

**REAKSI IKATAN SILANG PVA TERSULFONASI
DENGAN GLUTARALDEHIDA SEBAGAI
KATALIS ASAM DALAM SINTESIS METIL ASAM
LEMAK**

Laporan Penelitian

Disusun untuk memenuhi tugas akhir guna mencapai gelar sarjana di bidang ilmu
Teknik Kimia

oleh:

Marta Krissila Linardi (2017620092)

Febby Anggraeni (6141901099)

Pembimbing:

Dr. Henky Muljana, S.T., M.Eng.

Dr. Ir. Asaf K. Sugih



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

2024



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR PENGESAHAN

Nama: Marta Krissila Linardi

NPM: 2017620092

Nama: Febby Anggraeni

NPM: 6141901099

Judul : Reaksi Ikatan Silang PVA Tersulfonasi dengan Glutaraldehida sebagai Katalis
Asam dalam Sintesis Metil Asam Lemak

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,
Bandung, 5 Februari 2024

Pembimbing 1

Digitally signed by
Henky Muljana
DN: cn=Henky Muljana,
o=Parahyangan
Catholic University, ou,
email=henky@unpar.ac
.id, c=ID
Date: 2024.02.07
09:51:06 +07'00'

Pembimbing 2

Dr. Asaf Kleopas Sugih, Ir.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

LEMBAR REVISI

Nama: Marta Krissila Linardi

NPM: 2017620092

Nama: Febby Anggraeni

NPM: 6141901099

Judul : Reaksi Ikatan Silang PVA Tersulfonasi dengan Glutaraldehida sebagai Katalis
Asam dalam Sintesis Metil Asam Lemak

CATATAN:

Telah diperiksa dan disetujui,

Bandung, 6 Februari 2024

Penguji 1

Ir. Kevin Cleary Wanta, S.T., M.Eng.

Penguji 2

Y.I.P. Arry Miryanti, Ir., M.Si.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN**

SURAT PERNYATAAN

Nama: Marta Krissila Linardi

NPM: 2017620092

Nama: Febby Anggraeni

NPM: 6141901099

dengan ini menyatakan bahwa laporan penelitian dengan judul :

Reaksi Ikatan Silang PVA Tersulfonasi dengan Glutaraldehida sebagai Katalis Asam
dalam Sintesis Metil Asam Lemak

adalah hasil kerja kami dan seluruh ide, pendapat, atau materi dari sumber lain yang telah
dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak
sesuai dengan kenyataan maka kami bersedia menanggung sanksi sesuai dengan peraturan
yang berlaku.

Bandung, 5 Februari 2024



Marta Krisilla L.

2017620092



Febby Anggraeni

6141901099

INTISARI

Produk-produk kebersihan merupakan barang yang dibutuhkan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu senyawa yang ada dalam produk-produk tersebut adalah *fatty alcohol*. *Fatty alcohol* diperoleh dari proses hidrogenasi *Fatty acid methyl ester* (FAME). Dari dua metode proses yang dapat digunakan, reaksi esterifikasi dengan bahan baku minyak kelapa sawit menjadi proses yang dipilih dalam pembuatan FAME. Pada reaksi esterifikasi minyak kelapa sawit, katalis heterogen asam sering digunakan untuk mempercepat prosesnya. Katalis yang sering digunakan dalam proses ini adalah Amberlyst 46. Namun, harga katalis ini cenderung mahal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menemukan alternatif katalis reaksi esterifikasi minyak nabati yang lebih murah. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah reaksi *crosslink* polivinil alkohol (PVA) dengan asam sulfosuksinat (SSA) dan glutaraldehida (GA).

Penelitian ini bertujuan untuk membuat katalis heterogen asam dengan memanfaatkan PVA sebagai *support* katalis yang di *double crosslink* dengan SSA dan GA untuk reaksi esterifikasi, mengetahui pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA terhadap kapasitas asam dan *swelling degree* pada katalis, mengetahui pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA terhadap konversi reaksi katalis PVA/SSA dalam pembuatan FAME, dan mengetahui pengaruh suhu *crosslink* PVA/SSA dengan GA terhadap karakteristik katalis. Ada dua macam variasi yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu temperatur *crosslinking* PVA/SSA dengan GA dan rasio massa GA terhadap PVA/SSA. Variasi yang digunakan untuk rasio massa GA terhadap PVA/SSA adalah 0,625, 1,25, dan 1,875. Variasi yang digunakan untuk temperatur adalah 30 °C, 40 °C, dan 50 °C. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari analisis *swelling degree*, analisis kapasitas asam, analisis *Fourier Transform InfraRed* (FTIR), *Thermogravimetric Analysis* (TGA), analisis *X-Ray Diffraction* (XRD), analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM), analisis esterifikasi asam lemak, dan analisis *Degree of Crosslinking*.

Melalui penelitian ini, didapat hasil bahwa peningkatan rasio massa GA terhadap PVA/SSA pada katalis PVA/SSA dapat menurunkan *swelling degree* serta menghambat penurunan kapasitas asam dan penurunan konversi reaksi pada katalis PVA/SSA. Namun, penambahan rasio massa GA terhadap PVA/SSA pada katalis PVA/SSA menyebabkan nilai *degree of crosslinking* katalis semakin turun. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa suhu *crosslink* PVA/SSA dengan GA yang semakin besar dapat meningkatkan kapasitas asam, sifat hidrofobitas, dan konversi reaksi katalis, dengan catatan bahwa suhunya harus di bawah 50 °C.

Kata kunci: FAME, asam lemak, katalis, PVA, SSA, GA, esterifikasi, *crosslink*, FTIR, TGA, XRD, SEM

ABSTRACT

Hygiene and cleaning products are goods needed by humans in everyday life. One of the compounds present in those products is fatty alcohol. Fatty alcohol is obtained from the hydrogenation process of Fatty acid methyl ester (FAME). Of the two process methods that can be used, the esterification reaction with palm oil is the process chosen in the manufacture of FAME. In the esterification of palm oil, a heterogeneous acid catalyst is often used to speed up the process. The catalyst that is often used in this process is Amberlyst 46. However, the price of this catalyst tends to be expensive. Therefore, this research was conducted to find a cheaper alternative catalyst for the esterification of vegetable oils. In this research, the method that's going to be used is crosslinking polyvinyl alcohol (PVA) with sulfosuccinic acid (SSA) and glutaraldehyde (GA).

This research aimed to make a heterogeneous acid catalyst by utilizing PVA as a catalyst support which is double crosslinked with SSA and GA for the esterification reaction, determine the effect of the mass ratio of GA to PVA/SSA on the acid capacity and swelling degree of the catalyst, determine the effect of the mass ratio of GA to PVA/SSA on the conversion of the PVA/SSA catalyst reaction in making FAME, and determine the effect of the crosslink temperature of PVA/SSA with GA on the characteristics of the catalyst. There are two types of variations used in this research, namely the crosslinking temperature of PVA/SSA with GA and the mass ratio of GA to PVA/SSA. The variations used for the mass ratio of GA to PVA/SSA are 0,625, 1,25, and 1,875. The variations used for temperature are 30 °C, 40 °C, and 50 °C. The tests carried out in this research consisted of swelling degree analysis, acid capacity analysis, Fourier Transform InfraRed (FTIR) analysis, Thermogravimetric Analysis (TGA), X-Ray Diffraction (XRD) analysis, Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis, acid esterification analysis fat, and Degree of Crosslinking analysis.

Through this research, results were obtained that increasing the mass ratio of GA to PVA/SSA on the PVA/SSA catalyst can reduce the swelling degree, inhibit the decrease in acid capacity, and inhibit reaction conversion reduction on the PVA/SSA catalyst. However, increasing the mass ratio of GA to PVA/SSA on the PVA/SSA catalyst causes the value of the degree of crosslinking of the catalyst to decrease further. The results of this research also show that the higher crosslink temperature of PVA/SSA with GA can increase the acid capacity, hydrophobicity properties, and catalyst reaction conversion, on a sidenote that the temperature must be below 50 °C.

Keywords: FAME, fatty acids, catalyst, PVA, SSA, GA, esterification, crosslink, FTIR, TGA, XRD, SEM

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa karena berkat nikmat, rahmat dan karunia-Nya, penulis mampu menyusun laporan penelitian dengan judul “Reaksi Ikatan Silang PVA Tersulfonasi Dengan Glutaraldehida Sebagai Katalis Asam Dalam Sintesis Metil Asam Lemak”. Laporan penelitian ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Strata-1 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Selama penyusunan laporan ini, penulis mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan membimbing dalam menyusun laporan penelitian ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Henky Muljana, S.T., M. Eng., selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan juga saran selama penyusunan proposal penelitian.
2. Bapak Dr. Asaf Kleopas Sugih, Ir., selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, kritik, dan juga saran selama penyusunan proposal penelitian.
3. Keluarga yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun material.
4. Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan semangat.
5. Semua pihak baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penyusunan proposal penelitian ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasannya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Dengan tujuan untuk menyempurnakan proposal penelitian ini.

Bandung, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI.....	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tema Sentral Masalah	5
1.3. Identifikasi Masalah.....	6
1.4. Premis	7
1.5. Hipotesis	11
1.6. Tujuan Penelitian	11
1.7. Manfaat Penelitian	11
TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1. <i>Fatty Acid Methyl Ester</i> (FAME)	13
2.1.1. <i>Fatty Alcohol</i>	14
2.1.2. Biodiesel	15
2.2. Metode Reaksi untuk memproduksi FAME	16
2.2.1. Reaksi Esterifikasi Menggunakan Katalis Homogen.....	16
2.2.2. Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis Basa Homogen.....	18

2.3.	Katalis	19
2.3.1.	Katalis Heterogen Asam.....	20
2.4.	Polimer.....	22
2.4.1.	Polistirena	23
2.4.2.	PVA	25
2.5.	Sintesis PVA tersulfonasi dengan SSA dan Glutaraldehida.....	26
2.5.1.	<i>Crosslinking</i> PVA dengan SSA.....	26
2.5.2.	<i>Crosslinking</i> PVA/SSA dengan GA.....	27
2.6.	Analisis Katalis	30
2.6.1.	Analisis Karakteristik Katalis.....	30
2.6.2.	Analisis Performa Katalis.....	30
2.7.	Penelitian-Penelitian tentang Reaksi Cross-linking PVA/SSA dengan GA.....	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		36
3.1.	Bahan	36
3.2.	Alat.....	36
3.3.	Prosedur Percobaan.....	37
3.3.1.	Prosedur <i>Crosslinking</i> PVA/SSA	37
3.3.2.	Prosedur <i>Crosslinking</i> PVA/SSA/GA	39
3.4.	Analisis	40
3.4.1.	Analisis <i>Swelling Degree</i>	40
3.4.2.	Analisis Kapasitas Asam	41
3.4.3.	Analisis FTIR	43
3.4.4.	Analisis TGA.....	43
3.4.5.	Analisis XRD.....	43
3.4.6.	Analisis SEM.....	43
3.4.7.	Analisis Esterifikasi Asam Lemak	43
3.4.8.	Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1. Analisis Properti Katalis	47
4.1.1. Analisis Kapasitas Asam	48
4.1.2. Analisis <i>Swelling Degree</i>	51
4.1.3. Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	52
4.1.4 Analisis FTIR	54
4.1.5 Analisis TGA.....	55
4.1.6 Analisis XRD.....	57
4.1.7 Analisis SEM-EDS	59
4.2. Analisis Performa Katalis dalam Reaksi Esterifikasi	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan	64
5.2. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN A MATERIAL SAFETY DATA SHEET	70
A.1. Polivinil Alkohol.....	70
A.2. Asam Sulfosuksinat	71
A.3. Glutaraldehida.....	73
A.4. Metanol	74
A.5. Natrium Hidroksida	76
A.6. Asam Klorida.....	78
A.7. Aseton	79
A.8. Asam Oksalat.....	81
A.9. Kalium Hidroksida.....	83
A.10. Phenolphthalein.....	85
LAMPIRAN B METODE ANALISIS KATALIS.....	87
B.1 Analisis <i>Fourier Transform InfraRed Spectroscopy</i> (FTIR)	87

B.2 Analisis <i>Thermogravimetric</i> (TGA).....	87
B.3 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	88
B.4 Analisis <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	89
LAMPIRAN C HASIL ANTARA	90
C.1 Analisis <i>Swelling Degree</i> (Jenis <i>Swelling</i> : Air)	90
C.2 Analisis Kapasitas Asam.....	90
C.3 Analisis Reaksi Esterifikasi Asam Lemak	92
C.4 Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	95
LAMPIRAN D CONTOH PERHITUNGAN	96
D.1. Analisis <i>Swelling Degree</i>	96
D.2. Analisis Kapasitas Asam pada Katalis <i>Freshi</i> (sebelum reaksi esterifikasi)	96
D.2.1. Standarisasi Larutan NaOH.....	96
D.2.2. Standarisasi Larutan HCl.....	97
D.2.3 Analisis Kapasitas Asam	98
D.3. Analisis Reaksi Esterifikasi Asam Lemak.....	98
D.3.1. Standarisasi Larutan KOH.....	98
D.3.2 Penentuan <i>Acid Value</i> 1	101
D.3.3 Penentuan <i>Acid Value</i> 2.....	102
D.3.4 Analisis Reaksi Esterifikasi Asam Lemak.....	103
D.4. Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kebutuhan <i>Fatty Alcohol</i> di Indonesia per Tahun (Badan Pusat Statistik, 2018, 2020, 2021).....	1
Gambar 1.2 Produksi Minyak Sawit di Indonesia per Tahun (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2020).....	2
Gambar 1.3 Kebutuhan Biodiesel di Indonesia per Tahun (Pahlevi, 2022)	3
Gambar 2.1 Struktur Kimia <i>Fatty Alcohol</i> (Mudge, 2005).....	14
Gambar 2.2 Struktur Molekul Biodiesel dan Solar (Ge, dkk.,2017)	15
Gambar 2.3 Mekanisme Reaksi Esterifikasi (Fessenden, dkk., 1995).....	17
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Transesterifikasi (Fessenden, dkk., 1995)	18
Gambar 2.5 Struktur Molekul Polistirena (Adeniyi, dkk., 2022)	23
Gambar 2.6 Struktur Molekul (PS/DVB) Tersulfonasi (Coutinho, dkk., 2006).....	24
Gambar 2.7 Struktur Kimia PVA (Liu, dkk., 2022)	25
Gambar 2.8 <i>Crosslinking</i> PVA/SSA (Caetano, dkk., 2009)	26
Gambar 2.9 Reaksi <i>Crosslinking</i> PVA/SSA/GA (Figueiredo, dkk., 2009)	27
Gambar 2.10 Proses Protonasi Aldehida (Smith, 2013)	28
Gambar 2.11 Proses Serangan Nukleofilik dan Deprotonasi Membentuk Hemiasetal (Smith, 2013).....	28
Gambar 2.12 Proses Eliminasi H ₂ O pada Hemiasetal (Smith, 2013)	28
Gambar 2.13 Proses Serangan Nukleofilik dan Deprotonasi Membentuk Asetal (Smith, 2013).....	29
Gambar 3.1 Diagram Alir Sintesis PVA/SSA	37
Gambar 3.2 Diagram Alir Sintesis PVA/SSA/GA	40
Gambar 3.3 Diagram Alir Analisis <i>Swelling Degree</i>	41
Gambar 3.4 Diagram Alir Analisis Kapasitas Asam	42
Gambar 3.5 Diagram Alir Analisis Esterifikasi Asam Lemak	44
Gambar 3.6 Diagram Alir Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	45
Gambar 4.1 Katalis PVA/SSA	48
Gambar 4.2 Katalis PVA/SSA/GA	48

Gambar 4.3 Diagram Analisis Kapasitas Asam Katalis PVA/SSA/GA	50
Gambar 4.4 Diagram Analisis <i>Degree of Crosslinking</i> pada Variasi Rasio Massa PVA/SSA terhadap GA sebesar 0,625	53
Gambar 4.5 Diagram Analisis <i>Degree of Crosslinking</i> pada Variasi Suhu <i>Crosslinking</i> 30 °C.....	53
Gambar 4.6 Diagram Analisis FTIR	54
Gambar 4.7 Diagram TG Sampel PVA Murni	55
Gambar 4.8 Diagram TG Sampel PVA/SSA.....	56
Gambar 4.9 Diagram TG Sampel PVA/SSA/GA	57
Gambar 4.10 Hasil Analisis XRD PVA Murni dan Katalis PVA/SSA.....	58
Gambar 4.11 Hasil Analisis SEM (a) PVA Murni (b) PVA/SSA	59
Gambar 4.12 Hasil Analisis SEM Sampel 3	60
Gambar 4.13 Hasil Analisis SEM Sampel 4.....	60
Gambar 4.14 Hasil Pembacaan SEM-EDS Sampel 3	61
Gambar 4.15 Hasil Pembacaan SEM-EDS Sampel 4.....	61
Gambar 4.16 Diagram Analisis Reaksi Esterifikasi Katalis	63
Gambar B.1 Diagram Alir Analisis FTIR.....	87
Gambar B.2 Diagram Alir Analisis TGA	88
Gambar B.3 Diagram Alir Analisis XRD	89
Gambar B.4 Diagram Alir Analisis SEM	89

DAFTAR TABEL

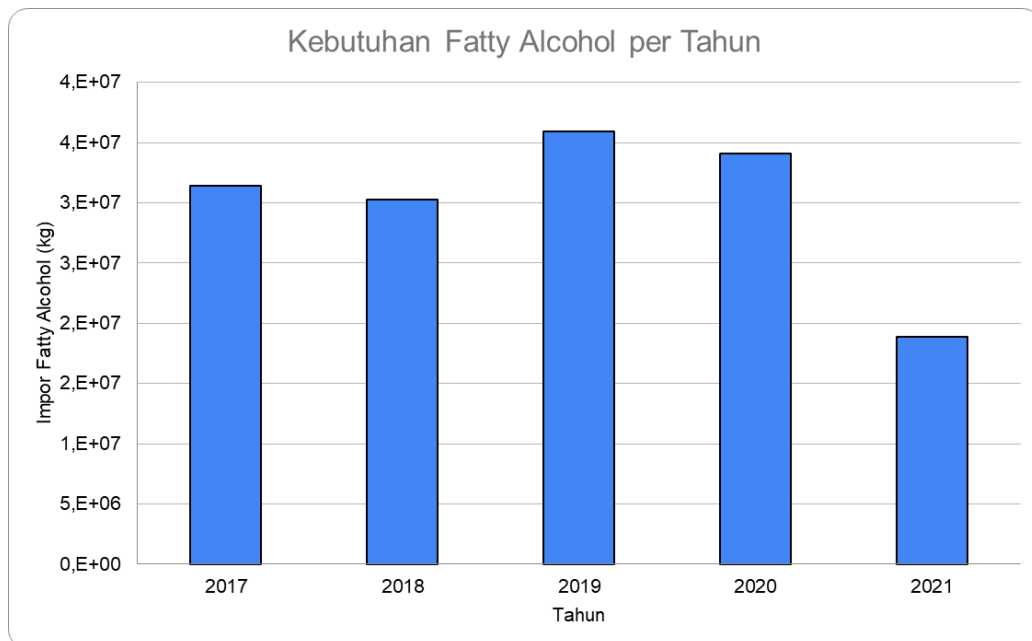
Tabel 2.1 Kelebihan dan Kerugian Penggunaan Jenis Katalis (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2022)	13
Tabel 2.2 Kelebihan dan Kerugian Penggunaan Jenis Katalis (Diamantopoulos, dkk., 2015)	20
Tabel 2.3 Karakteristik Amberlyst 46.....	21
Tabel 3.1 Bahan Percobaan.....	36
Tabel 3.2 Variasi Percobaan	39
Tabel 4.1 Kapasitas Asam Katalis PVA/SSA.....	49
Tabel 4.2 Kapasitas Asam Katalis PVA/SSA/GA <i>Fresh</i> dan Setelah Reaksi Esterifikasi. 49	
Tabel 4.3 Penurunan Nilai Kapasitas Asam	50
Tabel 4.4 <i>Swelling Degree</i> Katalis PVA/SSA/GA	52
Tabel 4.5 Hasil Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	52
Tabel 4.6 Komposisi Unsur Pada Sampel 3 dan 4 Katalis PVA/SSA/GA.....	61
Tabel 4.7 Hasil Analisis Performa Katalis dalam Reaksi Esterifikasi.....	62
Tabel C.1 Analisis <i>Swelling Degree</i>	90
Tabel C.2 Analisis Kapasitas Asam <i>Fresh</i> dan Setelah Empat Kali Reaksi Esterifikasi ...	90
Tabel C.3 Persentase Penurunan Kapasitas Asam <i>Fresh</i> dan Setelah Empat Kali Reaksi Esterifikasi	92
Tabel C.4 Analisis Reaksi Esterifikasi Asam Lemak.....	92
Tabel C.5 Analisis <i>Degree of Crosslinking</i>	95

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

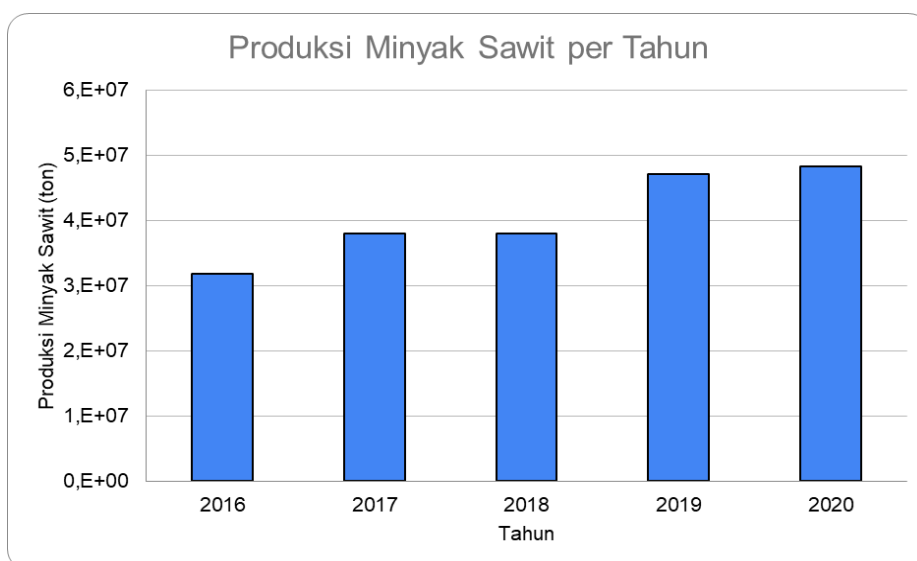
Produk-produk seperti sabun, kosmetik dan deterjen merupakan salah satu barang yang dibutuhkan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari. Di dalam produk-produk tersebut terdapat suatu senyawa, yaitu *fatty alcohol* yang umumnya digunakan sebagai *emulsifier*, *emollients*, dan *thickeners*. *Fatty alcohol* sendiri merupakan senyawa turunan oleokimia dasar yang diperoleh melalui hidrogenasi asam lemak atau ester asam lemak (P Munkajohnpong, dkk., 2020). Dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat Indonesia akan produk-produk seperti sabun, kosmetik dan deterjen, kebutuhan *fatty alcohol* juga semakin bertambah (P Munkajohnpong, dkk., 2020). Menurut Badan Pusat Statistik, dalam rentang waktu tahun 2017 - 2021, kebutuhan *fatty alcohol* pada tahun 2017 dan 2018 berkisar pada jumlah sebesar 30.000.000 - 31.000.000 kg dan terus meningkat pada tahun 2019 dan 2020 hingga hanya mencapai jumlah yang berkisar antara 34.000.000 - 36.000.000 kg. Namun, kebutuhan *fatty alcohol* menurun pada tahun 2021 dengan jumlah 18.888.326 kg. Data kebutuhan *fatty alcohol* di Indonesia berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (Badan Pusat Statistik, 2018, 2020, 2021) dapat ditunjukkan dengan grafik berikut:



Gambar 1.1 Kebutuhan Fatty Alcohol di Indonesia per Tahun (Badan Pusat Statistik, 2018, 2020, 2021)

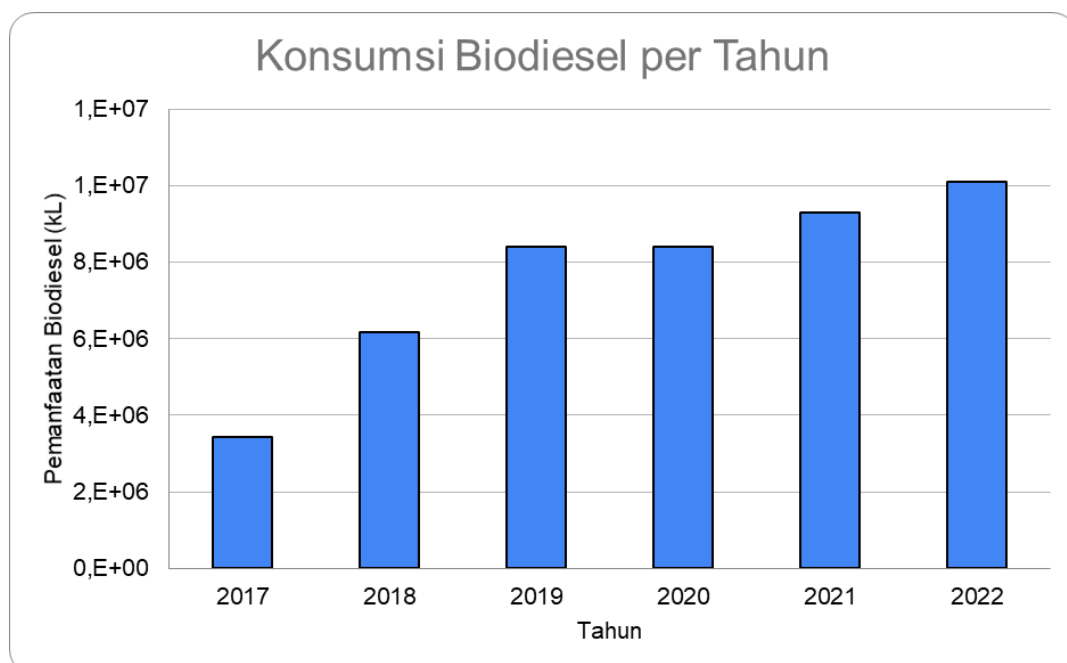
Fatty alcohol diperoleh dari hasil hidrogenasi *fatty acid methyl ester* (FAME). FAME sendiri merupakan jenis ester yang diturunkan dari minyak atau lemak alami yang bereaksi dengan alkohol. Terdapat dua metode yang dapat dilakukan dalam pembuatan FAME, yaitu reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi. Namun, karena keterbatasan dalam reaksi transesterifikasi, yaitu dapat menghasilkan sabun jika menggunakan bahan baku dengan kadar asam lemak bebas tinggi maka reaksi esterifikasi lebih disarankan untuk menghasilkan FAME (Irawan dkk., 2022). Melalui reaksi esterifikasi, minyak atau lemak alami akan direaksikan dengan alkohol dan dibantu oleh katalis asam. Lalu dari reaksi tersebut akan menghasilkan ester dan produk samping berupa air.

Salah satu jenis minyak yang dapat digunakan sebagai bahan pembuatan FAME adalah minyak kelapa sawit. Di Indonesia, produksi minyak kelapa sawit terus meningkat. Menurut Kementerian Pertanian Republik Indonesia, produksi total minyak sawit di Indonesia mencapai jumlah 31.730.961 ton pada tahun 2016 dan mengalami peningkatan pada tahun 2017, yaitu sebanyak 37.965.224 ton. Pada tahun 2018, produksi minyak kelapa sawit di Indonesia mengalami peningkatan lagi, yaitu dengan jumlah sebesar 42.883.631 ton. Produksi minyak kelapa sawit pada tahun 2019 dan 2020 juga terus meningkat, yaitu pada jumlah 47.120.247 ton dan 48.297.070 ton. Dengan mengamati peningkatan jumlah produksi kelapa sawit, diperkirakan untuk tahun-tahun berikutnya produksi minyak kelapa sawit di Indonesia akan terus meningkat. Berdasarkan dari data Kementerian Pertanian Republik Indonesia, didapat grafik sebagai berikut (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2020).



Gambar 1.2 Produksi Minyak Sawit di Indonesia per Tahun (Kementerian Pertanian Republik Indonesia, 2020)

Selain itu, FAME juga digunakan untuk memproduksi biodiesel. Kebutuhan biodiesel di Indonesia sama besarnya dengan kebutuhan *fatty alcohol*. Pada tahun 2017, jumlah biodiesel yang digunakan di Indonesia mencapai 3,42 juta m³. Jumlah penggunaan biodiesel ini meningkat pada tahun 2018, yaitu mencapai 6,17 juta m³. Pada tahun 2019, jumlah penggunaan biodiesel di Indonesia meningkat lagi mencapai 8,4 juta m³ dan jumlahnya tetap hingga tahun 2020. Jumlah ini meningkat kembali pada tahun 2021 yaitu mencapai 9,3 juta m³ dan terus meningkat hingga tahun 2022 yaitu mencapai jumlah 10,1 juta m³. Berikut merupakan grafik perkembangan pemanfaatan biodiesel di Indonesia (Pahlevi, 2022).



Gambar 1.3 Konsumsi Biodiesel di Indonesia per Tahun (Pahlevi, 2022)

Biodiesel adalah bahan bakar yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewani. Artinya bahan baku biodiesel dapat didaur ulang dan lebih ramah lingkungan daripada bahan bakar yang berasal dari minyak bumi seperti bahan bakar solar. Solar sendiri dihasilkan dari pemanasan minyak bumi, dimana minyak bumi merupakan sumber daya alam yang proses pembentukannya memakan waktu jutaan tahun. Kebutuhan dan kegunaan bahan bakar yang selalu meningkat, mengakibatkan ketersediaan minyak bumi terus menipis. Oleh karena itu, biodiesel dapat digunakan menjadi bahan bakar alternatif (Caetano dkk., 2009; Trombettoni dkk., 2018).

Secara umum, biodiesel dapat digunakan secara langsung maupun dicampur dengan solar. Biodiesel yang digunakan secara langsung atau dengan kata lain murni biodiesel,

disebut sebagai B100. Namun, karena biodiesel adalah ester yang bersifat dapat melunakkan polimer karet maka mesin diesel yang memiliki bahan tersebut harus diganti dengan bahan yang tahan terhadap ester. Alternatif lainnya, dapat menggunakan biodiesel yang dicampur dengan solar dengan perbandingan solar 80% dan biodiesel 20 % (B20) atau solar 70% dan biodiesel 30% (B30). Kelebihan campuran biodiesel dengan solar tersebut mampu digunakan secara langsung tanpa menghiraukan bahan dari mesin diesel. Besar energi yang dihasilkan oleh biodiesel hampir sama dengan solar. Selain itu, biodiesel memiliki cetane number yang lebih tinggi daripada solar, sehingga biodiesel menghasilkan suara mesin yang lebih halus. Serta penanganan dan penyimpanan biodiesel lebih mudah karena tidak menghasilkan uap yang berbahaya (K. ESDM, 2021; Devita, 2015).

Pada proses pembuatan FAME, dibutuhkan katalis untuk mempercepat reaksi esterifikasi. Katalis heterogen sering digunakan dalam industri dengan alasan agar pemisahan katalis dengan dengan produk lebih mudah untuk dilakukan (Trombettoni dkk., 2018). Untuk reaksi esterifikasi, katalis yang dapat digunakan hanya katalis asam (Solomons, dkk., 2012). Dengan alasan-alasan ini, industri FAME umumnya menggunakan katalis heterogen asam untuk mempercepat reaksi esterifikasi. Saat ini katalis heterogen asam yang digunakan pada reaksi esterifikasi untuk skala industri adalah katalis Amberlyst 46.

Amberlyst 46 merupakan salah satu contoh katalis heterogen asam yang berbasis polimer polistirena dengan golongan sulfonat. Amberlyst 46 dibuat secara khusus untuk proses reaksi katalitik dari reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Katalis ini dapat memberikan selektivitas yang sangat baik dan dapat diregenerasi dengan mudah. Namun, Amberlyst 46 memiliki harga yang relatif mahal (Coutinho dkk., 2006a; Ilgen, 2014; Irawan dkk., 2022). Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi polimer jenis lain yang berpotensi sebagai pengganti polistirena. Tujuannya untuk menghasilkan katalis dengan karakteristik yang lebih baik dengan harga yang lebih murah. Dalam hal ini, polimer yang digunakan adalah polivinil alkohol (PVA). Sama seperti polistirena pada Amberlyst 46, PVA juga digunakan sebagai support katalis. Sedangkan situs aktif yang digunakan berupa gugus sulfonat.

Salah satu industri oleokimia, yakni P.T Ecogreen Oleochemicals adalah perusahaan yang menggunakan FAME dalam memproduksi *fatty alcohol*. Perusahaan tersebut mengharapkan adanya katalis yang lebih murah dengan konversi yang baik untuk mendukung proses pembuatan *fatty alcohol*. Oleh karena itu, P.T Ecogreen Oleochemicals

memberikan kesempatan untuk mahasiswa Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan agar mengembangkan katalis asam berbasis polivinil alkohol. Polivinil alkohol (PVA) merupakan salah satu jenis polimer yang akan digunakan untuk berperan sebagai *support* katalis. Kemudian PVA tersebut akan direaksikan menggunakan metode *crosslink* dengan asam sulfosuksinat (SSA) sebagai situs aktif katalis. Metode *crosslink* sendiri adalah reaksi penggabungan dua atau lebih molekul dengan menggunakan ikatan kovalen. Sehingga melalui metode tersebut akan menghasilkan PVA tersulfonasi yang memiliki karakteristik berasal dari kedua senyawa yang telah digabungkan (PVA dan SSA).

Sejauh ini, katalis yang dihasilkan oleh peneliti sebelumnya (Krisnawan dan Halim, 2021) menunjukkan konversi yang cukup baik pada tahap pertama reaksi, namun pada tahap-tahap selanjutnya konversi katalis cenderung menurun. Selain konversi, katalis juga menunjukkan kestabilan katalis yang menurun dan mudah hancur. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan penambahan *crosslinker* lain. *Crosslinker* yang dimaksud adalah glutaraldehida (GA). Glutaraldehyde (GA) merupakan senyawa yang berperan untuk meningkatkan kestabilan katalis PVA sulfonat dan diharapkan dapat membantu mengurangi kemungkinan terputusnya gugus sulfonat dari katalis. Penelitian mengenai hal ini juga telah dilakukan, dimana hasil dari penelitian membuktikan bahwa PVA yang telah direaksikan dengan metode *crosslink* menggunakan GA memiliki ketahanan suhu yang tinggi, bahkan melampaui ketahanan suhu Amberlyst 46. Namun, belum ada penelitian yang menguji PVA yang telah direaksikan dengan metode *crosslink* dengan GA sebagai katalis.

1.2. Tema Sentral Masalah

Penelitian mengenai katalis PVA tersulfonasi telah dilakukan oleh beberapa Mahasiswa dan Dosen UNPAR. Dalam hal ini katalis yang diperoleh sudah menghasilkan konversi yang baik. Tetapi, setelah digunakan untuk reaksi secara berulang katalis menunjukkan penurunan konversi. Hal tersebut diakibatkan oleh rusaknya katalis, sehingga situs aktif pada katalis akan berkurang dan konversinya menurun. Oleh karena itu, pada penelitian ini katalis PVA tersulfonasi (PVA/SSA) akan direaksikan dengan metode *crosslink* dengan bahan penguat, yakni glutaraldehida (GA). Dengan tujuan untuk menghasilkan katalis yang memiliki kestabilan katalis yang baik yaitu berupa *swelling degree* yang kecil dan kapasitas asam yang tinggi, konversi reaksi yang tinggi, serta diharapkan katalis tidak mudah rusak dan menghasilkan konversi reaksi yang buruk ketika digunakan secara berulang.

1.3. Identifikasi Masalah

1. Bagaimana pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA pada *swelling degree* katalis?
2. Bagaimana pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA pada kestabilan konversi katalis?
3. Bagaimana pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA pada kapasitas asam katalis?
4. Bagaimana pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA pada nilai *degree of crosslinking*?
5. Bagaimana pengaruh suhu *crosslink* PVA/SSA dengan GA terhadap karakteristik katalis?

1.4. Premis

Penelitian	Bahan Baku	Reagen Crosslink	Variabel Pembeda	Variasi	Hasil
Tsai, 2010	PVA	SSA dan GA	Perbandingan molar SO ₃ H terhadap OH dan lama waktu reaksi cross-linking tahap kedua	Rentang perbandingan molar SO ₃ H terhadap OH 0,152 - 0,364 dan rentang waktu cross-linking kedua 1 - 2 jam	Membran hasil crosslinking PVA dengan SSA dan GA memiliki kualitas permeabilitas yang lebih baik daripada membran elektrolit komersil. Hasil terbaik pada selektivitas = $23,6375 \times 10^5$ s ² /cm ³ .
Rudra, 2015	PVA	GA	Konsentrasi GA	Rentang konsentrasi 1 - 6%	Peningkatan densitas crosslink menyebabkan peningkatan sifat mekanik PVA tetapi mengurangi sifat membrannya. Hasil terbaik pada variasi konsentrasi GA 4% dengan daya maksimal = $119,13 \pm 6$ mWm ² dan kerapatan arus listrik = $447,81 \pm 18$ mA m ²
Wang, 2006	PVA	GA	Berat molekular rata-rata dan derajat hidrolisis	Rentang berat molekular rata-rata 13.000 - 124.000 g/mol dan	Hasil terbaik pada variasi berat molekul 85.000 - 124.000 g/mol dan derajat hidrolisis 96% dengan kekuatan tarik = 7,6 MPa dan

Penelitian	Bahan Baku	Reagen Crosslink	Variabel Pembeda	Variasi	Hasil
			PVA	rentang derajat hidrolisis PVA 88 - 99%	perpanjangan = 130%
Figueiredo, 2009	PVA	GA	Temperatur dan rasio massa GA terhadap PVA	Rentang temperatur 10 - 40 °C dan rentang rasio massa GA terhadap PVA 0,01 - 1	Reaksi crosslinking PVA dengan GA pada kondisi bebas asam dan temperatur rendah dapat dilakukan. Hasil terbaik pada variasi temperatur 40 °C dan rasio massa GA terhadap PVA sebesar 0,01 dengan <i>water-swelling degree</i> = 44 ± 5 %.
Mansur, 2008	PVA	GA	Berat molekular rata-rata dan derajat hidrolisis PVA	Rentang berat molekular rata-rata 13.0000 - 186.000 g/mol dan rentang derajat hidrolisis PVA 78 - 98,8%	PVA yang direaksikan silang menggunakan GA mampu menghasilkan membran yang peka terhadap pH dan dapat digunakan dalam sistem penghantar obat.
Caetano, 2009	PVA	SSA	Jumlah persen gugus OH yang	Rentang jumlah persen gugus OH yang	PVA yang direaksikan dengan metode crosslink menggunakan SSA memiliki sifat katalitik yang

Penelitian	Bahan Baku	Reagen Crosslink	Variabel Pembeda	Variasi	Hasil
			teresterifikasi	teresterifikasi adalah 20 - 40%	lebih baik dari polistirena.
Krisnawan dan Halim, 2021	PVA	SSA	Perbandingan jumlah PVA dan SSA	Rentang persen berat PVA adalah 10 - 20% dan rentang persen berat SSA adalah 1 - 20%	Hasil terbaik terdapat pada variasi PVA 10% dan SSA 1% dengan penurunan beratnya paling sedikit dan konversi = 92,6%. Semakin banyak SSA kapasitas asam katalis juga semakin besar. Penyebab katalis PVA/SSA yang mengalami <i>swelling</i> membuat penurunan konversi adalah karena molekul air bebas menutupi permukaan aktif katalis dan terjadinya <i>excessive swelling</i> yang membuat kerusakan pada struktur katalis.
Leonardo dan Diana, 2020	PVA	SSA	Perbandingan jumlah PVA dan SSA	Rentang persen berat PVA adalah 10 - 20% dan rentang persen berat SSA adalah 1 - 20%	Semakin tinggi konsentrasi SSA pada katalis PVA/SSA semakin tinggi nilai kapasitas asam dan kuantitas struktur kristalinitas sehingga menyebabkan <i>swelling degree</i> menurun. Katalis PVA/SSA dapat dijadikan sebagai

Penelitian	Bahan Baku	Reagen Crosslink	Variabel Pembeda	Variasi	Hasil
					alternatif untuk reaksi esterifikasi dalam pembuatan biodiesel dengan konversi yang tinggi.

1.5. Hipotesis

1. Peningkatan rasio massa GA terhadap PVA/SSA dapat menurunkan *swelling degree* katalis.
2. Peningkatan rasio massa GA terhadap PVA/SSA dapat menghasilkan konversi yang lebih stabil.
3. Peningkatan rasio massa GA terhadap PVA/SSA dapat menurunkan nilai kapasitas asam katalis.
4. Peningkatan rasio massa GA terhadap PVA/SSA dapat meningkatkan nilai *degree of crosslinking*
5. Peningkatan suhu *crosslinking* PVA/SSA/GA dapat meningkatkan karakteristik katalis karena dapat memperoleh *crosslinking* katalis yang lebih banyak.

1.6. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Membuat katalis heterogen asam dengan memanfaatkan PVA sebagai *support* katalis yang di *double crosslink* dengan SSA dan GA untuk reaksi esterifikasi.
2. Mengetahui pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA terhadap kapasitas asam dan *swelling degree* pada katalis.
3. Mengetahui pengaruh rasio massa GA dengan PVA/SSA terhadap konversi reaksi katalis PVA/SSA dalam pembuatan FAME.
4. Mengetahui pengaruh suhu *crosslink* PVA/SSA dengan GA terhadap karakteristik katalis.

1.7. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian

1. Bagi peneliti
Diharapkan hasil penelitian ini dapat memajukan aplikasi polimer dalam pembuatan katalis heterogen asam.
2. Bagi industri
Penggunaan katalis heterogen menjadi solusi atas permasalahan yang terdapat pada katalis homogen dalam segi limbah yang dihasilkan dari proses netralisasi katalis, serta menciptakan katalis yang dapat digunakan kembali.

3. Bagi masyarakat

Pembuatan katalis heterogen asam pada penelitian ini dapat ditujukan untuk proses pembuatan *fatty alcohol*, yang dimana bahan tersebut adalah salah satu bahan yang digunakan dalam sebagian besar produk-produk keseharian. Sehingga penelitian ini memiliki peran untuk mendorong produksi dari produk-produk tersebut.

4. Bagi lingkungan

Penelitian ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah lingkungan, seperti meminimalisir limbah yang dihasilkan dan tidak bersifat toksik.