 60^oC dan tekanan 1 atm, campuran tersebut dipisahkan dengan dekanter (DK-01) berdasarkan beda densitas. Hasil atas dekanter (DK-01) dilairkan ke menara distilasi 1 (MD-01) untuk mendapatkan trioxan dengan konsentrasi 99%. Di dalam menara distilasi (MD-01), uap hasil atas diembunkan di kondenser (CD-01) dan ditampung di dalam akumulator (ACC-01), kemudian sebagian refluks kembali ke menara distilasi (MD-01). Hasil bawah menara distilasi (MD-01) merupakan trioxan dengan kemurnian 99% wt. Hasil ini dialirkan kemudian ditampung dalam tangki penampungan produk trioxan.

3. Utilitas

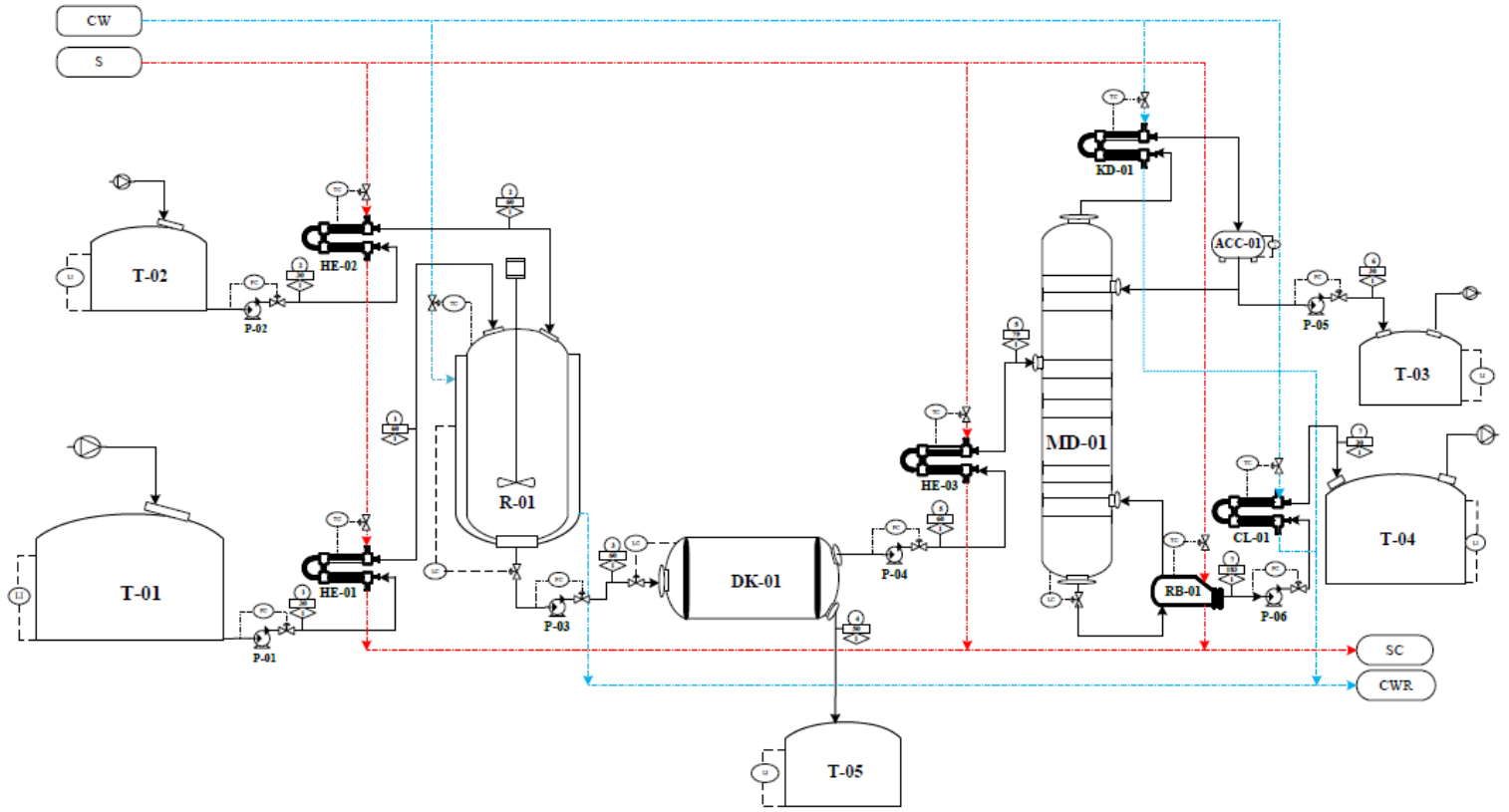
Dalam sebuah pabrik,utilitas merupakan unit penyedia bahan maupun tenaga pembantu, sehingga membantu kelancaran operasi pabrik tersebut. Utilitas yang terdapat dalam pabrik ini terdiri atas :

a. Unit Pengolahan Air
b. Unit Pembangkit Steam
c. Unit Pembangkit Tenaga Listrik
d. Unit Bahan Bakar
e. Unit Pengolahan limbah

E-ISSN : 2988-1986
https://ejournal.cahayailmubangsa.institute/index.php/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 11 No 2 Tahun 2026

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM PRARANCANGAN PABRIK *TRIOXANE* DARI FORMALDEHID MENGGUNAKAN KATALIS ASAM SULFAT DENGAN KAPASITAS 2.000 TON/TAHUN



No.	Kode	Nama Alat
1	T-01	Tangki CH_2O
2	P-01	Pompa CH_2O
3	HE-01	Heater CH_2O
4	T-02	Tangki Asam Sulfat
5	P-02	Pompa Asam Sulfat
6	HE-02	Heater Asam Sulfat
7	R-01	Reaktor
8	P-03	Pompa Reaktor
9	DK-01	Dekanter
10	P-04	Pompa Dekanter
11	HE-03	Heater MD
12	MD-01	Menara Distilasi
13	KD-01	Kondensor
14	P-05	Pompa Kondensor
15	T-03	Tangki CH_2O
16	RB-01	Reboiler
17	P-06	Pompa Reboiler
18	CL-01	Cooler Produk
19	T-04	Tangki Produk
20	ACC-01	Akumulator
21	T-05	Tangki Asam Sulfat Produk Samping

Keterangan			
	Tekanan	SC	Steam Condensate
	Temperatur	LI	Level *Indicator*
	Nomor Arus	S	Steam
TC	*Temperatur Controller*	CWR	Cooling Water Return
LC	*Level Controller*	CW	Cooling Water
FC	*Flow Controller*		Produk
PC	*Pressure Controller*		Bahan Baku
	Garis CW		Garis CWR
	Garis Steam		Garis SC

No. Arus / Komponen	Laju Alir (Kg/Jam)						
	1	2	3	4	5	6	7
CH_2O	316,1796		63,2359		63,2359	63,2359	
H_2O	210,7864	0,3162	211,1026		211,1026	208,9915	2,1110
H_2SO_4		15,4928	15,4928	15,4928			
$C_3H_6O_3$			252,9437		252,9437	2,5294	250,4142
Total	**526,9660**	**15,8090**	**542,7749**	**15,4928**	**527,2821**	**274,7569**	**252,5253**

Digambar	1. Rezky Hasan/ 09220210001	1.
	2. Mayangsari / 09220240079	2.
Pembimbing	1. Prof. Dr. Ir. La Ifa., S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng	1.
	2. Ir. Fitra Jaya., S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng	2.
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA MAKASSAR		

Gambar 1.1 Process Engineering Flow Diagram Prarancangan Pabrik *Trioxane*

4. Analisa Ekonomi

Suatu rancangan pabrik dianggap layak didirikan bila dapat beroperasi dalam kondisi yang memberikan keuntungan. Berbagai parameter ekonomi digunakan sebagai pedoman untuk menentukan layak tidaknya suatu pabrik didirikan dan besarnya tingkat pendapatan yang dapat diterima dari segi ekonomi. Parameter-parameter tersebut antara lain:

1. Margin Keuntungan/*Profit Margin* (PM)
2. Titik Impas/*Break Even Point* (BEP)
3. Laju Pengembalian Modal/*Return On Investment* (ROI)
4. Waktu Pengembalian Modal/*Pay Out Time* (POT)
5. Laju Pengembalian Internal/*Internal Rate of Return* (IRR)

a. Perkiraan Harga

Perkiraan harga didasarkan pada data harga peralatan tahun referensi yang dikoreksi ke tahun rencana menggunakan *Chemical Engineering Plant Cost Index* (CEPCI). Harga bahan baku, utilitas, dan produk mengacu pada harga pasar domestik. Fluktuasi ekonomi diperhitungkan melalui indeks harga dan asumsi nilai tukar.

Harga Peralatan Proses : Rp 4.558.525.581,80
Harga Peralatan Utilitas : Rp 2.151.149.865,57
Biaya Bahan Baku : Rp 66.473.081.024,86
Gaji Karyawan : Rp 8.760.000.000,00

b. Dasar Perhitungan

Dasar perhitungan meliputi kapasitas produksi 2.000 ton/tahun, waktu operasi 330 hari/tahun dan 24 jam/hari, tahun konstruksi dan operasi, serta asumsi inflasi, pajak, dan suku bunga. Analisis ekonomi menggunakan metode *discounted cash flow* dengan pemisahan modal tetap dan modal kerja.

Kapasitas Produksi : 2.000
Ton/Tahun Nilai Tukar Rupiah : Rp 16.217,45/1$
Pengadaan Alat : 2029
Mulai Konstruksi, tahun : 2027

Lama Konstruksi : 2 tahun

Mulai Beroperasi, tahun : 2029

c. Perhitungan Biaya

Biaya total mencakup biaya peralatan proses dan utilitas, bahan baku, utilitas, tenaga kerja, overhead pabrik, serta biaya umum. Total investasi terdiri dari *Fixed Capital Investment* (FCI) dan *Working Capital Investment* (WCI). Biaya produksi dihitung sebagai *Total Production Cost* (TPC) yang meliputi biaya langsung, biaya tetap, *overhead*, dan pengeluaran umum.

Fixed Capital Investment (FCI) : Rp 30.394.829.776,61 *Working Capital Investment* (WCI) : Rp 13.026.355.618,55 *Total Production Cost* (TPC) : Rp 43.421.185.395,15

d. Analisa Kelayakan

1. *Profit Margin* (PM)

Profit Margin adalah persentase perbandingan antara keuntungan sebelum pajak penghasilan PPh terhadap total penjualan, dari hasil perhitungan diperoleh profit margin sebesar 5,97%, maka pra rancangan pabrik ini memberikan keuntungan.

2. *Break Even Point* (BEP)

Break Even Point adalah keadaan kapasitas produksi pabrik pada saat hasil penjualan hanya dapat menutupi biaya produksi, dari hasil perhitungan lampiran D, maka *Break Even Point* sebesar 41,09%, BEP masih berada pada rentang persyaratan BEP yaitu berkisar 40-60%.

3. *Return on Investment (ROI)*

Return on Investment adalah besarnya persentase pengembalian modal tiap tahun dari penghasilan bersih, diperoleh ROI sebesar 43,62% sebelum pajak dan 27,81% sesudah pajak.

4. *Pay Out Time* (POT)

Pay Out Time adalah waktu pengembalian modal yang dihasilkan berdasarkan keuntungan yang dicapai, didapatkan POT sebelum pajak 1,86 tahun dan setelah pajak 2,64 tahun.

5. *Internal Rate of Return* (IRR)

Internal rate of return berdasarkan *discounted cash flow* adalah suatu tingkat

bunga tertentu dimana seluruh penerimaan akan tepat menutup seluruh jumlah pengeluaran modal, dari perhitungan Lampiran D diperoleh IRR = 34,03% sehingga pabrik akan menguntungkan karena lebih besar dari bunga bank saat ini sebesar 14% (BRI, 2024).

6. Shut Down Point (SDP)

Shut Down Point adalah suatu titik atau saat penentuan aktivitas produksi dihentikan, dari perhitungan Lampiran D diperoleh SDP 18,75%.

5. Kesimpulan

Prarancangan pabrik Trioxan Kapasitas 2.000 Ton/Tahun ini direncanakan akan didirikan di daerah kawasan industri Cilegon, Jawa Barat.

Sesuai perhitungan analisa ekonomi dapat diketahui :

a. Keuntungan yang diperoleh sebelum pajak Rp 13.259.460.764,56 dan sesudah pajak yaitu dan Rp 8.452.672.632,19.
b. *Return on Investmen* (ROI) untuk pabrik ini 43,62 % sebelum pajak dan 27,81 % sesudah pajak.
c. *Pay Out Time* (POT) untuk pabrik ini adalah 1,86 tahun sebelum pajak dan 2,64 tahun sesudah pajak.
d. *Break Event Point* (BEP) adalah 41,09%. BEP untuk pabrik kimia pada umumnya berkisar antara 40-60 %.
e. *Shut Down Point* (SDP) adalah 18,75 %.

Berdasarkan perhitungan analisis ekonomi di atas, dapat disimpulkan Trioxan Kapasitas 2.000 Ton/Tahun layak untuk diteruskan ketahap selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Agra, S.W., 1987, *Reaktor Kimia*, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Badan Pusat Statistik, 2023, *Buletin Statistik Perdagangan Luar negeri vol II*, BPS, Makassar.

Brown.G.George., 1956, *Unit Operation 6ed*, Wiley&Sons, USA.

Brownell.L.E. and Young.E.H., 1959, *Process Equipment Design*, John Wiley & Sons, New York.

Coulson.J.M. and Ricardson.J.F., 1983, *Chemical Engineering vol 6*, Pergamon Press Inc, New York.

Geankoplis.Christie.J., 1993, *Transport Processes and unit Operation 3th ed*, Allyn & Bacon Inc, New Jersey.

Himmeblau.David., 1996, *Basic Principles and Calculation in Chemical Engineering*, Prentice Hall Inc, New Jersey.

Holman, J.P., *Heat Transfer 8th Edition*, Mc Graw Hill Companies Inc., USA

Kent S. Knaebel, 2006. *How To Guide For Adsorber Design*, Adsorption Research, Inc. Dublin, Ohio 43016.

Kern.D.Q., 1950, *Process Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Kirk.R.E.and Othmer.D.F., 1993, *Encyclopedia of Chemical Technology 18ed*, John Wiley&Sons, New York.

Levenspiel.O., 1972, *Chemical Reaction Engineering 2nd edition*, John Wiley and Sons Inc, New York.

Matar, S. and Hatch, F.L, 2000, *Chemistry of Petrochemical Processes*, Gulf Publishing Company, Texas

Mc. Cabe.W.L. and Smith.J.C., 1985, *Operasi Teknik Kimia*, Erlangga, Jakarta.

Megyesy, E.F., 1983, *Pressure Vessel Handbook*, Pressure Vessel Handbook Publishing Inc, USA.

Meyers, Robert A., 2004, *Handbook of Petroleum and Refinery Process*, McGraw-Hill Book Company (Digital Engineering Series), New York.

Minceva, M., 1988, *Chemical Process Equipment*, Butterworth-Heinnemann Inc., New York.

Perry.R.H. and Green.D., 1997, *Perry's Chemical Engineer Handbook 7th ed*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Peter.M.S. and Timmerhause.K.D., 1991, *Plant Design an Economic for Chemical Engineering 3ed*, McGraww-Hill Book Company, New York.

Rase, H.F. and Barrow, M.H., 1957, *"Chemical Reactor Design for Process Plant", vol. I&II,* John Willey and Sons, New York.

Smith.J.M. and Van Ness.H.C., 1975, *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 3ed*, McGraww-Hill Inc, New York.

Treyball.R.E., 1981, *Mass Transfer Operation 3ed*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Ulman's, 1987, *Encyclopedia of Industical Chemistry vol VI*, New york.

Ulrich.G.D., 1982, *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley & Sons Inc, New York.

Wallas. S.M., 1959, *Chemical Process Equipment*, Butterworth Publishers, Stoneham USA.