

SKRIPSI
PRARANCANGAN PABRIK PENTAERYTHRITOL DARI
ASETALDEHID DAN FORMALDEHID DENGAN
MENGGUNAKAN MEDIA ALKALI NATRIUM HIDROKSIDA
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN



Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Strata Satu Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Setia Budi Surakarta

Oleh :

Tamara Destya Wardhani

20140259D

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SETIA BUDI

LEMBAR PERSETUJUAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PRARANCANGAN PABRIK PENTAERYTHRITOL DARI
ASETALDEHID DAN FORMALDEHID DENGAN
MENGUNAKAN MEDIA ALKALI NATRIUM HIDROKSIDA
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN**

Disusun oleh :

Tamara Destya Wardhani

20140259D

Telah disetujui oleh Pembimbing

pada tanggal 23 Agustus 2019

Pembimbing 1



Narimo, S.T., M.M.

NIS. 01199609021057

Pembimbing 2



Gregorius Prima Indra B., S.T., M. Eng.

NIS. 01201407261183

Mengetahui,

Ketua Program Studi

S1 Teknik Kimia



Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng.

NIS. 01199601032053

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PRARANCANGAN PABRIK PENTAERYTHRITOL DARI
ASETALDEHID DAN FORMALDEHID DENGAN
MENGUNAKAN MEDIA ALKALI NATRIUM HIDROKSIDA
KAPASITAS 10.000 TON/TAHUN**

Disusun oleh :

Tamara Destya Wardhani

20140259D

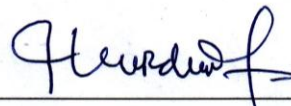
Telah dipertahankan didepan tim penguji

pada tanggal 29 Agustus 2019

Penguji 1. Ir. Petrus Darmawan, S.T., M.T.



Penguji 2. Ir. Sumardiyono, M.T.



Penguji 3. Narimo, S.T., M.M.



Penguji 4. Gregorius Prima Indra B., S.T., M.Eng.



Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi



Ir. Petrus Darmawan, S.T., M.T.

NIS. 01199905141068



Ir. Dewi Astuti Herawati, S.T., M. Eng.

NIS. 01199601032053

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- ❧ Mimpi, Percaya, Dapatkan.
- ❧ “Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah SWT beserta orang-orang yang sabar” – Al-Baqarah : 6-8
- ❧ “Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah” – Thomas Alva Edison

TERIMAKASIH KU UNTUK ...

Tuhan Yang Maha Esa

Puji Tuhan, segala puji syukur kupanjatkan kepada-Mu. Terimakasih untuk semua rahmat yang telah Kau berikan kepada hamba-Mu. Semoga Engkau memberikan kelancaran dan perlindungan dalam setiap langkahku.

Orangtua tercinta

Terimakasih untuk semua doa, kasih sayang, dan motivasi yang begitu besar yang Bapak dan Ibu berikan selama ini kepadaku. Aku takkan pernah bisa membalas budi untuk semua perjuangan yang telah kalian berikan. Bapak dan Ibu, kalian motivator terhebat dalam hidupku dan semangatku.

Pak Narimo dan Pak Indra

Terimakasih telah membimbing dalam pengerjaan tugas akhir ini dan terimakasih atas ilmu yang diberikan selama diperkuliahan ini.

Seluruh Bapak dan Ibu dosen Prodi Teknik Kimia serta Karyawan TU Fakultas Teknik USB yang tidak bisa saya sebut satu-persatu

Terimakasih telah mengajarkan banyak ilmu selama masa perkuliahan, dan terimakasih atas pelayanan yang baik yang telah bapak dan ibu berikan.

Teman Seperjuangan Tekkim USB angkatan 2014, Iin, Rio, Carla, Eme, Hera, Ryan, Bagus, Arum, Caesar, dan Lala

Terimakasih atas dukungan teman-teman yang telah ikut membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini, dan terimakasih atas pengalaman yang menyenangkan yang kalian berikan semasa perkuliahan ☺.

Teman-teman USB yang tidak bisa saya sebut satu-persatu

Terimakasih atas dukungan kalian yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini,

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “Prarancangan Pabrik Pentaerythritol dari Asetaldehid dan Formaldehid dengan Menggunakan Media Alkali Natrium Hidroksida Kapasitas 10.000 Ton/Tahun” sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta. Dengan tugas ini, diharapkan kemampuan penalaran dan penerapan teori-teori yang telah diperoleh selama kuliah dapat berkembang dan dapat dipahami dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Melalui laporan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Djoni Tarigan MBA, selaku Rektor Universitas Setia Budi Surakarta.
2. Ir. Petrus Darmawan, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta dan selaku Dosen Penguji 1 yang telah meluangkan waktunya untuk menguji dan memberikan saran untuk hasil laporan tugas akhir ini.
3. Ir. Dewi Astuti H., S.T., M.Eng., selaku ketua Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi Surakarta.
4. Narimo, S.T., M.M., selaku Dosen Pembimbing 1 yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

5. Gregorius Prima Indra B., S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing 2 yang senantiasa memberikan arahan kepada penulis hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Ir. Sumardiyono, M.T., selaku Dosen Penguji 2 yang telah meluangkan waktunya untuk menguji dan memberikan saran untuk hasil laporan tugas akhir ini.
7. Bapak dan Ibu dosen Program Studi S1 Teknik Kimia serta bapak dan ibu laboran yang telah membimbing selama kuliah.
8. Orang tua yang selalu memberikan dukungan, doa, dan motivasi.
9. Serta semua teman yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan proposal ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini, untuk itu saran dan kritik yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan. Dan semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Surakarta, 3 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
INTISARI.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Pendirian Pabrik	1
1.2. Penentuan Kapasitas Rancangan Pabrik	2
1.3. Pemilihan Lokasi Pabrik	9
1.4. Tinjauan Pustaka	12
BAB II. SPESIFIKASI BAHAN	
2.1. Spesifikasi Bahan Baku.....	29
2.2. Spesifikasi Produk.....	30
BAB III. DESKRIPSI PROSES	
3.1. Keterangan Proses	31
3.2. Diagram Alir Kualitatif	34
3.3. Diagram Alir Kuantitatif	35
BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa	36
4.2. Neraca Panas	44
BAB V. SPESIFIKASI ALAT	
5.1. Tangki Penyimpanan CH ₂ O	54
5.2. Tangki Penyimpanan CH ₃ CHO.....	54
5.3. Tangki Penyimpanan NaOH	55

5.4. Tangki Penyimpanan CH ₂ O ₂	56
5.5. Mixer	56
5.6. Reaktor	57
5.7. <i>Neutrallizer</i>	59
5.8. <i>Centrifuge</i>	60
5.9. <i>Evaporator – 01</i>	61
5.10. <i>Evaporator – 02</i>	62
5.11. <i>Crystallizer</i>	63
5.12. <i>Rotary Dryer – 01</i>	63
5.13. <i>Rotary Dryer – 02</i>	64
5.14. <i>Cyclone – 01</i>	65
5.15. <i>Cyclone – 02</i>	66
5.16. <i>Belt Conveyor – 01</i>	67
5.17. <i>Belt Conveyor – 02</i>	68
5.18. <i>Belt Conveyor – 03</i>	68
5.19. <i>Belt Conveyor – 04</i>	69
5.22. <i>Bucket Elevator – 01</i>	70
5.23. <i>Bucket Elevator – 02</i>	71
5.20. Silo Penyimpanan NaCOOH.....	72
5.21. Silo Penyimpanan C ₅ H ₁₂ O ₄	73
5.24. Pompa – 01.....	73
5.25. Pompa – 02.....	74
5.26. Pompa – 03.....	74
5.27. Pompa – 04.....	75
5.28. Pompa – 05.....	75
5.29. Pompa – 06.....	76
5.30. Pompa – 07.....	76
5.31. Pompa – 08.....	77
5.32. Pompa – 09.....	77
5.33. Pompa – 10.....	77

5.34. Pompa – 11.....	78
5.35. Pompa – 12.....	79
5.36. Pompa – 13.....	79
5.37. Pompa – 14.....	80
5.38. Pompa – 15.....	81
5.39. Pompa – 16.....	81
5.40. Pompa – 17.....	81
5.41. Heater – 01.....	82
5.42. Heater – 02.....	83
5.43. Heater – 03.....	83
5.44. Heater – 04.....	84
5.45. Heater – 05.....	85
5.46. Kondensor – 01	86
5.47. Kondensor – 02	86
5.48. Cooler.....	87
BAB VI. UNIT PENDUKUNG PROSES (UTILITAS)	
6.1. Unit Pendukung Proses (Utilitas).....	89
6.2. Unit Pengadaan Listrik.....	96
6.3. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	98
6.4. Unit Penyediaan Udara Tekan	99
6.5. Unit Pengolahan Limbah.....	99
6.6. Laboratorium.....	100
6.7. Kesehatan dan Keselamatan Kerja.....	101
6.8. Alat-Alat Utilitas.....	102
BAB VII. ORGANISASI DAN TATA LETAK PABRIK	
7.1. Bentuk Perusahaan	112
7.2. Struktur Organisasi.....	113
7.3. Sistem Kepagawaian dan Sistem Gaji.....	117
7.4. Kesejahteraan Karyawan.....	120
7.5. Manajemen Produksi.....	123

7.6. Tata Letak (<i>Lay Out</i>) Pabrik	125
7.7. Tata Letak Peralatan.....	129
BAB VIII. EVALUASI EKONOMI	
8.1. Perhitungan Biaya	133
8.2. <i>Total Fixed Capital Investment</i>	135
8.3. <i>Working Capital</i> (Modal Kerja).....	136
8.4. <i>Manufacturing Cost</i>	137
8.5. <i>General Expenses</i>	138
8.6. Analisis Ekonomi	138
BAB IX. KESIMPULAN	143
DAFTAR PUSTAKA	144
LAMPIRAN	147

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1.1. Data impor pentaerythritol di Indonesia	2
Tabel 1.2. Data impor pentaerythritol di Malaysia	4
Tabel 1.3. Data Impor pentaerythritol di Singapura	5
Tabel 1.4. Data Impor pentaerythritol di Australia	6
Tabel 1.5. Data Impor pentaerythritol di berbagai negara	7
Tabel 1.6. Kapasitas pabrik produksi pentaerythritol komersial.....	8
Tabel 1.7. Kegunaan pentaerythritol di berbagai bidang	14
Tabel 1.8. Harga ΔH°_f masing-masing komponen	21
Tabel 1.9. Harga ΔG°_f masing-masing komponen	21
Tabel 4.1.1. Neraca Massa Mixer	37
Tabel 4.1.2. Neraca Massa Reaktor	37
Tabel 4.1.3. Neraca Massa Neutrallizer	38
Tabel 4.1.4. Neraca Massa Centrifuge	38
Tabel 4.1.5. Neraca Massa Rotary Dryer – 01	39
Tabel 4.1.6. Neraca Massa Cyclone – 01	39
Tabel 4.1.7. Neraca Massa Belt Conveyor – 01	39
Tabel 4.1.8. Neraca Massa Evaporator – 01	40
Tabel 4.1.9. Neraca Massa Kondensor – 01	40
Tabel 4.1.10. Neraca Massa Evaporator – 02	41
Tabel 4.1.11. Neraca Massa Kondensor – 02.....	41
Tabel 4.1.12. Neraca Massa Crystallizer	42
Tabel 4.1.13. Neraca Massa Rotary Dryer – 02	42
Tabel 4.1.10. Neraca Massa Cyclone – 02.....	43
Tabel 4.1.11. Neraca Massa Belt Conveyor – 02.....	43
Tabel 4.2.1. Konstanta Kapasitas Panas.....	44
Tabel 4.2.2. Neraca Panas Mixer	45
Tabel 4.2.3. Neraca Panas Heater – 01	45

Tabel 4.2.4. Neraca Panas Heater – 02	46
Tabel 4.2.5. Neraca Panas Reaktor	46
Tabel 4.2.6. Neraca Panas Neutrallizer	47
Tabel 4.2.7. Neraca Panas Centrifuge	47
Tabel 4.2.8. Neraca Panas Rotary Dryer – 01	48
Tabel 4.2.9. Neraca Panas Belt Conveyor – 01	48
Tabel 4.2.10. Neraca Panas Heater – 04	49
Tabel 4.2.11. Neraca Panas Evaporator – 01	49
Tabel 4.2.12. Neraca Panas Kondensor – 01	50
Tabel 4.2.13. Neraca Panas Heater – 05	50
Tabel 4.2.14. Neraca Panas Evaporator – 02	51
Tabel 4.2.15. Neraca Panas Kondensor – 02	51
Tabel 4.2.16. Neraca Panas Cooler	51
Tabel 4.2.17. Neraca Panas Crystallizer	52
Tabel 4.2.18. Neraca Panas Rotary Dryer – 02	52
Tabel 4.2.19. Neraca Panas Belt Conveyor – 02	53
Tabel 6.1.1. Spesifikasi perbedaan air proses dan air boiler	90
Tabel 6.1.2. Kebutuhan Air Proses	91
Tabel 6.1.3 Kebutuhan Air Pendingin 30°C	91
Tabel 6.1.4 Kebutuhan Air Pendingin 10°C	91
Tabel 6.1.5. Kebutuhan Air Sanitasi	92
Tabel 6.1.6. Kebutuhan Air untuk Steam	93
Tabel 6.1.7. Kebutuhan Air <i>Make up</i>	93
Tabel 6.2.1. Konsumsi Listrik untuk Keperluan Proses	96
Tabel 6.2.2. Konsumsi Listrik untuk Utilitas	97
Tabel 7.3.1. Pembagian <i>Shift</i> Karyawan	120
Tabel 7.6.1. Luas Bangunan Pabrik	127
Tabel 8.1.1. <i>Cost Index Chemical Plant</i>	132
Tabel 8.2. <i>Total Fixed Capital Investment</i>	135
Tabel 8.3. <i>Working Capital</i>	136

Tabel 8.4. <i>Manufacturing Cost</i>	137
Tabel 8.5. <i>General Expenses</i>	138
Tabel 8.6. <i>Fixed Cost</i>	140
Tabel 8.7. <i>Variable Cost</i>	140
Tabel 8.8. <i>Regulated Cost</i>	141
Tabel 9.1. Analisis Kelayakan Ekonomi.....	143

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. Grafik data impor pentaerythritol di Indonesia	3
Gambar 2. Grafik data impor pentaerythritol di Malaysia	5
Gambar 3. Grafik data impor pentaerythritol di Singapura	6
Gambar 4. Grafik data impor pentaerythritol di Australia	7
Gambar 5. Peta lahan pendirian pabrik pentaerythritol	12
Gambar 6. Diagram alir kualitatif	34
Gambar 7. Diagram alir kuantitatif	35
Gambar 8. Diagram Alir Pengolahan Air dan Utilitas	111
Gambar 9. Struktur Organisasi Industri	122
Gambar 10. Tata Letak Pabrik	128
Gambar 11. Grafik Hubungan Tahun dengan <i>Cost Index</i>	132
Gambar 12. Grafik BEP dan SDP	142

INTISARI

Prarancangan pabrik pentaerythritol dari asetaldehid dan formaldehid dengan menggunakan media alkali natrium hidroksida memberikan prospek yang sangat cerah dalam dunia perindustrian mengingat belum adanya pabrik yang memproduksi di Indonesia. Pabrik tersebut direncanakan beroperasi selama 330 hari/tahun diatas area sebesar 15.850 m² yang akan didirikan pada tahun 2023, lokasi pabrik berada di Banten, Jawa Barat yang berdekatan dengan PT. Dover Chemical sebagai penyedia bahan baku formaldehid dan PT. Asahimas Chemical sebagai penyedia natrium hidroksida dan dekat dengan pelabuhan, sehingga memudahkan dalam proses import bahan baku asetaldehid. Pabrik ini beroperasi dengan kapasitas 10.000 ton/tahun, dengan pertimbangan dapat membantu memenuhi kebutuhan dalam negeri.

Proses pembuatan Pentaerythritol berlangsung pada fase cair-cair dengan menggunakan reaktor *semi-batch* dengan kondisi tekanan 1 atm, suhu 35 °C. Reaksi berlangsung secara *eksotermis* dan *irreversible*. Kebutuhan asetaldehid sebesar 518,458 kg/jam, formaldehid sebesar 1.114,0381 kg/jam dan natrium hidroksida sebesar 470,7295 kg/jam. Produk berupa pentaerythritol sebesar 992,2448 kg/jam dan produk samping natrium format sebesar 715,4407 kg/jam. Untuk menunjang proses produksi, maka didirikan unit pendukung yaitu unit penyediaan air start up sebesar 1208,2848 kg/jam dan make up sebesar 335,0485 kg/jam. Kebutuhan listrik diperoleh dari PLN dan *generator set* sebesar 500 kW sebagai cadangan, bahan bakar solar total sebanyak 0,0622 m³/jam dan udara tekan sebesar 50 m³/jam.

Pembuatan pentaerythritol memiliki beberapa tahapan proses. Tahap pertama adalah persiapan bahan baku asetaldehid, formaldehid dan natrium hidroksida. Formaldehid diencerkan menggunakan air hingga konsentrasinya 30%. Tahap kedua adalah proses alkalinitas, yaitu mereaksikan antara larutan asetaldehid, formaldehid dan natrium hidroksida dengan perbandingan mol 1 : 4:1. Tahap ketiga adalah proses penetralan dengan penambahan asam format. Tahap keempat adalah proses pemisahan produk samping dengan larutan produk utama. Tahap kelima adalah penguapan senyawa-senyawa yang mudah menguap untuk meningkatkan viskositas larutan. Tahap keenam adalah pengkristalan dan pemisahan produk utama. Tahap terakhir adalah pengeringan produk utama.

Dari analisis ekonomi yang dilakukan terhadap pabrik ini didapat FCI Rp. 335.520.435.314 dan WCI Rp. 45.185.319.030. Keuntungan sebelum pajak Rp. 53.824.014.548 pertahun setelah dipotong pajak sebesar 30% keuntungan mencapai Rp. 37.676.810.183,85 pertahun. ROI sebelum pajak 16,04 % dan setelah pajak 11,23 %, POT sebelum pajak adalah 3,8 tahun dan setelah pajak 4,7 tahun. BEP sebesar 42,41 %, SDP sebesar 23,46 % dan DCF sebesar 11,25 %. Dari data analisis kelayakan diatas dapat disimpulkan bahwa pabrik ini menguntungkan dan layak didirikan.

Kata kunci : Pentaerythritol, Proses Alkalinitas, *Semi-batch Reactor*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Pendirian Pabrik

Indonesia sebagai negara berkembang sedang giat-giatnya melakukan pembangunan di segala bidang guna meningkatkan taraf hidup masyarakat, sesuai cita-cita luhur bangsa yaitu masyarakat adil dan makmur. Salah satu bidang pembangunan yang paling diharapkan dapat memicu kemajuan bangsa adalah bidang ekonomi, dan salah satu bidang ekonomi adalah sektor industri. Pengembangan teknologi ini semakin meningkat dengan meningkatnya teknologi hilir di Indonesia seperti plastik, industri cat, industri makanan dan lain-lain. Dalam memenuhi kebutuhan kimia baik yang digunakan sebagai bahan baku dan bahan jadi dalam industri kimia, Indonesia masih tergantung kepada negara lain, salah satunya adalah pentaerythritol. Kebutuhan pentaerythritol terus bertambah seiring dengan perkembangan industri-industri baru di Indonesia. Tingkat konsumsi pentaerythritol di Indonesia dari tahun ke tahun menunjukkan peningkatan yang signifikan, namun hal ini belum dapat dipenuhi sendiri oleh bangsa Indonesia, dengan kata lain Indonesia masih harus mengimpor untuk memenuhi kebutuhan pentaerythritol. Sehubungan dengan hal ini maka sangatlah tepat jika di Indonesia didirikan pabrik pentaerythritol dengan tujuan mengurangi ketergantungan terhadap negara lain, memenuhi kebutuhan dalam negeri dan tidak menutup kemungkinan di ekspor ke luar negeri.

Dengan mendirikan pabrik pentaerythritol, diharapkan kebutuhan impor dalam negeri bisa ditekan dan kebutuhan bahan baku untuk industri alkyd resin, resin ester dan lain-lain dapat dipenuhi. Jadi pendirian pabrik pentaerythritol dimaksudkan agar :

1. Ketergantungan industri Indonesia terhadap bangsa lain dapat berkurang.

2. Menarik minat para investor untuk datang ke Indonesia dan menanamkan modalnya.
3. Terciptanya lapangan kerja baru bagi masyarakat.
4. Pemasok bahan baku terhadap industri-industri yang membutuhkan pentaerythritol sebagai bahan baku.

1.2 Kapasitas Rancangan

Kapasitas produk dapat diartikan sebagai jumlah maksimum output yang dapat diproduksi dalam satuan massa tertentu. Dalam penentuan kapasitas prarancangan pabrik pentaerythritol ini didasarkan pada beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan, yaitu:

1.2.1 Kebutuhan Pentaerythritol di Negara Indonesia

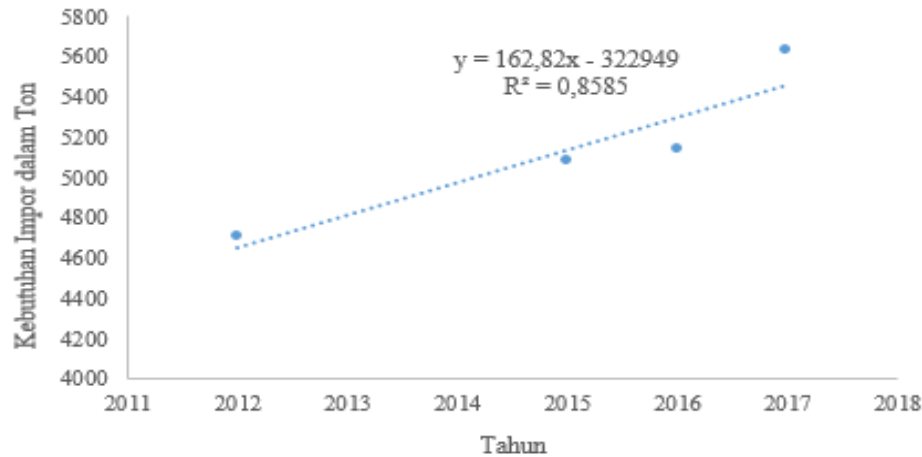
Penentuan kapasitas produksi didasarkan pada kebutuhan pentaerythritol yang masih impor dan kapasitas ini harus diatas atau paling tidak sama dengan kapasitas minimum pabrik yang sudah beroperasi dengan baik dan menguntungkan. Apabila dibandingkan dengan besarnya kebutuhan maka kapasitas pabrik harus lebih besar untuk mengantisipasi kenaikannya. Data kebutuhan pentaerythritol di Indonesia. Jumlah impor pentaerythritol di Indonesia terus meningkat dalam beberapa tahun ini dan diperkirakan akan terus meningkat dikarenakan semakin berkembangnya kebutuhan pentaerythritol.

Data statistik yang diperoleh dari BPS mengenai jumlah impor pentaerythritol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Impor Pentaerythritol di Indonesia

No	Tahun	Jumlah (ton)
1	2012	4703,739
2	2015	5083,862
3	2016	5133,349
4	2017	5628,687

(Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia, 2018)



Gambar 1. Impor pentaerythritol di Indonesia

Dari Tabel 1. terlihat bahwa kebutuhan pentaerythritol cukup tinggi. Hal ini disebabkan di Indonesia belum terdapat pabrik pentaerythritol sehingga untuk memenuhi kebutuhan pentaerythritol diperoleh dari impor. Konsumsi pentaerythritol di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat. Proyeksi pertumbuhan tersebut didasari semakin membaiknya perekonomian nasional dan peningkatan daya beli masyarakat, serta penambahan jumlah penduduk. Peningkatan konsumsi pentaerythritol didasarkan atas perkembangan industri pemakainya yang mengalami perkembangan cukup pesat. Di samping masih tingginya minat investasi pada sektor industri, industri pemakai yang ada juga aktif melakukan perluasan pabrik. Sehingga dengan pendirian pabrik ini diharapkan kebutuhan pentaerythritol dalam industri di Indonesia dapat terpenuhi. Prediksi kapasitas pabrik diambil berdasarkan data statistik yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) perihal data impor pentaerythritol di Indonesia.

Untuk menghitung kebutuhan impor pentaerythritol tahun berikutnya maka menggunakan persamaan garis lurus : $y = ax + b$

Dengan menggunakan persamaan tersebut, maka dapat diketahui kebutuhan impor pentaerythritol di Indonesia pada tahun 2023 adalah :

$$y = 162,82x2023 - 322949$$

$$y = 6435,86 \text{ ton/tahun}$$

dimana :

$$y = \text{Data impor pentaerythritol (Ton)}$$

$$x = \text{Tahun kebutuhan pentaerythritol}$$

Dari perhitungan terhadap persamaan yang didapatkan dari grafik, maka dapat disimpulkan bahwa perkiraan kebutuhan akan pentaerythritol pada tahun 2023 di Indonesia adalah berkisar 6435,86 ton/tahun.

1.2.2 Kebutuhan Pentaerythritol di Negara lain

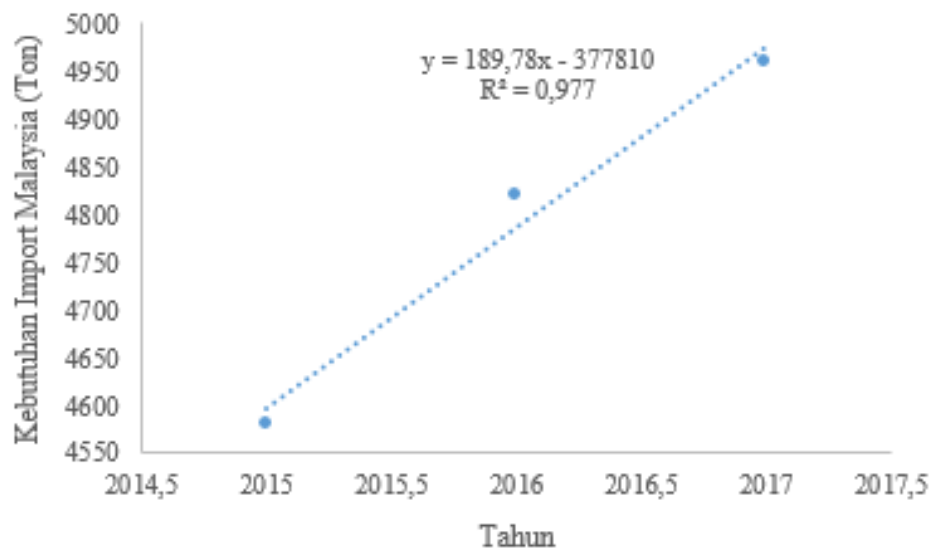
1. Malaysia

Kebutuhan akan pentaerythritol di Negara Malaysia ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Data Impor Pentaerythritol Negara Malaysia

Tahun	Jumlah (ton)
2015	4579,033
2016	4819,26
2017	4958,592

(Sumber: data.un.org, 2018)



Gambar 2. Grafik Data Impor Pentaerythritol Negara Malaysia

Dari persamaan regresi linear yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan pentaerythritol Negara Malaysia pada tahun 2023 berdasarkan persamaan $y = 189,78x - 377810$ adalah 6114,94 ton.

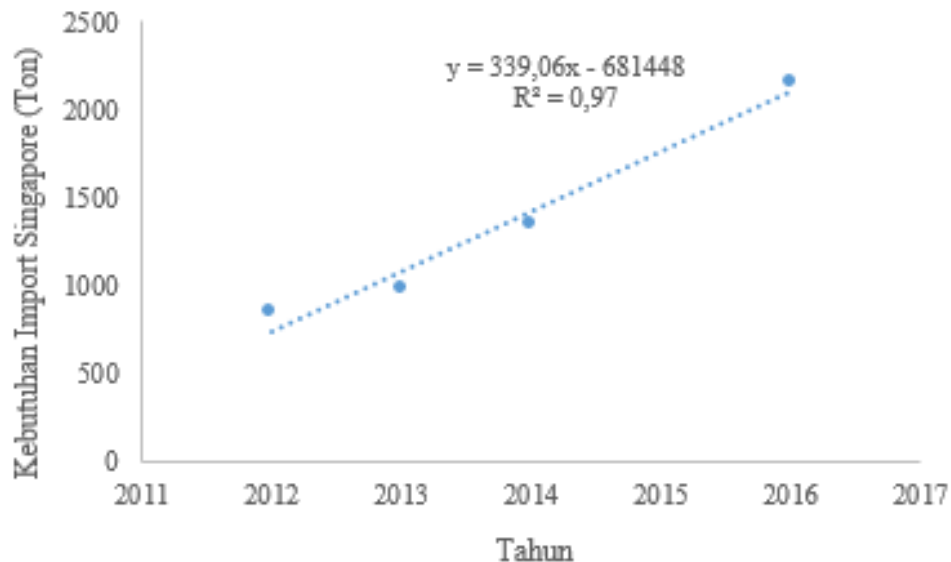
2. Singapura

Kebutuhan akan pentaerythritol di Negara Singapura ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Impor Pentaerythritol Negara Singapura

Tahun	Jumlah (ton)
2012	851,022
2013	980,486
2014	1345,458

(Sumber: data.un.org, 2018)



Gambar 3. Grafik Data Impor Pentaerythritol Negara Singapura

Dari persamaan regresi linear yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan pentaerythritol Negara Singapura pada tahun 2023 berdasarkan persamaan $y = 339,06x - 681448$ adalah 4470,38 ton.

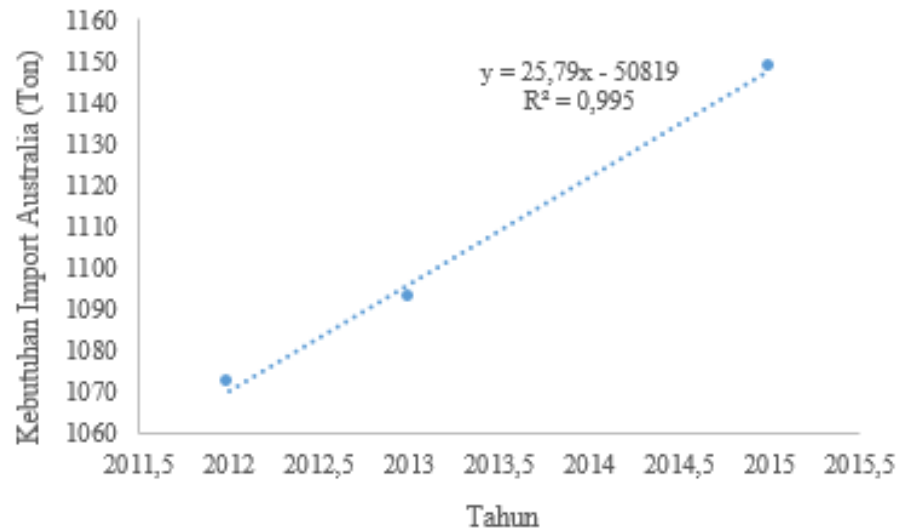
3. Australia

Kebutuhan akan pentaerythritol di Negara Australia ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Data Impor pentaerythritol Negara Australia

Tahun	Jumlah (Ton)
2012	1072,262
2013	1092,787
2015	1148,579

(Sumber: data.un.org, 2018)



Gambar 4. Grafik Data Impor Pentaerythritol Negara Australia

Dari persamaan regresi linear yang didapat, kemudian dihitung kebutuhan pentaerythritol Negara Australia pada tahun 2023 berdasarkan persamaan $y = 25,79x - 50819$ adalah 1354,17 ton.

Dari perhitungan diatas maka dapat diketahui bahwa kebutuhan akan pentaerythritol pada tahun 2023 di berbagai negara adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Kebutuhan pentaerythritol di berbagai negara

Negara	Jumlah Kebutuhan (Ton)
Indonesia	6435,86
Malaysia	6114,94
Singapura	4470,38
Australia	1354,17

Kebutuhan total untuk pentaerythritol di negara Indonesia dan beberapa negara di sekitar Indonesia adalah sekitar 18375,35 ton pada tahun 2023.

1.2.3 Kapasitas Rancangan Pentaerythritol Komersial

Untuk memproduksi pentaerythritol harus diperhitungkan juga kapasitas produksi komersial yang masih eksis hingga sekarang, sehingga besar kemungkinan prarancangan pabrik yang akan didirikan akan

memberikan keuntungan. Kapasitas produksi secara komersial yang telah ada terlihat pada tabel 6.

Kapasitas pabrik pentaerythritol yang masih berdiri adalah berkisar antara 5.000-36.000 ton/tahun.

Tabel 6. Kapasitas produksi pabrik pentaerythritol komersial

Pabrik	Negara	Kapasitas (Ton/tahun)
Kanoria Chemicals & Industries	India	5.000
Liyang Ruiyang Chemical	Cina	10.000
Copenor	Brazil	12.000
Hercules	US	22.000
Perstorp	Jerman	36.000

(Sumber : www.icis.com)

Dengan beberapa pertimbangan diatas, maka akan didirikan pabrik pentaerythritol dengan kapasitas 10.000 ton/tahun, dan diharapkan :

1. Prediksi kebutuhan di Indonesia (data impor pentaerythritol) pada tahun 2023 adalah sebesar 6435,86 ton/tahun
2. Dapat memenuhi memenuhi 75% kebutuhan pentaerythritol dalam negeri pada tahun 2023.
3. Dapat memenuhi memenuhi 50% kebutuhan pentaerythritol Negara Malaysia pada tahun 2023.
4. Dapat memenuhi memenuhi 30% kebutuhan pentaerythritol Negara Singapore pada tahun 2023.
5. Dapat memenuhi memenuhi 40% kebutuhan pentaerythritol Negara Australia pada tahun 2023.
6. Dapat memberikan keuntungan karena kapasitas rancangan berada diatas kapasitas produksi minimal di dunia.
7. Meningkatkan devisa negara karena mencakup pasar ekspor.

8. Membuka peluang bagi industri lain di Indonesia untuk berdiri dan meningkatkan kapasitas produksi bagi pabrik yang berbahan baku pentaerythritol.
9. Dapat mengurangi jumlah pengangguran yang ada di Indonesia.

1.3 Ketersediaan Bahan Baku

Bahan baku yang digunakan untuk memproduksi pentaerythritol meliputi formaldehid, asetaldehid, dan natrium hidroksida. Sedangkan bahan pembantu yang digunakan adalah asam format. Formaldehid diperoleh dari PT. Dover Chemical yang berlokasi di Banten, asetaldehid diperoleh dari Chem-Supply yang berlokasi di Australia, natrium hidroksida diperoleh dari PT. Asahimas Chemical yang berlokasi di Banten, sedangkan asam format di peroleh dari PT. Sintas Kurama Perdana yang berlokasi di Karawang.

1.4 Pemilihan Lokasi Pabrik

Pemilihan lokasi pabrik adalah hal yang sangat penting dalam prancangan pabrik, karena hal ini berhubungan langsung dengan nilai ekonomis pabrik yang akan didirikan. Berdasarkan beberapa pertimbangan maka pabrik pentaerythritol ini akan didirikan di kota. Sebagai bahan pertimbangan adalah sebagai berikut :

1.4.1 Faktor Primer

1. Sumber Bahan Baku

Lokasi pabrik dekat dengan produsen bahan baku seperti formaldehid, dan natrium hidroksida. Formaldehid diperoleh dari PT. Dover Chemical, natrium hidroksida diperoleh dari PT. Asahimas Chemical, dan asetaldehid diperoleh dari Chem-Supply yang diimpor dari luar negeri, sedangkan asam format di peroleh dari PT. Sintas Kurama Perdana.

2. Daerah Pemasaran

Lokasi pabrik dekat dengan daerah pemasaran produk. Konsumen terbesar pentaerythritol adalah industri alkyd resin yang sebagian besar berlokasi di Jakarta dan Tangerang. Di Jakarta terdapat Pabrik Eternal Buana Chemical, dan di Tangerang terdapat PT Pardic Jaya Chemicals, PT Indonesia Kasai Perkasa, dan PT Warna Agung. Sedangkan untuk konsumen Pentaerythritol lainnya pada umumnya berlokasi di pulau Jawa sehingga dalam pemasarannya mudah.

3. Transportasi

Jalur transportasi baik darat maupun laut yang berperan dalam pendistribusian bahan baku maupun produk cukup memadai, untuk transportasi darat tersedia jalan raya yang menghubungkan ke daerah-daerah lain yang berpotensi untuk menunjang jalannya proses produksi dan pemasaran, seperti jalan tol Merak-Jakarta. Transportasi laut dapat melalui pelabuhan Merak. Pada tahun 2008 pelabuhan peti kemas Bojanegara, Serang, yang akan menjadi pelabuhan peti kemas terbesar di Indonesia rencananya akan selesai, sehingga kemungkinan transportasi laut dialihkan dari Merak ke pelabuhan tersebut.

1.4.2 Faktor Sekunder

1. Perluasan Area Pabrik

Krakatau Industrial Estate Cilegon merupakan kawasan industri yang luas sehingga masih memungkinkan untuk memperluas area pabrik.

2. Kebijakan Pemerintah

Krakatau Industrial Estate Cilegon merupakan kawasan industri yang ditetapkan pemerintah dan berada di teritorial Negara Indonesia sehingga secara geografis pendirian pabrik di kawasan tersebut tidak bertentangan dengan kebijakan pemerintah.

3. Penyediaan Utilitas

Untuk menjalankan proses produksi pabrik diperlukan sarana pendukung sebagai pembangkit tenaga listrik dan air. Untuk kebutuhan air, lokasi pabrik ini sudah memiliki fasilitas PDAM untuk memperoleh air bersih sebagai sumbernya. Sedangkan untuk listrik dapat disuplai dari PLN dan Generator.

4. Tenaga Kerja

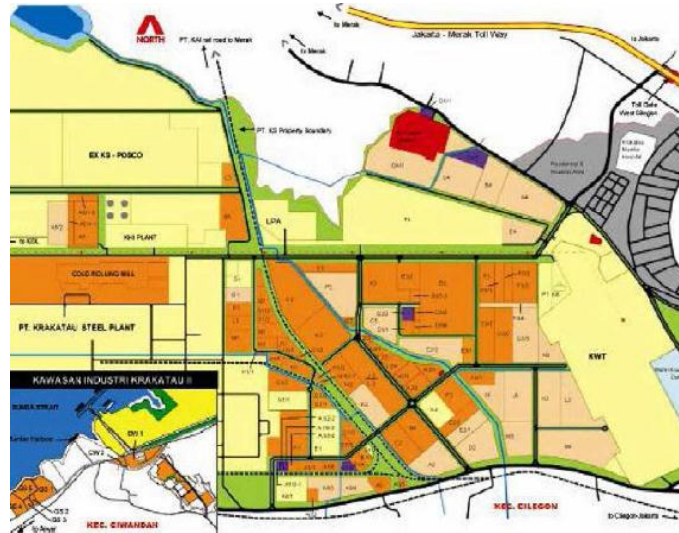
Kebutuhan tenaga kerja dapat diperoleh dari daerah Banten dan sekitarnya.

5. Kawasan Industri

Penempatan pabrik di kawasan industri sesuai Keputusan Presiden No. 41 Tahun 1996 tentang kawasan industri. Didalamnya disebutkan pembangunan di kawasan industri merupakan syarat untuk melakukan pembangunan dan kegiatan produksi (pasal 15 ayat 2).

6. Komunitas

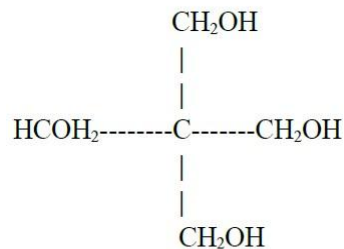
Masyarakat di sekitar lokasi perlu juga diperhatikan karena pada beberapa jenis industri masyarakat ini dapat dijadikan pegawai yang prospektif, dan akan mempengaruhi tingkat keamanan yang merupakan salah satu hal penting yang perlu dijadikan pertimbangan. Cikande merupakan kawasan industri sehingga masyarakat sekitar sudah terbiasa dengan keadaan tersebut.



Gambar 5. Peta Lahan Pendirian Pabrik Pentaerythritol
(Sumber : Kementerian Perindustrian Republik Indonesia)

1.5 Tinjauan Pustaka

Pentaerythritol merupakan senyawa yang mempunyai rumus kimia $C_5H_{12}O_4$, berbentuk kristal, berwarna putih dan tidak berbau. Titik leleh pentaerythritol cukup tinggi, berkisar pada suhu $262^\circ C$ dan sifatnya higroskopis. Senyawa ini dapat larut dalam air, tetapi tidak larut dalam eter, sedangkan kelarutannya dalam cairan organik sangat sedikit.



Gambar 6. Struktur Kimia Pentaerythritol

1.6 Proses Pembuatan

Terdapat beberapa metode dalam pembuatan pentaerythritol. Metode pertama adalah dengan menggunakan soda abu dan metode kedua adalah dengan menggunakan asam sebagai penetralnya.

1. Metode pertama (Maity, 2009)

Pada metode yang pertama pentaerythritol dibuat dengan menggunakan formaldehida dan asetaldehida yang direaksikan dengan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Kemudian soda abu (Na_2CO_3) digunakan untuk mengubah ion kalsium menjadi kalsium karbonat. Selanjutnya kalsium karbonat difiltrasi dari sodium format. Setelah difiltrasi, *slurry* dimasukkan ke dalam evaporator dan dikristalisasi serta difiltrasi kembali sebanyak 2 kali. Proses ini membutuhkan lebih banyak alat yang digunakan. Hal ini menyebabkan meningkatnya biaya kebutuhan alat sehingga proses ini tidak ekonomis.

2. Metode kedua

Metode yang kedua pentaerythritol dibuat dengan menggunakan asam sebagai penetralnya. Pentaerythritol dibuat dengan menggunakan formaldehida dan asetaldehida yang direaksikan dengan menggunakan sodium hidroksida. Kemudian asam format digunakan untuk menetralkan sisa sodium hidroksida menjadi sodium format. Berikut reaksi kimia yang terjadi pada pembuatan pentaerythritol.



Konversi atas dasar CH_2O adalah 78,8%, karena reaksinya berjalan eksotermis maka agar suhu reaktor tetap perlu ditambahkan pendingin. Natrium hidroksida sisa reaksi dinetralkan dengan asam format, karena kelarutan natrium hidroksida yang sangat besar sehingga bila tidak dinetralkan akan menyulitkan proses evaporasi. Sodium hidroksida ditambahkan ke dalam larutan formaldehida, kemudian asetaldehida ditambahkan secara perlahan dengan disertai pengadukan. Hasil keluaran dari reaktor kemudian ditambah dengan asam untuk menetralkan

sisa alkali yang berupa sodium hidroksida. Larutan tersebut kemudian di evaporasi dan dipisahkan antara produk utama dengan produk sampingnya yang berupa sodium format. Sedangkan produk utama akan dikristalisasi dan dikeringkan menjadi padatan pentaerythritol.

(Faith dan Keyes, 1957)

1.7 Alasan Pemilihan Proses

Metode yang dipilih dalam pembuatan pentaerythritol pada pabrik ini adalah metode yang ke dua. Pemilihan Metode ini didasarkan pada keuntungan yang didapat dari metode kedua ini adalah (Maity, 2009) :

1. Dapat mencapai konversi sebesar 78,8%.
2. Lebih mudah dalam mengubah ion sodium menjadi sodium format.
3. Produk samping berupa sodium format dapat memiliki banyak manfaat, diantaranya sebagai bahan pemutih, pelumas, pengatur viskositas, serta dapat juga digunakan sebagai bahan pembuat asam format.

1.8 Kegunaan Produk

Pentaerythritol merupakan bahan kimia setengah jadi yang menjadi bahan baku bagi industri hilir.

Tabel 7. Kegunaan Pentaerythritol di berbagai bidang

Bidang Industri	Kegunaan
Industri pengawetan kayu	Digunakan sebagai vernis
Industri cat dan tinta	Digunakan sebagai bahan baku pembuatan cat dan tinta
Industri bahan peledak	Digunakan sebagai bahan baku peledak PETN
Industri pipa plastik	Digunakan sebagai bahan pembuatan pipa
Industri barang logam alumunium untuk bangunan	Digunakan sebagai pelapis logam
Industri tekstil	Digunakan sebagai penghalus serat
Industri pelumas mesin	Digunakan sebagai pelumas

1.9 Sifat-Sifat Fisis dan Kimia Bahan

1.9.1 Sifat-Sifat Fisis dan Kimia Bahan Baku

1. Formaldehid

Sifat Fisik

Rumus kimia	: CH ₂ O
BM	: 30,03 g/mol
Titik cair (1 atm):	-15 °C
Titik didih (1 atm):	96 °C
Densitas, 25°C	: 1,08 kg/L
Warna	: tak berwarna
Bau	: tajam
Bentuk	: Cair
Kemurnian	: 37%
Impuritas	: 62,5 % H ₂ O
	: 0,5 % CH ₃ OH

Sifat Kimia

- Pada kondisi katalis asam dan fase cair formalin bereaksi dengan alkohol membentuk formals misalnya dimetosimetana dari metanol, reaksinya sebagai berikut :



(Kirk & Othmer, 1998)

2. Asetaldehid

Asetaldehid cairan yang tidak berwarna dengan bau yang tajam seperti buah – buahan dan memiliki sifat yang mudah terbakar.

Sifat Fisik

Rumus Molekul	: CH ₃ CHO
Berat molekul	: 44 g/mol

Titik didih	: 36,6 °C
Titik leleh	: -123,5 °C
Massa jenis	: 0,778 g/ml
Viskositas	: 0,2237 cp
<i>Flash point</i>	: -38°C

Sifat Kimia

Asetaldehid adalah senyawa yang sangat reaktif yang secara umum dipakai dalam suatu industri. Reaksi oksidasi, hidrogenasi, kondensasi dan polimerisasi merupakan contoh – contoh reaksi kereaktifan.

- Reaksi Oksidasi

Reaksi oksidasi asetaldehid fase cair dengan oksigen merupakan reaksi yang sangat penting dalam sebuah industri. Kebanyakan asam asetat diproduksi dengan cara ini.

- Reaksi Reduksi

Reaksi reduksi menjadi alkohol sangat mudah terjadi. Banyak sekali jenis katalis yang dapat digunakan diantaranya platina, asam kloroplatinat, nikel, dan palladina.

- Reaksi Polimerisasi

Sedikit asam mineral akan mengkristalkan trimerisasi menjadi paraldehid pada suhu kamar. Jika asetaldehid dititrasi dengan HCl kering pada suhu rendah maka meta setaldehid berubah kembali menjadi asetaldehid dan paraldehid dengan membiarkannya pada suhu 60-65°C selama beberapa hari. Peristiwa ini dinamakan dipolimerisasi.

3. Natrium Hidroksida (NaOH)

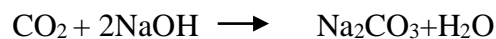
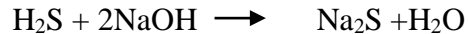
Natrium Hidroksida lebih dikenal dengan nama Caustik Soda yang memiliki rumus molekul NaOH.

Sifat Fisik

Berat molekul	: 40,00 g/gmol
Titik didih	: 1391 °C
Titik leleh	: 318 °C
Kapasitas panas	: 0.3558 kKal/Kg °C
Panas pembentukan	: -122,4 kKal/mol

Sifat kimia

- NaOH bereaksi dengan asam mineral membentuk garam dan bereaksi juga dengan asam lemak bentuk gas seperti H₂S, SO₂ dan CO₂ dengan reaksi :



4. Asam Format

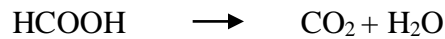
Asam Format atau yang biasa disebut dengan Asam Formiat memiliki sifat- sifat sebagai berikut:

Sifat Fisik

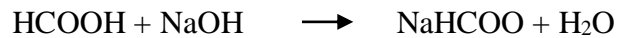
Rumus molekul	: HCOOH
Berat molekul	: 46,02 g/gmol
Titik didih	: 100,75 °C
Massa jenis, 20°C	: 1,22 g/cm ³
25°C	: 1,213 g/cm ³
Viskositas	: 1,57 cp

Sifat Kimia

- Pada suhu 1600°C terdekomposisi



- Bereaksi cepat dengan alkali kuat



(Kirk Othmer, 1982)

1.9.2 Sifat-Sifat Fisik dan Kimia Produk

1. Pentaerythritol

Pentaerythritol adalah senyawa *polyhydric alcohol*, berbentuk kristal putih, tidak berbau, non higroskopis, non volatil, dan stabil di udara.

Sifat Fisis

Rumus Molekul : $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$

Kenampakan : kristal putih tidak berbau, stabil di udara

Massa jenis : 1,369 g/mol

Berat molekul : 136,15 g/mol

Titik didih : 276 °C

Specific gravity : 60,85 kal/mol pada 100°C

103,4 kal/mol pada 190°C

Panas pembakaran : 2767 kJ/mol

Kelarutan dalam air (per 100 g air) : 7 gram pada 25°C

77 gram pada 97°C

Sifat Kimia

- Reaksi Oksidasi

Pentaerythritol dioksidasi menjadi tris (*Hydroxymethyl*) *acetic acid* dengan adanya katalis platinum atau palladium.

Debu pentaerythritol dicampur dengan udara sangat eksplosif pada suhu diatas 400°C dan konsentrasi debu lebih dari 30 gram/cm³.

- Reaksi Nitration

Pentaerythritol reacts with HNO_3 (1:5,5) to form pentaerythritol tetranitrate, PETN. The reaction temperature is maintained at 30°C.

(Kirk Othmer, 1982)

2. Sodium Formate

Sifat fisik

Rumus molekul	: HCOONa
Bentuk	: butiran putih
Berat molekul	: 68,008 g/mol
Massa jenis	: 1,92 g/cm ³ (20°C)
Titik lebur	: 253 °C
Kelarutan dalam air	: 43,82 g/100ml (0°C) 97,2 g/100ml (20°C) 160 g/100ml (100°C)

Sifat kimia

- HCOONa reacts with sulfuric acid to produce formic acid and sodium sulfate.
- $\text{HCOONa} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HCOOH} + \text{Na}_2\text{SO}_4$

1.10 Selected production process

1.10.1 Operating Conditions

The production reaction of pentaerythritol takes place in the reactor under the following conditions:

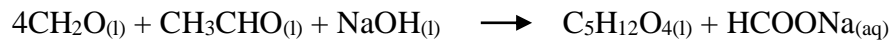
- Pressure = 1 atm
- Temperature = 35 °C

- Konversi = 78,8%
- Fase = cair-cair
- Sifat reaksi = eksotermis yang berlangsung searah ke arah produk
- Perbandingan mol formaldehid : mol asetaldehid : mol natrium hidroksida adalah 4 : 1 : 1.
- Reaktor = Reaktor Tangki Berpengaduk (RTB)

(Faith dan Keyes, 1957)

1.10.2 Mekanisme Reaksi

Reaksi pembentukan *pentaerythritol* dari *formaldehyde*, *acetaldehyde* dan natrium hidroksida mengikuti reaksi :



1.10.3 Tinjauan Termodinamika

Reaksi utama pembuatan *pentaerythritol* yang terjadi adalah sebagai berikut:



Kondisi reaksi dijaga pada temperatur 35 °C dan tekanan 1 atm bila ditinjau dari data ΔG dan ΔH , yaitu:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K \quad (2.2)$$

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta H}{dT} \quad (2.3)$$

Keterangan :

ΔG° = Energi bebas gibs standar (T= 298 K), kJ/mol

ΔH = Panas reaksi , kJ/mol

K = konstanta kesetimbangan

R = Tetapan gas = 0,008314 kJ/mol K

Tabel 8. Harga ΔH_f° masing-masing komponen reaksi utama

Komponen	Harga ΔH_f° (kJ/mol)
CH ₂ O	-115,90
C ₂ H ₄ O	-476,79
NaOH	-425,90
C ₅ H ₁₂ O ₄	-776,70
HCOONa	-608,89

(Yaws, 1999)

$$\begin{aligned} \Delta H_{R^\circ 298} &= \Delta H_f^\circ \text{ produk} - \Delta H_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= [(-776,70 + (-608,89)) \text{ kJ/mol} - [4(-115,90) + (-476,79) + (-425,90)] \text{ kJ/mol}] \\ &= -19,3 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dapat diambil kesimpulan bahwa harga entalpi pembentukan mempunyai harga *negative* yang berarti bahwa reaksi bersifat eksotermis.

Tabel 9. Harga ΔG_f° masing-masing komponen reaksi utama

Komponen	Harga ΔG_f° (kJ/mol)
(CH ₂ O)	-109,91
C ₂ H ₄ O	-133,30
NaOH	-379,50
C ₅ H ₁₂ O ₄	-542,85
NaHCOO	-384,10

(Yaws, 1999)

Bila ditinjau dari energi Gibbs diperoleh :

$$\begin{aligned} \Delta G_{R^\circ 298} &= \Delta G_f^\circ \text{ produk} - \Delta G_f^\circ \text{ reaktan} \\ &= [(-926,95) - (-622,71)] \\ &= -304,24 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.2) dapat dilihat dapat dicari konstanta kesetimbangan pada
 $T = 298 \text{ K}$

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$$

$$K_1 = \text{Exp} \frac{-(\Delta G)}{RT}$$

$$K_1 = 2,14 \times 10^{53}$$

Karena harga K besar sehingga reaksi dianggap berjalan satu arah (irreversible).

1.10.4 Tinjauan Kinetika Reaksi

Dari segi kinetika reaksi dapat diperoleh beberapa langkah berikut,

Diketahui :

$$X_a = 78,8\% = 0,788$$

$$t = 60 \text{ menit}$$

Keterangan :

Formaldehid (CH_2O) = A

Asetaldehid (CH_3CHO) = B

Natrium Hidroksida (NaOH) = C

Pentaerythritol ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_4$) = D

Natrium Format (HCOONa) = E

	A	+	B	+	C	\longrightarrow	D	+	E
Mula2	C_{A0}		C_{B0}		C_{C0}				
Reaksi	$C_{A0} \cdot X_a$		$C_{A0} \cdot X_a$		$C_{A0} \cdot X_a$		$C_{A0} \cdot X_a$		$C_{A0} \cdot X_a$
Sisa	$C_{A0}(1-X_a)$		$C_{B0}-C_{A0} \cdot X_a$		$C_{C0}-C_{A0} \cdot X_a$		$C_{A0} \cdot X_a$		$C_{A0} \cdot X_a$

- Formaldehid 30%

$$\text{BM} = 30,03$$

$$C_{A0} = 0,3 \frac{\text{gram}}{100 \text{ mL}} : 30,03 \frac{\text{mol}}{\text{gram}} = 0,99 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\begin{aligned} C_A &= C_{A0} (1-X_a) \\ &= 0,99 \frac{\text{mol}}{\text{L}} (1-0,788) \\ &= 0,2099 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

- Asetaldehid 98%

$$\text{BM} = 44,05$$

$$C_{B0} = 0,98 \frac{\text{gram}}{100 \text{ mL}} : 44,05 \frac{\text{mol}}{\text{gram}} = 2,2247 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\begin{aligned} C_B &= C_{B0} - C_{A0} X_a \\ &= 2,2247 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - (0,99 \cdot 2,2247 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,788) \\ &= 0,4891 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \end{aligned}$$

❖ Orde 0

$$(-r_a) = k C_A^0$$

$$\frac{-dC_A}{dt} = k$$

$$\int_{C_{A0}}^{C_A} -C_A = k t$$

$$-C_A + C_{A0} = k t$$

$$-0,2099 \frac{\text{mol}}{\text{L}} + 0,99 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = k \cdot 120 \text{ menit}$$

$$k = 0,0065 \frac{\text{mol}}{\text{L} \cdot \text{menit}}$$

❖ Orde 1

$$\circ (-r_a) = k C_A^1$$

$$\frac{-dC_A}{dt} = k C_A$$

$$\frac{-dC_A}{C_A} = k dt$$

$$\text{Ln} \frac{C_{A0}}{C_A} = k \cdot t$$

$$\text{Ln} \frac{0,99}{0,2099} = k \cdot 120$$

$$k = 0,0129 \text{ L/mol. Menit}$$

$$\circ (-r_a) = k C_B^1$$

$$\frac{-dC_B}{dt} = k C_B$$

$$\frac{-dC_B}{C_B} = k dt$$

$$\text{Ln} \frac{C_{B0}}{C_B} = k \cdot t$$

$$\text{Ln} \frac{2,2247}{0,4891} = k \cdot 120$$

$$k = 0,0126 \text{ L/mol. Menit}$$

❖ Orde 2

$$\circ (-r_a) = k C_A C_B$$

$$\frac{-dC_A}{dt} = k C_A C_B$$

$$\frac{-dC_A}{C_A C_B} = k dt$$

$$\frac{-dC_A}{C_A (C_{B0} - C_{A0} + C_A)} = k dt$$

$$\frac{-dC_A}{(C_{B0} - C_{A0})C_A} + \frac{dC_A}{(C_{B0} - C_{A0})(C_{B0} - C_{A0} + C_A)} = k dt$$

$$\frac{1}{C_{B0} - C_{A0}} \ln \frac{C_{A0}}{C_A} + \frac{1}{C_{B0} - C_{A0}} \ln \frac{C_{B0} - C_{A0} + C_A}{C_{B0}} = k t$$

$$\frac{1}{C_{B0} - C_{A0}} \ln \frac{C_{A0} \cdot C_B}{C_{B0} \cdot C_A} = k \cdot t$$

$$0,0448 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = k \cdot 120 \text{ menit}$$

$$k = 0,0004 \text{ L/mol.menit}$$

$$\circ \quad (-r_a) = k C_B^2$$

$$\frac{-dC_B}{dt} = k C_B^2$$

$$\frac{-dC_B}{C_B^2} = k dt$$

$$\frac{1}{C_B} - \frac{1}{C_{B0}} = k t$$

$$2,0446 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 0,4495 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = k \cdot 120 \text{ menit}$$

$$k = 0,0133 \text{ L/mol.menit}$$

$$\circ \quad (-r_a) = k C_A^2$$

$$\frac{-dC_A}{dt} = k C_A^2$$

$$\frac{-dC_A}{C_A^2} = k dt$$

$$\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = k t$$

$$4,7642 \frac{\text{mol}}{\text{L}} - 0,0101 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = k \cdot 120 \text{ menit}$$

$$k = 0,0396 \text{ L/mol.menit}$$

❖ Orde 3

$$\circ \quad \frac{-dC_A}{dt} = k C_A^2 C_B$$

$$\frac{-dC_A}{C_A^2 (C_{B0} - C_{A0} X_a)} = k dt$$

$$\frac{-dC_A}{C_A^2 (C_{B0} - C_{A0})} + \frac{dC_A}{(C_{B0} - C_{A0})(C_{B0} - C_{A0} X_a)} = k dt$$

$$\left(\frac{1}{C_{A0}(1-X_a)} - \frac{1}{C_{A0}} \right) \left(\frac{1}{C_{B0} - C_{A0}} \right) + \frac{1}{C_{B0} - C_{A0}} \ln (C_{B0} - C_{A0} X_a) = k t$$

$$(4,7646 - 1,0101) \frac{\text{mol}}{\text{L}} (0,8099) \frac{\text{mol}}{\text{L}} + 0,8099 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \ln 1,4446 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = k \cdot 120$$

$$k = 0.0281 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{Menit}$$

$$\begin{aligned} \circ \quad & \frac{-dCB}{dt} = k C_A C_B^2 \\ & \frac{-dCB}{C_A C_B^2} = k dt \\ & \frac{-dCB}{CB \cdot (CA(1-Xa))} = k dt \\ & \frac{-dCB}{(CB_0 - CA_0)CA^2} + \frac{dCB}{(CB_0 - CA_0)(CA_0(1-Xa))} = k dt \\ & \left(\frac{1}{CB_0 - CA_0}\right) \left(\frac{1}{CB_0 - CA_0 Xa} - \frac{1}{CB_0}\right) \ln C_{B_0} - CA_0 \left(\frac{1}{CA_0(1-Xa)}\right) = k t \\ & (0,8099) \frac{mol}{L} (-0,3306 - 0,4495) \ln 1,2347 (0,2141) = k \cdot 120 \text{ menit} \\ & k = -0,0002 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \quad & \frac{-dCA}{dt} = k C_A^3 \\ & \frac{-dCA}{CA^3} = k dt \\ & \frac{1}{2 CA^2} - \frac{1}{2 CA_0^2} = k t \\ & \frac{1}{2} \left(\frac{1}{CA^2} - \frac{1}{CA_0^2}\right) = k t \\ & \frac{1}{2} \left(22,6973 \frac{mol^2}{L^2} - 1,0203 \frac{mol^2}{L^2}\right) = k \cdot 120 \text{ menit} \\ & k = 0,0903 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ \quad & \frac{-dCB}{dt} = k C_B^3 \\ & \frac{-dCB}{CB^3} = k dt \\ & \frac{1}{2} \left(\frac{1}{CB^2} - \frac{1}{CB_0^2}\right) = k t \\ & \frac{1}{2} (4,1803 - 0,2020) = k \cdot 120 \\ & k = 0,0166 \text{ L}^2/\text{mol}^2 \cdot \text{menit} \end{aligned}$$

kemudian nilai k masing-masing orde di masukkan di pers Levenspel

$$\begin{aligned} \frac{V}{FV} &= \frac{Xa}{(-ra)} \\ t' &= \frac{Xa}{-ra} \end{aligned}$$

❖ Orde 0

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA^0} \\ &= \frac{0,788}{0,0065 \times 0,99} = 122 \text{ menit} \end{aligned}$$

❖ Orde 1

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA^1} \\ &= \frac{0,788}{0,0129 \times 0,2099} = 12 \text{ bmenit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CB^1} \\ &= \frac{0,788}{0,0126 \times 0,4891} = 30 \text{ menit} \end{aligned}$$

❖ Orde 2

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA CB} \\ &= \frac{0,788}{0,0004 \times 0,2099 \times 0,4891} = 202 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA^2} \\ &= \frac{0,788}{0,0133 \times 0,2099^2} = 1344 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CB^2} \\ &= \frac{0,788}{0,0065 \times 0,4891^2} = 119 \text{ menit} \end{aligned}$$

❖ Orde 3

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA^2 CB} \\ &= \frac{0,788}{0,0281 \times 0,2099^2 \times 0,4891} = 1301 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA CB^2} \\ &= \frac{0,788}{0,0002 \times 0,2099 \times 0,4891^2} = 30145 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CA^3} \\ &= \frac{0,788}{0,0903 \times 0,2099^3} = 943 \text{ menit} \\ \circ t' &= \frac{Xa}{k CB^3} \\ &= \frac{0,788}{0,0166 \times 0,4891^3} = 405 \text{ menit} \end{aligned}$$

Kondisi operasi pada reaktor adalah selama 60 menit dilihat dari perhitungan trial and error diatas, diperoleh waktu yang paling mendekati 60 menit adalah pada perhitungan orde 1

$$\begin{aligned} \circ t' &= \frac{Xa}{k CB^1} \\ &= \frac{0,788}{0,0126 \times 0,4891} = 30 \text{ menit} \end{aligned}$$