

**SKRIPSI**

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM LEVULINAT  
DENGAN KAPASITAS 26.000 TON/TAHUN**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar**

**Sarjana Teknik Kimia**

**pada**

**Universitas Sriwijaya**



**Josua Lazcano Afredo**

03031381621067

**Nur Yulistianto**

03031381621105

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2020**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM LEVULINAT DENGAN  
KAPASITAS 26.000 TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:

Josua Lazcano Afredo  
03031381621067

Nur Yulistianto  
03031381621105

Palembang, Juli 2020

Pembimbing,



Dr. Ir. Susila Arita Rachman, DEA  
NIP. 196010111985032002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Saiful, DEA

NIP. 195810031986031003

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Levulinat dengan Kapasitas 26.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh **Josua Lazcano Afredo dan Nur Yulistianto** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juli 2020.

Palembang, Juli 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D

NIP. 196009091987031004



2. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T

NIP. 197502012000122001



3. Budi Santoso, S.T., M.T

NIP. 197706052003121004



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Saiful, DEA

NIP. 195810031986031003



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Josua Lazcano Afredo  
NIM : 03031381621067  
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Levulinat  
dengan Kapasitas 26.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Nur Yulistianto** 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, Juli 2020



**Josua Lazcano Afredo**

NIM. 03031381621067



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Yulistianto  
NIM : 03031381621105  
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Levulinat  
dengan Kapasitas 26.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Josua Lazcano Afredo** 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, Juli 2020



**Nur Yulistianto**

NIM. 03031381621105



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat yang diberikan-Nya penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul yaitu “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Levulinat dengan Kapasitas 26.000 Ton/Tahun”. Laporan tugas akhir ini dibuat oleh penulis untuk memenuhi syarat kurikulum semester VIII pada Jurusan Teknik Kimia Univeritas Sriwijaya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu selama penelitian serta dalam penyusunan laporan diantaranya :

1. Bapak Dr. Ir. H. Syaiful., DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Ibu Ir. Hj. Rosdiana Moeksin, M.T., selaku Koordinator Pembimbing Tugas Akhir.
4. Orang tua yang selalu membantu dan mendoakan kami.
5. Teman-teman seperjuangan di Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh dosen Fakultas Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Akhir kata Penulis berharap dengan adanya laporan ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan atau sebagai panduan pembaca khususnya bagi Mahasiswa yang akan melakukan penelitiandi Universitas Sriwijaya dalam.

Palembang, Juli 2020

Penulis

## RINGKASAN

### PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM LEVULINAT DENGAN KAPASITAS 26.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juli 2020

Josua Lazcano Afredo dan Nur Yulistianto; Dibimbing oleh Dr. Ir. Hj. Susila Arita Rachman, DEA.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxiii + 532 halaman, 15 tabel, 14 gambar, 4 lampiran

#### RINGKASAN

Pabrik pembuatan asam levulinat dengan kapasitas produksi 26.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Terusan Nunyai, Kabupaten Lampung Tengah, Provinsi Lampung yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 6 Ha. Proses pembuatan asam levulinat ini mengacu pada US Patent No. 9598341 B2 dengan proses *Biofine*. Reaktor yang digunakan adalah reaktor jenis *continuous stirred tank reactor*. Reaktor beroperasi pada temperatur 160°C dan tekanan 8,4875 atm.

Bentuk perusahaan yang akan digunakan pada pabrik ini adalah Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line* dan *Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 124 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik asam levulinat ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US \$ 145.656.374,558
- Total Penjualan = US \$ 81.366.584,935
- *Total Production Cost (TPC)* = US \$ 34.746.040,609
- *Annual Cash Flow* = US \$ 25.948.193
- *Pay Out Time* = 3,016 Tahun
- *Rate Of Return On Investment (ROR)* = 22,405%
- *Discounted Cash Flow-ROR* = 28,491%
- *Break Even Point (BEP)* = 29,767%
- *Service Life* = 11 Tahun

**Kata Kunci:** Asam Levulinat, *Biofine*, *Continuous Stirred Tank Reactor*, Perseroan Terbatas



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERBAIKAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB I PEMBAHASAN UMUM</b> .....	1
1.1. Pendahuluan .....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Asam Levulinat .....	2
1.3. Proses Pembuatan Asam Levulinat .....	4
1.4. Sifat Fisika dan Kimia .....	8
<b>BAB II PERANCANGAN PABRIK</b> .....	11
2.1. Alasan Pendirian Pabrik .....	11
2.2. Pemilihan Kapasitas .....	11
2.3. Pemilihan Bahan Baku .....	13
2.4. Pemilihan Proses .....	14
2.5. Uraian Proses .....	15
<b>BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK</b> .....	18
3.1. Lokasi Pabrik .....	18
3.2. Tata Letak Pabrik .....	21
3.3. Perkiraan Luas Area yang Diperlukan .....	22
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b> .....	25
4.1. Neraca Massa .....	25

4.1.1. Mixing Tank-01 (MT-01) .....	25
4.1.2. Mixing Tank-02 (MT-02) .....	25
4.1.3. Reaktor-01 (R-01) .....	26
4.1.4. Filter-01 (F-01) .....	26
4.1.5. Flash Drum-01 (FD-01) .....	27
4.1.6. Kolom Distilasi-01 (KD-01) .....	27
4.1.7. Condensor-01 (CD-01) .....	27
4.1.8. Accumulator-01 (ACC-01) .....	28
4.1.9. Reboiler-01 (RB-01) .....	28
4.1.10. Kolom Distilasi-02 (KD-02) .....	28
4.1.11. Condensor-02 (CD-02) .....	29
4.1.12. Accumulator-02 (ACC-02) .....	29
4.1.13. Reboiler-02 (RB-02) .....	29
4.2. Neraca Panas .....	30
4.2.1. Mixing Tank-01 (MT-01) .....	30
4.2.2. Heater-01 (H-01) .....	30
4.2.3. Mixing Tank-02 (MT-02) .....	30
4.2.4. Heater-02 (H-02) .....	30
4.2.5. Reaktor-01 (R-01) .....	31
4.2.6. Filter-01 (F-01) .....	31
4.2.7. Flash Drum-01 (FD-01) .....	31
4.2.8. Heater-03 (H-03) .....	31
4.2.9. Kolom Distilasi-01 (KD-01) .....	32
4.2.10. Condensor-01 (CD-01) .....	32
4.2.11. Reboiler-01 (RB-01) .....	32
4.2.12. Cooler-01 (C-01) .....	33
4.2.13. Kolom Distilasi-02 (KD-02) .....	33
4.2.14. Condensor-02 (CD-02) .....	33
4.2.15. Reboiler-02 (RB-02) .....	34
4.2.16. Cooler-02 (C-02) .....	34
4.2.17. Cooler-03 (C-03) .....	34

4.2.18. Cooler-04 (C-04) .....	35
<b>BAB V UTILITAS .....</b>	<b>36</b>
5.1. Unit Pengadaan Air .....	36
5.2. Unit Pengadaan Steam .....	40
5.3. Unit Pengadaan Listrik.....	42
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar .....	44
<b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>48</b>
6.1. Tangki-01 (T-01) .....	48
6.2. Pompa-01 (P-01) .....	49
6.3. Tangki-02 (T-02) .....	50
6.4. Pompa-02 (P-02) .....	51
6.5. Mixing Tank-01 (MT-01) .....	52
6.6. Pompa-03 (P-03) .....	54
6.7. Tangki-03 (T-03) .....	55
6.8. Pompa-04 (P-04) .....	56
6.9. Mixing Tank-02 (MT-02) .....	57
6.10. Heater-01 (H-01) .....	59
6.11. Heater-02 (H-02) .....	60
6.12. Reaktor-01 (R-01) .....	61
6.13. Filter-01 (F-01) .....	63
6.14. Flash Drum-01 (FD-01).....	64
6.15. Pompa-05 (P-05) .....	65
6.16. Heater-03 (H-03) .....	66
6.17. Kolom Destilasi-01 (KD-01) .....	67
6.18. Condensor-01 (CD-01) .....	69
6.19. Accumulator-01 (ACC-01) .....	70
6.20. Pompa-06 (P-06) .....	71
6.21. Pompa-07 (P-07) .....	72
6.22. Reboiler-01 (RB-01) .....	73
6.23. Cooler-01 (C-01) .....	74
6.24. Cooler-04 (C-04) .....	75

6.25. Kolom Destilasi-02 (KD-02) .....	76
6.26. Reboiler-02 (RB-02) .....	78
6.27. Cooler-02 (C-02) .....	79
6.28. Tangki-04 (T-04) .....	80
6.29. Condensor-02 (CD-02) .....	81
6.30. Accumulator-02 (ACC-02) .....	82
6.31. Pompa-08 (P-08) .....	83
6.32. Cooler-03 (C-03) .....	84
6.33. Tangki-05 (T-05) .....	85
<b>BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN</b> .....	86
7.1. Bentuk Perusahaan .....	86
7.2. Struktur Organisasi .....	87
7.3. Tugas dan Wewenang .....	87
7.4. Sistem Kerja .....	89
7.5. Penentuan Jam Kerja .....	90
<b>BAB VIII ANALISA EKONOMI</b> .....	94
8.1. Profitabilitas (Keuntungan) .....	94
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal .....	94
8.3. Total Modal .....	96
8.4. Laju Pengembalian Modal .....	97
8.5. <i>Break Event Point</i> .....	98
<b>BAB IX KESIMPULAN</b> .....	101
<b>BAB X TUGAS KHUSUS</b> .....	102
10.1. Flash Vaporizer .....	102
10.2. Reaktor .....	105
10.2.1. Pendahuluan .....	105
10.2.2. Jenis-jenis Reaktor .....	105
10.2.3. Faktor Pemilihan Reaktor .....	108
10.2.4. Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR).....	110
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan Asam Levulinat .....	7
Tabel 2.1. Kebutuhan Asam Levulinat .....	12
Tabel 2.2. Rata-rata Komposisi Molase .....	13
Tabel 5.1. Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas .....	36
Tabel 5.2. Total Kebutuhan Air .....	40
Tabel 5.3. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 290 °C .....	41
Tabel 5.4. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 310 °C .....	41
Tabel 5.5. Total Kebutuhan Steam .....	42
Tabel 5.6. Kebutuhan Listrik Peralatan .....	42
Tabel 5.7. Total Kebutuhan Bahan Bakar .....	47
Tabel 7.1. Pembagian Jam Kerja Setiap Group .....	89
Tabel 7.2. Rincian Jumlah Karyawan .....	91
Tabel 8.1. Total Penjualan Produk .....	94
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Pinjaman .....	95
Tabel 8.3. Kesimpulan Analisa Ekonomi .....	100

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Reaksi Pembuatan Asam Levulinat dari Biomassa dengan Proses <i>Biofine</i> .....	4
Gambar 1.2. Mekanisme Reaksi Dekomposisi Glukosa menjadi Asam Levulinat Menggunakan Katalis Asam H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Glukosa (1), HMF (2), Asam Levulinat (3), Asam Format (4) .....	5
Gambar 2.1. Grafik Kebutuhan Asam Levulinat .....	12
Gambar 2.2. Flowsheet Pembuatan Asam Levulinat .....	17
Gambar 3.1. Lokasi Pabrik .....	20
Gambar 3.2. Tata Letak Pabrik .....	22
Gambar 3.3. Tata Letak Alat .....	24
Gambar 7.1. Jumlah Buruh Direct Operating .....	90
Gambar 7.2. Struktur Organisasi .....	93
Gambar 8.1. Grafik Break Event Point .....	99
Gambar 10.1. Flash Vaporizer .....	102
Gambar 10.2. Diagram Fase untuk Flash Vaporisasi dalam Flash Drum .....	103
Gambar 10.3. Demister Pad pada Flash Drum .....	104
Gambar 10.4. <i>Continuous Stirred Tank Reactor</i> .....	110

## DAFTAR NOTASI ALAT

### 1. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
He	= Tinggi head, m
Hs	= Tinggi silinder, m
Ht	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Desain, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
V <sub>h</sub>	= Volume ellipsoidal head, m <sup>3</sup>
V <sub>s</sub>	= Volume silinder, m <sup>3</sup>
V <sub>t</sub>	= Volume tangki, m <sup>3</sup>
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m <sup>3</sup>

### 2. HEATER, COOLER, CONDENSOR, REBOILER

A	= Area perpindahan panas, ft <sup>2</sup>
D	= Diameter dalam tube, in
D <sub>e</sub>	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, ft <sup>2</sup> /in <sup>2</sup>
G <sub>s</sub>	= Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft <sup>2</sup>
G <sub>t</sub>	= Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam.ft <sup>2</sup>
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
h <sub>i</sub> ,h <sub>io</sub>	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
L	= Panjang tube, pipa, ft
LMTD	= Logaritmic Mean Temperature Difference, °F

$\Delta P_a$	= Penurunan tekanan pada annulus, psi
$\Delta P_p$	= Penurunan tekanan pada inner pipe, psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
Q	= Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
$R_d$	= Dirt factor, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$R_e$	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= Specific gravity
$T_1, T_2$	= Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
$t_1, t_2$	= Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
$T_c$	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
$t_c$	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
$U_c, U_d$	= Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$W_1$	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
$W_2$	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
$\mu$	= Viscositas, cp

### 3. FILTER

A	= Area Filtrasi, m <sup>2</sup>
C	= Konsentrasi solid dalam feed, kg/m <sup>3</sup>
mf	= Flowrate feed, kg/jam
V	= Volume liquid, m <sup>3</sup>
$\rho_c$	= Densitas cake, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_s$	= Densitas campuran, kg/m <sup>3</sup>
$\Theta$	= Waktu filtrasi, menit

### 4. ACCUMULATOR

$C_c$	= Tebal korosi maksimum, in
$E_j$	= Efisiensi pengelasan
ID, OD	= Diameter dalam, diameter luar, m
L	= Panjang accumulator, m
P	= Tekanan desain, psi



S	=	Tegangan kerja yang diizinkan, psi
T	=	Temperatur operasi, °C
t	=	Tebal dinding accumulator, cm
V	=	Volume total, m <sup>3</sup>
V <sub>s</sub>	=	Volume silinder, m <sup>3</sup>
ρ	=	Densitas, kg/m <sup>3</sup>

## 5. FLASH DRUM

A <sub>min</sub>	=	Luas Penampang Minimum, m <sup>2</sup>
C	=	Corrosion maksimum, in
D <sub>min</sub>	=	Diameter vessel minimum, m
E	=	Joint efisiensi
H <sub>L</sub>	=	Tinggi liquid, in
H	=	Tinggi vessel, in
P	=	Tekanan desain, psi
Q <sub>v</sub>	=	Debit uap, m <sup>3</sup> /jam
Q <sub>L</sub>	=	Debit cairan, m <sup>3</sup> /jam
f	=	Working stress allowable, psi
t	=	tebal dinding tangki, in
U <sub>v maks</sub>	=	Kecepatan uap maksimum, ft/s
t <sub>h</sub>	=	Tebal head, in
OA	=	Tinggi head, ft
F <sub>lv</sub>	=	Faktor pemisahan uap-cair
ρ	=	Densitas, kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>g</sub>	=	Densitas gas, kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>l</sub>	=	Densitas liquid, kg/m <sup>3</sup>
icr	=	<i>Inside corner radius</i> , in
rc	=	Jari-jari <i>crown</i> , in

## 6. KOLOM DESTILASI

$A_a$	=	Active area, $m^2$
$A_d$	=	Downcomer area, $m^2$
$A_{da}$	=	Luas aerasi, $m^2$
$A_h$	=	Hole area, $m^2$
$A_n$	=	Net area, $m^2$
$A_t$	=	Tower area, $m^2$
$C_c$	=	Tebal korosi maksimum, in
$D$	=	Diameter kolom, m
$d_h$	=	Diameter hole, mm
$E$	=	Total entrainment, kg/s
$E_j$	=	Efisiensi pengelasan
$F_{iv}$	=	Parameter aliran
$H$	=	Tinggi kolom, m
$h_a$	=	Aerated liquid drop, m
$h_f$	=	Froth height, M
$h_q$	=	Weep point, cm
$h_w$	=	Weir height, m
$L_w$	=	Weir height, m
$N_m$	=	Jumlah tray minimum, stage
$Q_p$	=	Faktor aerasi
$R$	=	Rasio refluks
$R_m$	=	Rasio refluks minimum
$U_f$	=	Kecepatan massa aerasi, m/s
$V_d$	=	Kelajuan downcomer
$\Delta P$	=	Pressure drop, psi
$\psi$	=	Fractional entrainment

## 7. POMPA

A	=	Area alir pipa, in <sup>2</sup>
BHP	=	Brake Horse Power, HP
D <sub>opt</sub>	=	Diameter optimum pipa, in
f	=	Faktor friksi
g	=	Percepatan gravitasi ft/s <sup>2</sup>
g <sub>c</sub>	=	Konstanta percepatan gravitas, ft/s <sup>2</sup>
H <sub>d</sub> , H <sub>s</sub>	=	Head discharge, suction, ft
H <sub>f</sub>	=	Total friksi, ft
H <sub>fc</sub>	=	Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
H <sub>fe</sub>	=	Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
H <sub>ff</sub>	=	Friksi karena fitting dan valve, ft
H <sub>fs</sub>	=	Friksi pada permukaan pipa, ft
ID	=	Diameter dalam, in
K <sub>C</sub> , K <sub>E</sub>	=	Konstanta kompresi, ekspansi, ft
L	=	Panjang pipa, m
L <sub>e</sub>	=	Panjang ekivalen pipa, m
MHP	=	Motor Horse Power, HP
NPSH	=	Net positive suction head, ft.lbf/lb
N <sub>RE</sub>	=	Bilangan Reynold
OD	=	Diameter luar, in
P <sub>uap</sub>	=	Tekanan uap, psi
Q <sub>f</sub>	=	Laju alir volumetrik, ft <sup>3</sup> /s
V <sub>d</sub>	=	Discharge velocity, ft/s
V <sub>s</sub>	=	Suction velocity, ft/s
ε	=	Equivalent roughness, ft
η	=	Efisiensi pompa
μ	=	Viskositas, kg/ms
ρ	=	Densitas, kg/m <sup>3</sup>

## 8. REAKTOR

$C_c$	=	Tebal korosi maksimum, in
$C_{AO}$	=	Konsentrasi awal umpan, $\text{kmol/m}^3$
$D_p$	=	Diameter katalis, m
$D_s$	=	Diameter shell, m
$D_T$	=	Diameter tube, in
$F_{AO}$	=	Laju alir umpan, $\text{kmol/jam}$
$H_R$	=	Tinggi shell reaktor, m
$H_T$	=	Tinggi tube, m
$k$	=	Konstanta kecepatan reaksi, $\text{m}^3/\text{kmol.s}$
$N_t$	=	Jumlah tube, buah
$P$	=	Tekanan operasi, bar
$\tau$	=	Waktu tinggal, jam
$p_t$	=	Tube pitch, in
$S$	=	Tegangan kerja yang diizinkan, psi
$t$	=	Tebal dinding reaktor, cm
$V_k$	=	Volume katalis, $\text{m}^3$
$V_T$	=	Volume reaktor, $\text{m}^3$
$\rho, \rho_k$	=	Densitas fluida, katalis, $\text{kg/m}^3$
$R$	=	Konstanta gas ideal, $8,314 \text{ kJ/kmol.K}$
$\sigma_A$	=	Diameter molekul, cm
$M$	=	Berat molekul, $\text{kg/kmol}$
$E_A$	=	Energi aktivasi, $\text{kJ/kmol}$
$V_E$	=	Volume elipsoidal, $\text{m}^3$
$H_S$	=	Tinggi silinder, m
$h$	=	Tinggi tutup
$H_T$	=	Tinggi total tanki, m
$H_L$	=	Tinggi liquid, m
$H_i$	=	Tinggi impeller, m
$D_i$	=	Diameter impeller, m

Wb	=	Lebar Baffle, m
g	=	Lebar baffle pengaduk, m
r	=	Panjang blade pengaduk, m
rb	=	Posisi baffle dari dinding tanki, m

## 9. MIXING TANK

C	=	Korosi yang diizinkan, m
E	=	Effisiensi pengelasan, dimensionless
S	=	Working stress yang diizinkan, psi
D <sub>t</sub>	=	Diameter tanki, m
D <sub>i</sub>	=	Diameter pengaduk, m
H <sub>i</sub>	=	Tinggi pengaduk dari dasar tanki
H <sub>1</sub>	=	Tinggi pengaduk
W	=	Lebar daun impeller
L	=	Panjang daun impeller
V <sub>s</sub>	=	Volume silinder, m <sup>3</sup>
V <sub>e</sub>	=	Volume elipsoidal, m <sup>3</sup>
th	=	Tebal tanki, m
N <sub>t</sub>	=	Jumlah pengaduk
P	=	Densitas liquid
μ	=	Viscosity, cP
t <sub>m</sub>	=	Waktu pengadukan, menit

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**LAMPIRAN I NERACA MASSA**

**LAMPIRAN II NERACA PANAS**

**LAMPIRAN III SPESIFIKASI PERALATAN**

**LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI**

# BAB I

## PEMBAHASAN UMUM

### 1.1. Pendahuluan

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) di Indonesia berkembang pula dalam segala bidang terutama bidang industri seperti industri kimia. Kemajuan pada sektor industri pembuatan bahan kimia diharapkan dapat meningkatkan perekonomian bangsa kita di masa yang akan datang. Pembangunan Industri ini juga bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan kimia, serta dapat meningkatkan daya saing industri nasional dengan industri negara lain.

Kebutuhan dalam negeri terhadap bahan kimia dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan. Indonesia sebagai negara yang berkembang dalam sektor industri, Indonesia memiliki berbagai macam sumber bahan baku yang dapat digunakan untuk memproduksi bahan kimia. Bahan kimia tersebut dapat dijadikan produk intermediet ataupun produk jadi. Indonesia selain memiliki Sumber bahan baku yang berasal dari fosil, negara ini juga memiliki sangat banyak sumber daya alam yang berupa biomassa.

Penipisan sumber daya fosil dan meningkatnya harga bahan bakar minyak mendorong pergeseran dari fosil ke bahan-bahan terbarukan dalam bahan baku untuk produksi energi, bahan bakar, dan bahan kimia. Saat ini, sedikit bahan kimia yang diproduksi berasal dari sumber daya terbarukan. Sudut pandang lain, biomassa lignoselulosa, masih kurang dimanfaatkan, dapat dikonversi menjadi bahan kimia bernilai tambah dengan perlakuan asam hidrotermal (Galletti dkk, 2012).

Pemilihan bahan baku biomassa sangat penting jika dilihat dari sudut pandang teknologi dan sosial ekonomi. Limbah memiliki nilai jual yang rendah atau bahkan negatif, seperti limbah pertanian, lebih disukai, karena tidak bersaing dengan produksi makanan. Kebutuhan asam organik di Indonesia cukup tinggi, salah satunya Asam Levulinat. Biomassa adalah salah satu bahan baku potensial untuk pembuatan Asam levulinat. Asam Levulinat berfungsi prekursor *biofuel* maupun polimer (karet sintesis dan plastik), selain itu asam levulinat juga termasuk *multi-platform product* di mana turunannya dapat diaplikasikan ke dalam berbagai bidang lain, seperti kosmetika, farmasi, dan lain-lain. (Hayes dkk, 2008).

Asam Levulinat dapat digunakan sebagai resin, plasticizer, herbisida, pelarut dan bahan baku dalam pembuatan industri farmasi seperti asam diphenolat (bahan proteksi dan dekoratif terakhir) dan Calcium Levulinat (perawatan hypocalcemia). Turunan dari asam levulinat juga dapat digunakan sebagai pengganti *ethylene glycol*, anti beku, pelarut dan *additive fuel*.

5-Hydroxymethylfurfural (HMF) dan asam levulinic (LA), dapat diproduksi dari biomassa. Biomassa telah dianggap sebagai sumber karbon alternatif untuk fosil. Secara tradisional, pembuatan HMF dan LA dikatalisis oleh asam mineral dalam larutan berair.

## 1.2. Sejarah dan Perkembangan Asam Levulinat

Asam levulinat pertama kali ditemukan pada tahun 1840 oleh profesor Belanda yang bernama Gerardus Johannes Mulder. Profesor ini mensintesis asam levulinat dengan cara memanaskan fruktosa dengan asam klorida. Meskipun asam levulinic telah dikenal sejak tahun 1870-an, namun asam levulinic tidak pernah mencapai penggunaan komersial dalam volume yang besar.

Asam levulinat pertama kali dikomersialkan sebagai proses *batchwise* dalam autoklaf oleh A. E. Statley pada tahun 1940-an. Tahun 1930, pada awal pembuatan asam levulinat melibatkan karbohidrat dan asam mineral. Asam levulinat di produksi menggunakan asam pada karbohidrat seperti glukosa (1930); galaktosa dan sukrosa (1931); fruktosa, glukosamin, chitosa, sorbosa, deoksipentosa dan heksosa (1940); tebu dan pati (1942); golongan disakarida dan polisakarida (1949).

Thompson pada tahun 1940 menemukan bahwa penambahan NaCl ke dalam larutan HCl dan Sukrosa atau karbohidrat lain meningkatkan hasil produk asam levulinat. Thomas dan Schuette pada tahun 1931 menunjukkan bahwa jika sukrosa dicerna di bawah tekanan dengan HCl encer pada 162°C. selama satu jam, hasil 42% asam levulinat dapat diperoleh. Wiggins pada 1949 menunjukkan bahwa konsentrasi sukrosa merupakan faktor kritis dan untuk menghasilkan yield tertinggi diperoleh dengan pelarut yang sangat encer. Lebih lanjut, ia menemukan bahwa dengan melakukan reaksi antara sukrosa dan asam mineral, tingkat keberhasilan asam yang berbeda adalah sebagai berikut  $HBr > HCl > H_2SO_4$ .



Thomas dan Barlie (1985) melaporkan hasil yang lebih baik dengan  $H_2SO_4$  dibandingkan dengan HCl. Hasil tertinggi asam levulinat, tertimbang sebagai bahan mentah, adalah 79% dari teori dan diperoleh ketika konsentrasi sukrosa adalah 3%. Ploetz (1943) juga menggunakan metode asam HBr untuk membuat asam levulinic dan mencatat hasil 69% dari teori dari tebu, 75% dari glukosa, dan 64% dari pati. McKibbins (1962) menggunakan autoklaf untuk meningkatkan reaksi suhu pada 160-200°C dapat meningkatkan hasil.

Paten oleh Dunlop dan Wells (1957) menjelaskan proses tekanan atmosfer untuk memproduksi asam levulinat dari Zat penghasil heksosa mulai dari sukrosa hingga limbah selulosa seperti tongkol jagung, ampas tebu, sekam gandum, dan produk kayu. Paten oleh Carlson dan Wash (1962) mengacu pada proses siklik yang lebih baik dari pembuatan dimana karbohidrat seperti selulosa dihidrolisis dengan asam mineral encer pada suhu tinggi.

Paten Sassenrath dan Shilling (1966) mengacu pada prosedur komersial yang layak secara ekonomi untuk memproduksi asam levulinat. Hasil asam levulinat meningkat, dibandingkan dengan proses sebelumnya, dengan mendaur ulang lakton dan mencuci cairan yang menghambat hasil. Herndon (1950) menyiapkan studi teknik pada produksi asam levulinat dari Sukrosa.

Schraufnagel dan Rase (1975) menghasilkan asam levulinat dan 5-HMF menggunakan resin penukar ion sebagai katalis dan sukrosa sebagai polisakarida yang mudah larut. Resin penukar ion menarik untuk proses ini karena selektivitas dimungkinkan oleh kontrol ukuran pori dan sifat dapat digunakan kembali dari katalis Padat. Meskipun dimungkinkan untuk menghasilkan asam levulinat pada suhu sedang (100 °C) menggunakan resin penukar ion dalam bentuk asam, tingkat ini sangat rendah (Ghorpade dan Hanna, 1999).

Tahun 1953, perusahaan AS Quaker Oats mengembangkan proses berkelanjutan untuk produksi asam levulinat. Tahun 1956, asam levulinat diidentifikasi sebagai bahan kimia *platform* dengan potensi tinggi dan pada tahun 2004 Departemen Energi AS (US DoE) mengidentifikasi asam levulinat dengan menyaring sekitar 300 zat sebagai salah satu dari 12 bahan kimia platform potensial dalam konsep *biorefinery*.

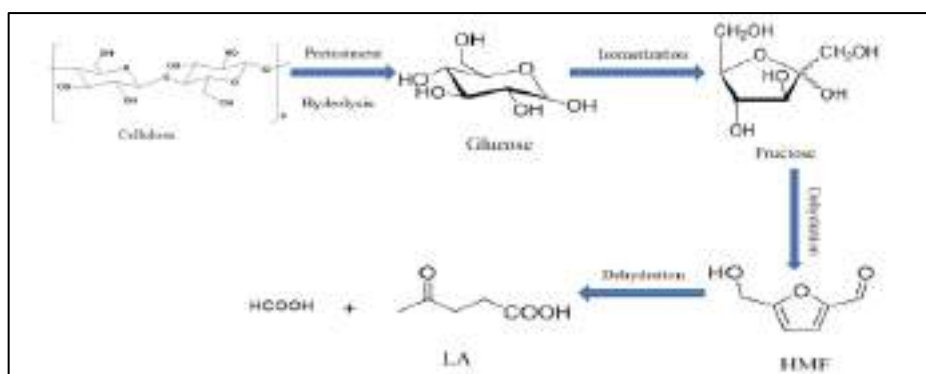
### 1.3. Proses Pembuatan Asam Levulinat

Proses pembuatan asam levulinat secara tradisional dilakukan dengan mengkonversi karbohidrat atau gula heksosa menggunakan asam mineral, seperti HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Pemilihan teknologi pembuatan asam levulinat ditentukan oleh *yield* yang dihasilkan, kemudahan dalam proses *recovery*, dan pembentukan limbah yang dapat diminimalisir. Beberapa proses pembuatan asam levulinat adalah sebagai berikut.

#### 1.3.1. Proses *Biofine*

Proses *biofine* adalah salah satu proses yang paling terkenal untuk memproduksi asam levulinat lignosellulosa. Proses *biofine* terdiri dari dua tahapan, yaitu konversi gula heksosa menjadi hidrosimetil furfural (HMF) sebagai tahapan pertama dan konversi HMF menjadi asam levulinat sebagai tahapan kedua. Konversi heksosa menjadi HMF dilakukan dengan menggunakan katalis asam mineral (1-4%) pada suhu 200-230 °C dan tekanan 20-25 bar selama beberapa detik. Proses konversi HMF menjadi asam levulinat dilakukan pada temperature 190-220 °C pada tekanan 10-15 bar selama 15-30 menit.

Proses *biofine* merupakan satu-satunya proses yang digunakan untuk memproduksi asam levulinat secara semikomersial. Kelemahan dari proses *biofine* terletak pada efisiensi dalam pemisahan dan memperoleh kembali asam levulinat dari larutan encer. Reaksi pembentukan asam levulinat dengan proses *biofine* dapat dilihat pada Gambar 1.1.

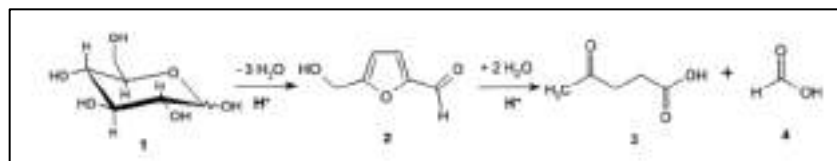


**Gambar 1.1.** Reaksi Pembuatan Asam Levulinat dari Biomassa dengan Proses *Biofine*

(Sumber: Yan dkk, 2015)

### 1.3.2. Proses Menggunakan Katalis Homogen dan Heterogen

Metode konvensional untuk mengkonversi biomassa lignosellulosa (LCB), gula, selulosa, dan pati menjadi asam levulinat menggunakan katalis asam yang disebabkan oleh aktivitas katalis yang tinggi. Asam mineral yang biasa digunakan antara lain, HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan lain-lain karena biaya yang murah, ketersediaan yang mudah, dan *yield* HMF tinggi yang kemudian dapat meningkatkan produksi asam levulinat. Efektivitas asam ini tergantung pada konsentrasi asam yang digunakan, kekuatan konstanta disosiasi utama mereka dan bahan baku yang digunakan. Katalis asam homogen ini bekerja pada substrat melalui proses hidrolisis asam, yang melibatkan penyerangan ion H<sup>+</sup> yang menyeimbangkan antara atom oksigen air dan glikosida diikuti dengan pembentukan spesies karbonium. Mekanisme pembentukan asam levulinat menggunakan katalis asam dapat dilihat pada Gambar 1.2.



**Gambar 1.2.** Mekanisme Reaksi Dekomposisi Glukosa menjadi Asam Levulinat Menggunakan Katalis Asam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Glukosa (1), HMF (2), Asam Levulinat (3), Asam Format (4)

(Sumber: *Setiawan dan Irfan*, 2017)

Katalis heterogen menggunakan katalis asam padat dan katalis logam. Kedua katalis ini menjadi alternatif yang menarik untuk proses produksi asam levulinat jika katalis mudah untuk di *recovery* dan di *recycle*. Katalis ini sangat selektif dan tidak menimbulkan masalah korosi. Penggunaan katalis heterogen dapat menurunkan *yield* asam levulinat karena adanya adsorpsi yang kuat pada permukaan katalis. Katalis padat yang sering digunakan sampai saat ini antara lain S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>/ZrO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>-Sn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Amberlyst 70, Amberlite IR-120, LZY-zeolite, Nafion SAC-13, graphene oxide, ZSM-5 dan CrCl<sub>3</sub>, dan HY zeolite. Produksi LA yang dikatalisis asam padat berlangsung melalui pembentukan HMF menggunakan selulosa, glukosa, fruktosa atau sukrosa sebagai bahan baku.

### 1.3.3. Proses Solvolisis

Proses solvolisis adalah proses yang menggunakan reagen organik spesifik dengan atau tanpa katalis, dimana pelarut mengubah sifat campuran reaksi untuk mendorong reaksi yang lebih selektif. Dibandingkan dengan hidrolisis, pelarut dapat memainkan peran penting dalam transportasi hidrogen dan dikenal efektif dalam memungkinkan reaksi terjadi pada suhu yang lebih rendah (atau pada tingkat yang lebih cepat mengurangi waktu reaksi yang diperlukan) karena konstanta dielektriknya yang tinggi. Pada proses solvolisis akan terbentuk HMF yang kemudian akan dikonversi menjadi asam levulinat. Pada proses solvolisis proses *pretreatment* dapat dihilangkan karena selulosa dan hemiselulosa dikonversi ke asam levulinat dalam reaktor secara bersamaan. Oleh karena itu, tidak memerlukan pemisahan heksosa dan gula pentosa.

Dalam proses ini, selulosa diubah ke asam levulinat melalui HMF sementara hemiselulosa dikonversi ke asam levulinat melalui furfural dengan *gamma valerolactone* (GVL). Furfural dikonversi menjadi furfural alkohol yang selanjutnya menghasilkan asam levulinat melalui derivatif hidroksi ketika dididihkan dalam etil keton metil dengan adanya HCl.

### 1.3.4. Proses Menggunakan *Ionic Liquid*

*Ionic liquid* dalam proses pembuatan asam levulinat dalam bertindak sebagai solven maupun katalis. Proses menggunakan *ionic liquid* menunjukkan hasil stabilitas termal, tekanan uap rendah, mudah untuk dipisahkan, dan temperatur reaksi yang tidak terlalu tinggi. Penggunaan *ionic liquid* dalam proses pembuatan asam levulinat lebih banyak digunakan untuk menghasilkan HMF.

### 1.3.5. Proses Menggunakan Fluida Superkritikal

Fluida superkritikal merupakan salah satu solven yang memiliki dua sifat, yaitu asam dan sifat dasarnya, sehingga dapat meningkatkan selektivitas reaksi dan meningkatkan efisiensi pemisahan asam levulinat. Dalam proses pembuatan asam levulinat penggunaan fluida superkritikal menyebabkan produk dapat terpisah dari campuran reaksi dengan membatasi pembentukan produk samping. Tekanan yang digunakan pada proses ini relatif tinggi, sehingga meningkatkan biaya peralatan, biaya investasi modal, dan biaya operasi.

**Tabel 1.1.** Perbandingan Proses Pembuatan Asam Levulinat

No.	Proses	Keuntungan	Kekurangan	Energi	Biaya
1.	<i>Biofine</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 70-80 mol %yield</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produksi humin</li> <li>• Separasi tidak efisien</li> <li>• Penggunaan air yang banyak</li> <li>• <i>Recovery</i> asam yang sulit</li> </ul>	+++	++
2.	Katalis Homogen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktivitas katalis tinggi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• By-produk yang tidak diinginkan</li> <li>• <i>Recovery</i> dan <i>recycle</i> asam sulit</li> <li>• Korosi peralatan</li> <li>• Polusi lingkungan</li> </ul>	++	+++
3.	Katalis Heterogen Asam Padat	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Katalis selektif</li> <li>• Tidak menimbulkan masalah korosi.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Recovery</i> dan <i>recycle</i> sulit</li> </ul>	++	++
4.	Katalis Heterogen Logam	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lebih baik dibanding dengan Katalis Heterogen Asam Padat</li> <li>• Proses pemisahan menjadi mudah</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Yield</i> yang lebih rendah dibandingkan katalis asam padat</li> <li>• Beracun</li> </ul>	+	++
5.	Solvolisis	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mentiadakan proses <i>pretreatment</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses <i>recovery</i> sangat sulit</li> <li>• Jumlah solven yang dibutuhkan banyak</li> </ul>	+++	+++
6.	<i>Ionic liquid</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabil</li> <li>• Mudah untuk dipisahkan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mahal</li> <li>• Sulit untuk dimurnikan</li> </ul>	+++	+++
7.	Fluida Superkritikal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efisien dalam pemisahan asam levulinat</li> <li>• Reaksi selektif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tidak ada pembentukan by-produk</li> </ul>	+++	+++

#### 1.4. Sifat Fisika dan Kimia

##### a) Sukrosa

Nama Senyawa	: Sukrosa/ Sakarosa/ <i>Sugar cane</i>	
Rumus Molekul	: $C_{12}H_{22}O_{11}$	
Berat Molekul	: 342,296 gr/mol	
Titik Didih	: -	
Titik Leleh	: 181 °C	
Densitas	: 1,5805 g/cm <sup>3</sup>	
Wujud	: Padatan/Kristal Tidak Berwarna	(Haynes, 2017)

##### b) Glukosa

Nama Senyawa	: D-Glukosa/Glukosa	
Rumus Molekul	: $C_6H_{12}O_6$	
Berat Molekul	: 180,16 gr/mol	
Titik Didih	: 230°C	
Titik Leleh	: 146°C	
Densitas	: 1,544 gr/ml	
Wujud	: Padatan Tidak Berwarna	(Perry's, 2008)

##### c) Fruktosa

Nama Senyawa	: D Fruktosa	
Rumus Molekul	: $C_6H_{12}O_6$	
Berat Molekul	: 180,16 gr/ml	
Titik Didih	: -	
Titik Leleh	: 95-105°C	
Densitas	: 1,669 gr/ml	
Wujud	: Padatan/Kristal Takberwarna	(Perry's, 2008)

##### d) Asam Sulfat

Nama Senyawa	: Asam Sulfat
Rumus Molekul	: $H_2SO_4$
Berat Molekul	: 98,08 gr/mol
Titik Didih	: 337°C

Titik Leleh : 10,46°C  
 Densitas : 1,834 gr/ml  
 Wujud : Larutan tidak Berwarna (Perry's, 2008 dan Yaws, 1999)

**e) Air**

Nama Senyawa : Air  
 Rumus Molekul : H<sub>2</sub>O  
 Berat Molekul : 18,015 gr/mol  
 Titik Didih : 100°C  
 Titik Leleh : 0°C  
 Densitas : 1,00 gr/ml  
 Temperatur Kritis : 373,98°C  
 Tekanan Kritis : 220,55 bar  
 Wujud : Cairan tidak berwarna (Yaws, 1999)

**f) Asam Levulinat**

Nama Senyawa : Asam Levulinat  
 Rumus Molekul : C<sub>5</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>  
 Berat Molekul : 116,116 gr/mol  
 Titik Didih : 245°C  
 Titik Leleh : 33,0°C  
 Densitas : 1,1335 gr/ml  
 Wujud : Bubuk Kering; Cair (Haynes, 2017)

**g) Asam Formiat**

Nama Senyawa : Asam Formiat  
 Rumus Molekul : HCO<sub>2</sub>H  
 Berat Molekul : 46,03 gr/mol  
 Titik Didih : 100,8°C  
 Titik Leleh : 8,6°C  
 Densitas : 1,22 gr/ml  
 Wujud : Cairan tidak berwarna (Perry's, 2008)

**h) Hydroxy Methyl Furaldehyde**

Nama Senyawa : 5 Hydroxy Methyl Furfural

Rumus Molekul :  $C_6H_6O_3$

Berat Molekul : 126,11 gr/mol

Titik Didih : 110 °C (pada 2,76 Pa)

Titik Leleh : 31,5°C

Densitas : 1,2062 gr/ml

Wujud : Padatan Kristal

(*Kowalski*, 2013)



## DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. *Asam Format*. (Online) <https://m.indonesian.alibaba.com/amp/p-detail/60459299125.html>. Diakses pada tanggal 23 Juni 2020.
- Alibaba. *Asam Levulinat*. (Online) <https://m.indonesian.alibaba.com>. Diakses pada tanggal 23 Juni 2020.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Provinsi Lampung. 2009. *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Lampung*. (Online) <https://pdfslide.net/download/link/rtrw-p-lampung-2009-2029finaldepdagri>. Diakses pada tanggal 16 Juni 2020.
- Bank Indonesia. 2020. *Suku Bunga Penjaminan*. (Online). <https://www.bi.go.id/id/moneter/suku-bunga-penjaminan/Contents/Default.aspx>. (Diakses pada Tanggal 24 Juni 2020).
- Brownell, L., E., dan Young, E., H. 1959. *Process Equipment Design*. United State of America: John Wiley & Sons.
- Felder, R. M., dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Galletti, R. M. A., Antonetti, C., Luise, D. V., Licursi, D, dan Nasso, D. N. N. 2012. Levulinic Acid Production From Waste Biomass. *Bioresources*. Vol. 7(2012): 1824-1835.
- Girisuta, B. 2007. Levulinic Acid from Lignocellulosic Biomass. [TESIS]. Netherlands: University of Groningen.
- Hayes, J. D. 2008. Production of Levulinic Acid , Furfural, and Formic Acid from Lignocellulosic Feedstocks. *Biorefinery*. Vol. 8(2008): 1-21.
- Index Mundi. 2020. *Indonesian Liquefied Natural Gas Monthly Price – US Dollars per Million Metric British Thermal Unit*. (Online). <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=indonesian-liquefied-natural-gas&months=60>. (Diakses pada 17 Juni 2020).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Matches Engineering. 2014. *Equipment Cost*. (Online). [www.matche.com](http://www.matche.com). (Diakses pada 24 Juni 2020).

- Miranda, J., C., C., Gustavo, H., S., F., P., Joao, M., N., dan Viktor, O., C., C. 2019. Simulation and Feasibility Evaluation of a Typical Levulinic Acid (LA) Plant using Biomass as Substrate. *Chemical Engineering Transactions*. Vol. 74(2019): 901-906.
- Morone, A., Mayura, A., Pandey, R., A. 2015. Levulinic Acid Production from Renewable Waste Resources: Bottlenecks, Potential Remedies, Advancements and Applications. *Renewable and Sustainable Energy Review*. Vol. 51(2015): 548-565.
- Mullen, B., D., Dorie, J., Y., dan Cora, M., L. 2017. Process to Prepare Levulinic Acid. US Patent No. 9598341 B2.
- Olbrich, H. 1963. *The Molasses*. Berlin: Biotechnologie-Kempe GmbH.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7<sup>th</sup> Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Perry, R. H. 2008. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8<sup>th</sup> Edition*. United States of America. The McGraw Hill Companies.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Edisi 4*. Singapore: McGraw Hill.
- PT Graha Jaya Pratama Kinerja. *Our Products*. (Online). <https://grahachemical.co.id/>. (Diakses pada 27 Februari 2020)
- Rackemann, D., W. 2014. Production of Levulinic Acid and Other Chemicals from Sugarcane Fibre. [DISERTASI]. Australia: Queensland University of Technology.
- Retnaningtyas, Y. A., Hidayat, R. R., Widyastuti, Winardi, S. 2017. Studi Awal Proses Fermentasi pada Desain Pabrik Bioethanol dari Molasses. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 6(1): 123-126.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. Rgr. 2002. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5<sup>th</sup> Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.

- Setiawan, D., dan Irfan, F. 2017. Produksi Asam Levulinat Tanpa Katalis dari Buah Trembesi dalam Air Subkritis. [SKRIPSI]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6<sup>th</sup> Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Tan-Soetedjo, J., N., M., Henk, H., V., B., Ria, M., A., Carolus, B., R., Jacob, V., G., dan Hero, J., H. 2017. Experimental and Kinetics Modeling Studies on the Conversion of Sucrose to Levulinic Acid and 5-Hydromethylfurfural Using Sulfuric Acid in Water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. Vol. 56(2017): 13228-13239.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Vilbrandt, F., C dan Dryden, C.E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. Tokyo: McGraw Hill International Book Company.
- Yan, K., Cody, J., Jing, G., dan Yong, Y. 2015. Production and Catalytic Transformation of Levulinic Acid: A Platform for Speciality Chemicals and Fuels. *Renewable and Sustainable Energy Review*. Vol. 51(2015): 548-565.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education.