

SKRIPSI
PRA RENCANA PABRIK
PEMBUATAN ETANOL HIDROGENASI ASAM ASETAT DAN ETIL
ASETAT
KAPASITAS PRODUKSI 270.000 TON/TAHUN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik Kimia
pada
Universitas Sriwijaya



Yusuf Iskandar
NIM 03031181520021
Yosephine
NIM 03031281520081

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RENCANA
PABRIK ETANOL
KAPASITAS 270.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

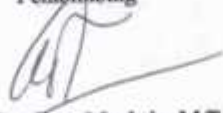
**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana**

Oleh:

Yusuf Iskandar 03031181520021
Yosephine 03031281520081

Palembang, Mei 2019

Pembimbing



Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.
NIP. 195608311984032002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Etanol dengan Hidrogenasi Asam Asetat Kapasitas 270.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan Yusuf Iskandar dan Yosephine di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Mei 2019.

Palembang, Mei 2019

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

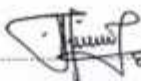
1) Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T.

NIP. 197503261999032002

()

2) Novia, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197311052000032003

()

3) Dr. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 19811031200501103

( 31/05 2019)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.
NIP. 195810031986031003

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yusuf Iskandar
NIM : 03031281520081
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Etanol dengan Hidrogenasi Asam Asetat Kapasitas
270.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Yosephine didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juni 2019



Yusuf Iskandar
NIM. 03031181520021



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yosephine
NIM : 03031281520081
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Etanol dengan Hidrogenasi Asam Asetat Kapasitas
270.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Yusuf Iskandar didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juni 2019

METERAI
TEMPEL
F03224FF030403839
6000
PANGKALAN
Yosephine
NIM. 03031281520081



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulisan tugas akhir yang berjudul “**Pra Rencana Pabrik Pembuatan Etanol Kapasitas 270.000 Ton/Tahun**” ini dapat diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan dari tanggal 15 Desember 2018 s.d 15 April 2019 ini dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan kurikulum Tingkat Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik karena banyaknya bantuan, dukungan, serta bimbingan yang diberikan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin berterima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik.
2. Ibu Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik.
3. Ibu Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Kedua Orang Tua dan Keluarga atas semua dukungan yang begitu besar.
5. Seluruh Staff Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh teman-teman seperjuangan Teknik Kimia 2015 yang terlibat dan turut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Demikian, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, khususnya bagi mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Palembang, April 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR LAMPIRAN	vi
DAFTAR NOTASI	vii
INTISARI	
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	2
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan Etanol	3
1.4. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk	5
BAB II PERENCANAAN PABRIK	
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	11
2.2. Pemilihan Kapasitas	12
2.3. Pemilihan Bahan Baku	13
2.4. Pemilihan Proses	14
2.5. Uraian Proses	14
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	
3.1. Lokasi Pabrik	18
3.2. Tata Letak Pabrik	21
3.3. Luas Area Pabrik	23
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa	24
4.2. Neraca Panas	36

BAB V UTILITAS

5.1. Unit Pengadaan Steam	44
5.2. Unit Pengadaan Air	45
5.3. Unit Pengadaan Listrik	50
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar	52

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN 54

BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN

7.1. Bentuk Perusahaan	90
7.2. Struktur Organisasi Perusahaan	90
7.3. Tugas dan Wewenang	91
7.4. Kepegawaian	96
7.5. Sistem Kerja	96
7.6. Penentuan Jumlah karyawan	97

BAB VIII ANALISA EKONOMI

8.1. Keuntungan (Profitabilitas).....	104
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal	105
8.3. Total Modal Akhir	108
8.4. Laju Pengembalian Modal	110
8.5. <i>Break Even Point</i> (BEP)	111

BAB IX KESIMPULAN..... 114

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Impor Etanol	12
Tabel 3.1. Rincian Area Pabrik	23
Tabel 5.1. Kebutuhan <i>Steam</i> 350°C	44
Tabel 5.2. Kebutuhan Air Pendingin	46
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Domestik	48
Tabel 5.4. Total Kebutuhan Air Dalam Pabrik	49
Tabel 5.5. Kebutuhan Listrik Peralatan	50
Tabel 5.6. Total Kebutuhan Listrik Etanol	51
Tabel 5.7. Total Kebutuhan Bahan Bakar	53
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal Kerja Karyawan <i>Shift</i>	97
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Total Karyawan	100
Tabel 8.1. <i>Selling Price</i>	105
Tabel 8.2. Angsuran Pengembalian Modal	107
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Grafik Impor Etanol di Indonesia	13
Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik Berdasarkan <i>Google Map</i>	20
Gambar 3.2. Tata Letak Pabrik	22
Gambar 3.3. Tata Letak Peralatan	23
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	102
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	112

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Neraca Massa

Lampiran II Neraca Panas

Lampiran III Spesifikasi Peralatan

Lampiran IV Perhitungan Ekonomi

ABSTRAK

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN ETANOL KAPASITAS PRODUKSI 270.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, April 2019

Yusuf Iskandar dan Yosephine; Dibimbing oleh Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xv + 114 halaman, 14 tabel, 6 gambar, 4 lampiran

INTISARI

Pabrik pembuatan etanol dengan kapasitas produksi 270.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2023 di Jalan Kawasan Industri Krakatau Steel, Kel. Kotasari, Kec. Gerogol, Kota Cilegon, Banten yang diperkirakan memiliki luas area 9,2 Ha. Proses pembuatan etanol ini mengacu pada Patent US 9,272,970 B2, dimana metode proses yang digunakan merupakan proses hidrogenasi asam asetat pada reaktor pertama serta hidrogenasi produk samping etil asetat yang diperoleh dari reaksi pertama menjadi etanol pada reaktor kedua. Bahan baku dari pembuatan etanol ini adalah asam asetat dan hidrogen. Reaktor pertama merupakan jenis *fixed bed reactor* beroperasi pada temperatur 270°C dan tekanan 20 atm dengan katalis Pt-Sn/Al₂O₃ serta reaktor kedua juga merupakan *fixed bed reactor* beroperasi pada 250°C dan tekanan 40 atm dengan katalis Cu-Zn/SiO₂.

Pabrik ini akan didirikan dengan menganut bentuk perusahaan perseroan terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line and Staff*, yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama dengan total karyawan 190 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik etanol ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- | | |
|---|-----------------------|
| • <i>Total Capital Investment (TCI)</i> | = US\$ 44.371.041,59 |
| • <i>Total Production Cost (TPC)</i> | = US\$ 328.947.051,56 |
| • Total Penjualan per Tahun (SP) | = US\$ 378.000.000,00 |
| • <i>Annual Cash Flow</i> | = US\$ 37.769.163,93 |
| • <i>Pay Out Time</i> | = 1,16 tahun |
| • <i>Rate of Return</i> | = 77,3862% |
| • <i>Break Even Point</i> | = 36,3277% |
| • <i>Servise Life</i> | = 11 tahun |

Kata Kunci: Etanol, Hidrogenasi, *Fixed Bed Reactor*, Analisa Ekonomi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Dr. Ir. H. Syaiful, DEA.

NIP.195810031986031003

Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T.

NIP.195608311984032002

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring berkembangnya dunia perindustrian saat ini dan berdasarkan Peraturan Presiden Nomor 26 Tahun 2011 tentang Pengesahan *Agreement Establishing the ASEAN-Australia-New Zealand Free Trade Area* (Persetujuan Pembentukan Kawasan Perdagangan Bebas ASEAN-Australia-Selandia Baru) dimana Indonesia dituntut mampu bersaing dengan negara lain terkait diberlakukannya Perdagangan Bebas pada tahun 2020 (Kemenkeu RI, 2013). Menurut Kemenperin (2017), perkembangan industri baik skala besar maupun kecil mampu mendorong pemerataan pembangunan dan ekonomi nasional.

Kontribusi sektor industri sangat memberikan dampak yang besar terhadap perekonomian nasional karena dapat memberikan kontribusi terhadap Pendapatan Domestik Bruto (PDB) (Arianti, 2007). Menurut Badan Pusat Statistik, nilai ekspor Indonesia pada tahun 2016 mencapai US\$ 13,77 miliar atau meningkat sebesar 15,57% dari tahun 2015. Dalam mengurangi ketergantungan terhadap produk impor dari luar negeri, diperlukan suatu inovasi dalam proses produksi maupun pengembangan pabrik yang dapat meningkatkan devisa negara, salah satunya dengan mengembangkan industri pembuatan etanol.

Menurut Cardona (2012), etanol atau lebih dikenal dengan etil alkohol merupakan *biofuel* cair yang paling sering digunakan di seluruh dunia. Kebutuhan etanol di Indonesia sendiri sangat tinggi karena etanol memiliki banyak manfaat, salah satunya untuk industri kosmetik, industri cat, industri farmasi, industri minuman berkarbonasi, serta kebutuhan rumah sakit. Achdiat Atmawinata (2017), anggota Dewan Energi Nasional (DEN) mengungkapkan bahwa produksi etanol Indonesia belum dapat memenuhi 50% dari kebutuhan etanol nasional yang mencapai angka kurang lebih 3 juta kiloliter per tahunnya.

Pembuatan etanol secara sintesis kebanyakan dilakukan melalui reaksi hidrasi etilen, namun cara tersebut membutuhkan kondisi operasi yang tinggi. Sementara itu, produksi etanol dengan fermentasi memiliki kelemahan yaitu biaya

produksi yang mahal, produktivitas rendah dan proses produksi yang lama. Pabrik etanol yang saat ini beroperasi di Indonesia seluruhnya masih menggunakan proses fermentasi sehingga produktivitas yang dihasilkan relatif rendah. Oleh karena itu, pembangunan pabrik etanol dengan proses hidrogenasi asam asetat diharapkan dapat menjadi solusi atas kebutuhan penggunaan etanol untuk mengurangi impor etanol serta membuka peluang untuk ekspor agar dapat meningkatkan devisa negara.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Etanol telah digunakan manusia sejak zaman prasejarah sebagai bahan pemabuk dalam minuman-minuman beralkohol. Residu yang ditemukan pada peninggalan keramik yang berumur 9000 tahun dari Cina bagian utara menunjukkan bahwa minuman beralkohol telah digunakan oleh manusia prasejarah dari masa Neolitik. Etanol dan alkohol membentuk larutan azeotrop. Pemurnian etanol yang mengandung air dengan cara penyulingan biasa hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian maksimal sebesar 96%.

Etanol murni (absolut) dihasilkan pertama kali pada tahun 1796 oleh Johan Tobias Lowitz yaitu dengan cara menyaring alkohol yang didapat dari hasil distilasi melalui arang. Lavoisier menggambarkan bahwa etanol adalah senyawa yang terbentuk dari karbon, hidrogen dan oksigen. Pada tahun 1808, Saussure berhasil menentukan rumus kimia etanol. Lima puluh tahun kemudian (1858), Couper mempublikasikan rumus kimia etanol ke dunia internasional.

Oleh sebab itu, etanol adalah salah satu senyawa kimia yang pertama kali ditemukan rumus kimianya. Etanol pertama kali dibuat secara sintetik pada tahun 1826 secara terpisah oleh Henry Hennel dari Britania Raya dan S.G. Sérullas dari Perancis. Pada tahun 1828, Michael Faraday berhasil membuat etanol dari hidrasi etilena yang dikatalisis oleh asam. Proses ini mirip dengan proses sintesis etanol industri modern. Etanol telah digunakan sebagai bahan bakar lampu di Amerika Serikat sejak tahun 1840, namun pajak yang dikenakan pada alkohol industri semasa Perang Saudara Amerika membuat penggunaannya tidak ekonomis.

Pajak ini dihapuskan pada tahun 1906, dan sejak tahun 1908 otomobil Ford Model T telah dapat dijalankan menggunakan etanol. Namun, dengan adanya

pelarangan minuman beralkohol pada tahun 1920, para penjual bahan bakar etanol dituduh berkomplot dengan penghasil minuman alkohol ilegal, dan bahan bakar etanol kemudian ditinggalkan penggunaannya sampai dengan akhir abad ke-20.

Etanol untuk keperluan industri secara konvensional diproduksi dari persediaan pakan organik, seperti minyak bumi, gas alam, atau batubara, dari produk-produk *intermediate*, seperti *syngas*, atau dari bahan yang mengandung selulosa, seperti jagung atau tebu. Metode konvensional untuk memproduksi etanol dari *feedstock* organik, dan juga dari bahan yang mengandung selulosa, meliputi hidrasi etilena menggunakan *acid-catalyzed*, *methanol homologation*, *direct alcohol synthesis*, dan sintesis Fischer-Tropsch.

Ketidakstabilan harga bahan baku organik berpengaruh terhadap fluktuasi biaya etanol yang diproduksi secara konvensional, sehingga kebutuhan akan sumber alternatif produksi etanol semakin tinggi saat harga saham pakan naik. Bahan tepung, serta bahan selulosa, diubah menjadi etanol dengan fermentasi. Namun, fermentasi biasanya digunakan untuk bahan bakar atau dikonsumsi. Selain itu, fermentasi bahan selulosa pati mengandung saingan makanan dan membatasi jumlah etanol yang dapat diproduksi untuk keperluan industri.

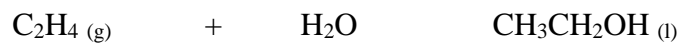
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan Etanol

Proses pembuatan etanol secara komersial yang telah dikembangkan adalah sebagai berikut:

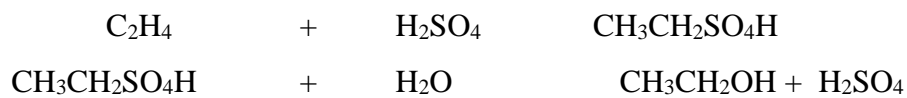
- 1) Proses Pembuatan Etanol dengan Hidrasi Etilena
- 2) Proses Pembuatan Etanol dengan Fermentasi
- 3) Proses Pembuatan Etanol dengan Hidrogenasi Katalitik Asam Asetat dalam fase gas

1.3.1. Proses Pembuatan Etanol dengan Hidrasi Etilena

Proses ini terjadi dengan mereaksikan etilena dan air menggunakan katalis asam fosfat pada tekanan uap berlebih pada suhu 300°C dengan tekanan sebesar 68 atm, dikenal dengan proses *Shell*. Reaktornya menggunakan katalis asam fosfat dengan *support relite diatomite*. Konversi etilen yang rendah sebesar 23% menyebabkan perlu dilakukan *recycle* etilen ke reaktor. Reaksinya sebagai berikut:



Proses pembuatan etanol dengan hidrasi etilena tak langsung mengalami dua tahap reaksi, yaitu:



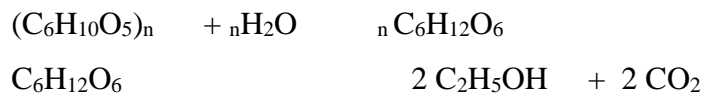
Proses ini terjadi dengan menghidrasi etilen secara tidak langsung menggunakan asam sulfat pekat untuk mendapatkan etil sulfat, kemudian etil sulfat dihidrolisis untuk membentuk etanol. Etanol yang telah terbentuk kemudian dipisahkan dari *gas stripping* di separator dan didapat produk etanol.

1.3.2. Proses Pembuatan Etanol dengan Fermentasi

Fermentasi merupakan proses membiakkan ragi untuk mendapatkan alkohol. Proses fermentasi bertujuan untuk mengubah monosakarida (glukosa, sukrosa dan fruktosa) menjadi etanol dengan menggunakan bantuan mikroorganisme berupa *yeast* maupun bakteri. Etanol dapat dihasilkan dari bahan mengandung pati (sorgum, jagung, kentang, ubi kayu, padi-padian, akar tumbuhan dan alga), dan bahan yang mengandung selulosa (kayu, tandan kosong kelapa sawit, ampas tebu, *waste sulfite liquor* pabrik *pulp* dan kertas dan bahan yang mengandung selulosa lainnya).

Etanol yang dihasilkan pada proses fermentasi oleh *yeast* (ragi) biasanya berkadar antara 8-12 persen volume. Etanol hasil fermentasi kemudian dimurnikan melalui destilasi. Untuk mendapatkan etanol dengan kemurnian 95% harus menggunakan destilasi azeotrop. Jika menggunakan destilasi biner biasa, maka harus dilanjutkan pada proses dehidrasi. Proses dehidrasi bisa dengan menggunakan membran maupun *molecular sieve* (secara adsorpsi).

Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi yaitu:



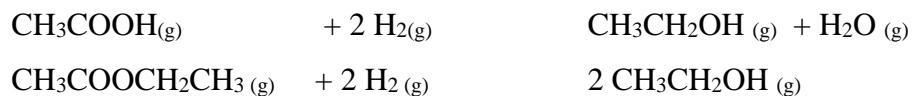
1.3.3. Homologasi Metanol (Hidrokarbonilasi)

Proses ini menghasilkan *yield* Etanol yang relatif kecil. Produk yang dihasilkan proses ini mengandung lebih banyak alkohol dengan rantai panjang seperti eter, ester, keton dan aldehyd. Produk samping terbentuk karena terjadi reaksi homologasi lanjutan etanol dengan alkohol lain dan juga terjadi reaksi karbonilasi. Reaksi ini terjadi pada temperatur 175–235°C dan tekanan 350 atm.



1.3.4. Proses Pembuatan Etanol dengan Hidrogenasi Asam Asetat

Proses ini terjadi pada tekanan 1000–2000 kPa dan temperatur 150–350°C. Pada proses ini, asam asetat dalam fase gas direaksikan dengan gas hidrogen pada reaktor *fixed bed* dengan katalis PtSn-Al₂O₃ untuk membentuk etanol. Reaksinya:



Bahan baku asam asetat yang terkonversi menjadi produk sebesar 90%. Produk etanol yang terbentuk dengan menggunakan proses ini dapat mencapai kemurnian yang tinggi yaitu 99%.

1.4. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk

1.4.1. Bahan Baku

1) Asam Asetat

Rumus kimia	: CH ₃ COOH
Berat molekul	: 60,05 g/mol
Wujud	: Cairan atau kristal
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 1,049 g/cm ³ , cairan
Titik didih	: 118,1°C
Titik beku	: 16,7°C
Temperatur kritis	: 321,25°C
Tekanan kritis	: 57,9 bar
Volume kritis	: 0,179 m ³ /kmol
H _{f298K}	: -438,150 kJ/mol
G _{f298K}	: -389,9 kJ/mol

2) Hidrogen

Rumus kimia	: H ₂
Berat molekul	: 2,0158 g/mol
Wujud	: Gas
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,08988 g/cm ³ , gas
Titik didih	: -252,7 °C
Titik beku	: -259,1°C
Temperatur kritis	: -239,96°C
Tekanan kritis	: 13,2 bar
Volume kritis	: 0,064 m ³ /kmol
Kapasitas kalor	: 28,836 J/mol.K pada 25 °C
H _{f298}	: 0 kJ/mol

3) Air

Rumus kimia	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,0153 g/mol
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,998 g/cm ³ , cairan
Titik didih	: 100 °C
Titik beku	: 0°C
Temperatur kritis	: 373,98 °C
Tekanan kritis	: 220,55 bar
Volume kritis	: 0,056 m ³ /kmol
H f ₂₉₈ (gas)	: -241,818 kJ/mol
G f _{298K} (gas)	: -237,129 kJ/mol

1.4.2. Katalis

1) Platina

Rumus kimia	: Pt
Berat molekul	: 195,23 g/mol
Wujud	: Padat
Warna	: Perak
Densitas	: 21,45 gr/cm ³
Titik didih	: 4300°C
Titik leleh	: 1755°C
Kapasitas kalor	: 25,86 J/mol K
Kalor penguapan	: 469 kJ/mol

2) Timah

Rumus kimia	: Sn
Berat molekul	: 118,7 g/mol
Wujud	: Padat
Warna	: Perak
Densitas	: 5,75 g/cm ³
Titik didih	: 2260°C
Titik leleh	: 231,85°C
Kapasitas kalor	: 27,112 J/mol K
Kalor penguapan	: 296,1 kJ/mol

3) Tembaga

Rumus molekul	: Cu
Berat molekul	: 63,57 g/mol
Wujud	: Padat
Warna	: Kuning kemerahan
Densitas	: 8,92 g/cm ³
Titik didih	: 2300°C
Titik leleh	: 1083°C
Kapasitas kalor	: 24,440 J/mol K
Kalor penguapan	: 300,4 kJ/mol

4) Seng

Rumus molekul	: Zn
Berat molekul	: 65,38 g/mol
Wujud	: Padat
Warna	: Perak
Densitas	: 7,14 g/cm ³
Titik didih	: 907°C
Titik leleh	: 419,4°C
Kapasitas kalor	: 25,470 J/mol K
Kalor penguapan	: 123,6 kJ/mol

1.4.3. Produk

1) Etanol

Rumus kimia	: C_2H_5OH
Berat molekul	: 46,07 g/mol
Wujud	: Cairan
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,789 g/cm ³ , cairan
Titik didih	: 78,4°C
Titik beku	: -112°C
Temperatur kritis	: 240,77°C
Tekanan kritis	: 61,2 bar
Volume kritis	: 0,168 m ³ /kmol
H _{f298K}	: -235,100 kJ/mol
G _{f298K}	: -168,490 kJ/mol

2) Air

Rumus kimia	: H_2O
Berat molekul	: 18,0153 g/mol
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,998 g/cm ³ , cairan
Titik didih	: 100 °C
Titik beku	: 0°C
Temperatur kritis	: 373,98 °C
Tekanan kritis	: 220,55 bar
Volume kritis	: 0,056 m ³ /kmol
H _{f298(gas)}	: -241,818 kJ/mol
G _{f298K (gas)}	: -237,129 kJ/mol

3) Etil Asetat

Rumus kimia	: $C_4H_8O_2$
Berat molekul	: 88,11 g/mol
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,901 g/cm ³ , cairan
Titik didih	: 77°C
Titik beku	: -83,8°C
Temperatur kritis	: 250,15°C
Tekanan kritis	: 38,5 bar
Volume kritis	: 0,287 m ³ /kmol
H f _{298(gas)}	: -426,8 kJ/mol

4) Asetaldehid

Rumus kimia	: C_2H_4O
Berat molekul	: 44,05 g/mol
Wujud	: Cair
Warna	: Tidak berwarna
Densitas	: 0,783 g/cm ³ , cairan
Titik didih	: 20,2°C
Titik beku	: -123,5°C
Temperatur kritis	: 192,85°C
Tekanan kritis	: 55,7 bar
Volume kritis	: 0,154 m ³ /kmol
H f _{298(gas)}	: -166,19 kJ/mol
Kelarutan dalam air	: 8,3 g/100mL (20 C)

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2017. *Multitubular Reactors and Its Function : Theory and Applications*.
<https://www.psenterprise.com/sectors/chemicals/reaction/cases/multitubular-reactors>, diunduh pada tanggal 29 Maret 2019.
- Anonim. 2103. *Chemical Reactors : Theory and Applications*.
<http://www.essentialchemicalindustry.org/processes/chemical-reactors.html>, diunduh pada tanggal 29 Maret 2019.
- Arianti, R. K. 2007. Ketergantungan Beberapa Sektor Industri Terhadap Bahan Baku Impor. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*. Vol. 1 : 18 44.
- Atmawinata, A. 2017. *Produksi Rendah, Pemerintah Revisi Rencana Penerapan Bioetanol*. <https://www.dunia-energi.com/produksi-rendah-pemerintah-revisi-rencana-penerapan-bioetanol/>, diunduh pada tanggal 7 April 2019.
- Badan Pusat Statistik. 2018. *Data Impor Etanol di Indonesia*.
http://www.bps.go.id/all_newtemplate.php/, diunduh pada tanggal 31 Januari 2019.
- Branan, C. R. 2005. *Rules of Thumb for Chemical Engineers 4th Edition*. United State: Elsevier Inc.
- Budiman, A. 2017. *Distilasi: teori dan Pengendalian Operasi*. Yogyakarta: UGM Press.
- Cardona, C. A., Sanchez, O. J., Montoya, M. I. dan Quintero. J. A. 2005. Analysis of Fuel Ethanol Production Processes Using Lignocellulosic Biomass and Starch as Feedstock. *World Congress of Chemical Engineering*. Vol. 7 : 1 11.
- Felder, R. M. 2005. *Elementary Principles of Chemical Processes 2nd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Kementrian Keuangan Indonesia. 2013. *Penetapan Tarif Bea Masuk Atas Barang Impor Dalam Rangka ASEAN-Australia-New Zealand Free Trade Area (AANZFTA)*. Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw Hill.

- Kesner, M. 1999. *Bromine and Bromine Compounds from The Dead Sea, Israel Products in The Service of People*. Israel: Weizmann Institute of Science.
- Komariah, L.N., Ramdja, A.F dan Leonard, N. 2009. Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Destilasi Untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 16(4) : 19 27.
- Kundari, A. K., Marjanto, D. dan Dyah, A. 2009. Evaluasi Unjuk Kerja Reaktor Alir Tangki Berpengaduk Menggunakan Perunut Radioisotop. *Jurnal Forum Nuklir*. Vol. 3(1) : 49 60.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. United State of America: John Wiley and Sons.
- Liu, H., Lyu, H., Chen, Y., Li, G., Jiang, H. dan Zhang, M. 2017. Insights Into The Mechanism Of Ethanol Synthesis And Ethyl Acetate Inhibition From Acetic Acid Hydrogenation Over Cu₂In(100): A DFT Study. *Royal Society of Chemistry*. Vol. 1(4) : 100 114.
- Ludwig, E. E. 1997. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2, Third Edition*. Gulf Publishing Co: Houston.
- Matches Engineering. 2019. *Equipment Cost Index*. <http://www.matche.com/equipcost.html>, diunduh pada tanggal 13 Maret 2019.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Nurdyastuti, I. 2006. Teknologi Prses Produksi Bioetanol. *Prospek Pengembangan Biofuel Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*. Vol. 1 : 75 83.
- Perry, Robert H. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook Seventh Edition*. United State: McGraw Hill.
- Peter, M. S., & Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- Pilling, M. dan Holen, B, S. 2009. Choosing Trays and Packing for Distillation. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. Vol. 89(4) : 44 50.
- Rakshit, P. K., Voolapalli. R. K. dan Upadhyayula, S. 2018. Acetic Acid Hydrogenation To Ethanol Over Supported Pt-Sn Catalyst: Effect Of Bronsted Acidity On Product Selectivity. *Molecular Catalysis*. Vol. 448 : 78 90.

- Sari, C. 2007. *Pra Rancangan Pabrik Ethanol dari Ethylene dan Air Kapasitas 45.000 Ton/ Tahun*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Smith, R. dan Jobson, M. 2000. *Distillation : Encycloedia of Seperation Science. Manchester* : Academic Press.
- Tham, M.T. dan Henderson, J. L. 2009. *Distillation Column Design*. <http://www.rccostello.com/distil/distildes.htm>, diunduh pada tanggal 29 Maret 2019.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operation 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Wallas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. USA: Butterworth-Heinemann.
- Wang, Z., Li, G., Liu, Z., Huang., Y. Wang, A., Chu, W., Wang, X. dan Li, N. 2014. Aqueous Phase Hydrogenation Of Acetic Acid To Ethanol Over Ir-M₆O_x/SiO₂ Catalyst. *Catalysis Communications*. Vol. 43 : 38 41.
- Yaws. C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Texas: Mc-Graw-Hill.
- Ydstie, B. E. dan Du, J. 2011. Producing Poly-Silicon from Silane in a Fluidized Bed Reactor. *Silicon Wafer-Based Technologies*. Vol. 1(2) : 125 138.
- Zhang, K., Li, F., Zhang, H., Ma, H., Ying, W. dan Fang, D. 2013. Hydrogenation of Acetic Acid on Alumina-Supported Pt-Sn Catalysts. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical and Molecular Engineering*. Vol. 7(4) : 202 206.
- Zhang, M., Yao, R., Jiang, H., Li, G dan Chen, Y. 2017. Insights Into The Mechanism Of Acetic Acid Hydrogenation To Ethanol On Cu(111) Surface. *Applied Surface Science*. Vol. 412 : 342 349.
- Zhang, S., duan, X., Ye, L., Lin, H., Xie, Z dan Yuan, Y. 2013. Production Of Ethanol by Gas Phase Hydrogenation. *Catalysis Today*. Vol. 215 : 260 266.

Zhou, M., Zhang, H., Ma, H. dan Ying, W. 2017. Kinetic Modeling Of Acetic Acid Hydrogenation To Ethanol Over K-Modified Pt-Sn Catalyst Supported On Alumina. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Vol. 1 : 1 36.