

Studi Pengaruh Faktor Suhu, Waktu, Massa Katalis dan Perbandingan Mol Dalam Produksi Biodiesel Dari PFAD Menggunakan Katalis Karbon Tersulfonasi.

Naka Yura, Umar Kalmar Nizar*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia Telp.0751 7057420

¹umarjati77@gmail.com

Abstract— Depletion and environmental problems caused by the use of fossil fuels, the need for alternatives to balance the availability of nature. Biodiesel synthesis has become a concern lately for renewable and sustainable fuels. In this work, biodiesel is synthesized from 5 different acid catalysts with the use of the same raw material, PFAD. Catalysts used for biodiesel synthesis are acid catalysts from glucose derivatives (D-glucose) acid catalysts from starches, acid catalysts from empty fruit bunches, acid catalysts from oil palm and bamboo branches, and acidic catalysts from glucose modified with oscillation flow. Acid catalyst from glucose derivative (D-Glucose) obtained conversion of FFA and FAME respectively 95.4% and 92.3% with the optimum reaction conditions was 2.5% of the catalyst mass, 10: 1 mole ratio of PFAD methanol, reaction temperature 75 C and reaction time for 2 hours. Acid catalyst from starch obtained conversion of FFA and FAME respectively were 94.6% and 90.4% with the optimum reaction conditions ie 2% mass of catalyst, 10: 1 mole ratio of PFAD methanol, reaction temperature of 75C and reaction time of 2 hours. Acid catalyst from empty fruit bunches obtained 98% FFA conversion with optimum conditions of 4% catalyst mass, 16: 1 mole ratio of PFAD methanol, reaction temperature of 100 C, time of 3 hours. Acid catalysts from oil palm and bamboo shells have FFA conversion and different FAME values, namely 97% and 95% for CKS, while 95.8% and 94.2% for bamboo with the same optimum conditions at 4% catalyst mass, 15: 1 comparison mole of methanol, temperature 65 C, reaction time 1 hour. And acid catalyst from glucose modified by oscillation flow gets FFA and FAME conversion of 97% and 94.21% with optimum reaction conditions, 2.5% of catalyst mass, 9: 1 mole ratio of methanol, temperature of 60C and reaction time for 50 minute.

Keywords— Biodiesel, PFAD, sulfonated carbon catalyst

I. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan dasar dari dunia modern dan memainkan peran yang signifikan dalam menentukan pertumbuhan ekonomi suatu negara. Selama beberapa dekade, bahan bakar fosil telah menjadi sumber utama energi untuk semua jenis bahan bakar. Selain itu, sekitar 90% dari kendaraan saat ini yang didukung oleh energi berbahan bakar fosil. Selain itu, produk berbasis minyak bumi digunakan sebagai sumber bahan bakar utama untuk industri kimia yang memproduksi pestisida, pupuk, farmasi, plastik dan pelarut. Namun, penggunaan berlebihan pada bahan bakar fosil dapat mengancam cadangan minyak dunia dan membawa masalah kerusakan lingkungan. Untuk mengurangi ketergantungan para ilmuwan melakukan penelitian pada sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan. Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar

terbarukan. Salah satu sumber biodiesel adalah PFAD yang merupakan destilat bahan baku asam lemak sawit yang murah dan tidak dapat dimakan [1]

PFAD merupakan bahan baku yang menjanjikan untuk produksi biodiesel dan lebih murah daripada minyak nabati. PFAD memiliki kandungan asam lemak yang tinggi sekitar 85%. Saponifikasi dapat terjadi oleh netralisasi asam lemak bebas (FFA) ketika katalis alkali heterogen atau homogen digunakan untuk esterifikasi PFAD. Oleh karena itu, penerapan katalis asam heterogen (katalis asam padat) lebih disukai untuk produksi biodiesel karena kandungan FFA yang tinggi dari bahan baku PFAD.

Penerapan karbon aktif yang berasal dari katalis asam heterogen (Activated Carbon) telah mendapatkan banyak perhatian untuk produksi biodiesel karena proses persiapan yang mudah, biaya produksi yang rendah, kesesuaian untuk

esterifikasi pada bahan baku yang memiliki kandungan FFA tinggi, ramah lingkungan, dan efektifitas yang tinggi. Katalis berbasis Activated Carbon dapat meningkatkan reaksi produksi biodiesel karena luas permukaan yang tinggi yang bertujuan agar metanol dan trigliserida dapat bereaksi sehingga menghasilkan jumlah biodiesel yang tinggi. Sangat relevan untuk menyatakan bahwa katalis tersulfonasi karbon telah disarankan sangat efektif digunakan karena sifat keasaman yang tinggi [2].

Katalis asam homogen menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada katalis asam heterogen. Namun, terdapat beberapa kelemahan seperti dapat menyebabkan peralihan korosi dan sulitnya dalam penanganan limbah dari netralisasi H₂SO₄. Penggunaan katalis asam heterogen untuk menggantikan asam homogen dapat menghilangkan masalah terkait dengan katalis asam homogen. Katalis asam heterogen dapat dengan mudah dihilangkan dari campuran reaksi dengan cara filtrasi, dan dapat didaur ulang untuk digunakan kembali pada proses baru karena itu tidak ada kehilangan katalis. Dengan cara ini produk reaksi diperoleh dengan kemurnian tinggi. Selain itu tidak ada pembentukkan sabundari asam lemak bebas yang memungkinkan untuk menggunakan minyak asam seperti soapstok [3].

Saat ini banyak pengembangan katalis padat heterogen yang diaplikasikan pada biodiesel, katalis asam yang umum digunakan adalah karbon tersulfonasi, katalis Niobium-MCM-41, Aliginat besi, dan Besi hidrogen sulfat. Katalis asam padat yang disintesis dari karbon tersulfonasi idealnya memiliki banyak situs aktif dengan tingkat keasaman yang tinggi dan stabilitas cukup baik dengan sangat sedikit pencucian dan deaktivasi katalis. Dalam penelitian terbaharukan dilaporkan bahwa katalis asam padat yang diturunkan memiliki sifat yang ideal sebagai katalis asam padat heterogen. Hal tersebut dapat memiliki potensial untuk reaksi esterifikasi bahan baku dengan FFA yang tinggi karena sifat keasaman yang tinggi dan stabilitas yang tinggi dari struktur karbon polisiklik aromatik [1].

Katalis asam padat diproduksi oleh karbonisasi biomassa dan selanjutnya disulfonasi. Selama karbonisasi bahan mudah menguap dan komponen lain dari bahan dilepaskan dan lembaran hidrokarbon polisiklik aromatik terbentuk. Biomassa terkarbonisasi kemudian difungsikan dengan sulfonasi dimana gugus sulfonat menempel pada lembaran hidrokarbon polisiklik aromatik. Faktor-faktor seperti suhu karbonisasi, suhu sulfonasi, dan waktu sulfonasi telah terbukti mempengaruhi kinerja katalis [4].

Dalam penelitian ini dibahas 5 katalis yang berbeda-beda dengan bahan baku yang sama yaitu PFAD. Katalis yang digunakan yaitu dari turunan glukosa, katalis dari pati, katalis dari tandan buah kosong, katalis dari cangkang kelapa sawit dan bamboo serta katalis dari glukosa dengan modifikasi aliran osilasi. Adapun beberapa faktor yang nanti akan dibahas yaitu seperti suhu reaksi, waktu reaksi, massa katalis dan perbandingan molar metanol terhadap PFAD untuk tiap-tiap katalis yang digunakan.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Suhu Reaksi

Pengaruh suhu reaksi dipelajari menggunakan katalis dari beberapa sumber katalis yaitu turunan glukosa, katalis dari pati, katalis dari tandan buah kosong, katalis dari cangkang kelapa sawit, bamboo dan katalis dari glukosa. Katalis diperoleh melalui proses karbonisasi dan sulfonasi. Aplikasi katalis menggunakan variasi suhu ditinjau dari reaksi esterifikasi dalam produksi biodiesel.

TABEL I
PENGARUH SUHU REAKSI

Nama Katalis	Sumber Karbon	Metode Sulfonasi	Aplikasi Katalis	Variasi Suhu Reaksi	Suhu Optimum
Katalis ICG	Turunan Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	65, 70, 75, 80, dan 85 °C	75 °C
Katalis ICS	Pati	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	65, 70, 75, 80, dan 85 °C	75 °C
Katalis AC-Fe	Tandan Buah Kosong	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	60, 80, 100, 120, dan 140 °C	100 °C
Katalis PKS dan Bambu	Cangkang kelapa sawit dan Bambu	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	60, 65, 70, 75, 80, dan 85 °C	65 °C
Katalis Glukosa a	Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	45, 50, 55, 60, 65, 70, 75 °C	60 °C

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICG memiliki suhu reaksi optimum pada 75°C dengan kondisi parameter massa

katalis 2,5 %, waktu reaksi 2 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 10:1. Kondisi optimum 75 °C didapatkan karena %konversi meningkat dari 75,2% menjadi 95,4% dengan suhu 65 sampai 75 °C. Namun, pada suhu reaksi di atas 75°C %konversi justru mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan energi aktivasi tidak cukup untuk memprotonasi gugus karbonil dari FFA sehingga menghasilkan %konversi lebih sedikit. Suhu mempengaruhi jumlah energi aktivasi yang dibutuhkan untuk memprotonasi gugus karbonil dari FFA. Pada suhu reaksi 75°C energi aktivasi cukup untuk memprotonasi gugus karbonil dari FFA dan menghasilkan laju reaksi maksimum [5].

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICS memiliki suhu reaksi optimum pada suhu 75 °C dengan parameter massa katalis 2%, waktu reaksi 3 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 10:1. Konversi menunjukkan kenaikan suhu reaksi mulai dari 65 hingga 70 °C meningkatkan konversi FFA menjadi metil ester dari 85,8% menjadi 88,6% dan dilanjutkan hingga 94,6% seiring peningkatan suhu hingga 75 °C. Namun, hasil menunjukkan peningkatan konversi yang tidak signifikan ketika suhu reaksi meningkat dari 75 menjadi 85 °C. Konversi kesetimbangan dari asam lemak dicapai pada 75 °C. Suhu reaksi optimal dapat mempengaruhi laju reaksi dengan meningkatkan energi kinetik ke tingkat maksimum untuk menggerakkan molekul lebih cepat selama proses esterifikasi. Oleh karena itu, lebih mudah untuk memutuskan ikatan karbon dalam struktur molekul asam lemak ketika proses tersebut didukung oleh sejumlah molekul dan katalis alkohol tertentu [6].

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis PKS dan Bambu memiliki suhu reaksi optimum adalah 65 °C dengan kondisi parameter massa katalis 4%, waktu reaksi 1 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 15:1. Peningkatan konversi PFAD yang signifikan untuk kedua katalis dari 70% menjadi 90% ketika suhu reaksi meningkat dari 60 °C hingga 65 °C. Pada suhu reaksi yang lebih tinggi, reaktan dapat bertambah energi kinetik yang cukup untuk mempercepat laju transfer massa antara fase metanol, PFAD dan katalis yang menghasilkan konversi maksimum. Namun, peningkatan lebih lanjut dalam suhu reaksi dari 65 °C hingga 85 °C tidak mempengaruhi konversi FFA secara signifikan. Dari itu kita dapat menyimpulkan, dalam penelitian ini suhu esterifikasi optimal berada pada 65 °C yang mana konversi FFA mencapai lebih dari 90%. Esterifikasi Reaksi PFAD menggunakan katalis PKS-SO₃H dan Bambu-SO₃H diperlukan suhu reaksi lebih rendah dibandingkan dengan karbohidrat yang berasal dari padatan katalis asam yang membutuhkan suhu reaksi berada pada 75 °C sampai mencapai konversi FFA tertinggi. Ini karena asam tinggi kerapatan hadir di masing-masing katalis [1].

Pada reaksi yang dikatalisis oleh katalis AC-Fe memiliki kondisi optimum suhu reaksi paling tinggi yaitu 100 °C dengan parameter massa katalis 4%, waktu reaksi 1 jam dan perbandingan mol methanol : lemak PFAD adalah 16:1. Peningkatan suhu dari 60 °C hingga 100 °C menghasilkan

peningkatan konversi FFA dari 45,11% menjadi 98,47%. Suhu optimum reaksi ditemukan pada 100°C. Konversi FFA yang rendah dicapai ketika reaksi dilakukan pada suhu 60°C. Suhu reaksi rendah dapat merusak kesetimbangan reaksi. Pada suhu reaksi yang lebih tinggi, reaktan dapat memperoleh energi kinetik yang optimal untuk mempercepat laju reaksi massa antara PFAD, metanol, dan katalis mengarah ke konversi tertinggi. Penelitian menunjukkan konversi FFA tertinggi 93,47% diperoleh pada suhu reaksi 100°C. Esterifikasi menggunakan katalis AC-Fe-SO₃Cl membutuhkan suhu reaksi yang tinggi dibandingkan dengan suhu reaksi katalis basa [6].

Namun, pada reaksi yang dikatalisis oleh katalis glukosa memiliki suhu reaksi dengan kondisi optimum terendah yaitu 60 °C dengan kondisi parameter massa katalis 2,5%, waktu reaksi 1 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 9:1. Pengaruh suhu reaksi untuk esterifikasi PFAD menggunakan katalis asam. Konversi FFA ke FAME meningkat dari 89,8% menjadi 96,1% dengan kenaikan suhu dari 50 °C hingga 60 °C. Peningkatan konversi diamati tidak hanya karena peningkatan laju reaksi dengan kenaikan suhu tetapi juga disebabkan oleh perpindahan massa dalam campuran. Pada suhu 65 °C tidak ada peningkatan yang signifikan hingga suhu 70 °C, penurunan konversi disebabkan oleh penguapan metanol. Oleh karena itu, suhu 60 °C terpilih sebagai suhu optimal untuk analisis selanjutnya [7].

B. Pengaruh Waktu Reaksi

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICG memiliki waktu reaksi optimum 2 jam dengan kondisi parameter massa katalis 2,5%, suhu reaksi 75 °C dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 10:1. Persen konversi meningkat dengan meningkatnya waktu reaksi. Namun, setelah 2 jam % konversi tidak terlalu meningkat secara signifikan sehingga kurang efisien untuk digunakan dalam produksi biodiesel karena waktu yang dibutuhkan lebih lama. Sehingga, ditetapkan waktu reaksi 2 jam sebagai kondisi reaksi optimum [5].

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICS juga memiliki waktu reaksi optimum 2 jam dengan kondisi parameter massa katalis 2%, suhu reaksi 75 °C dan perbandingan mol methanol : PFAD 10:1. Hasil produk ditemukan telah meningkat hingga di atas 70% karena reaksi dilanjutkan selama 1 jam. Kondisi optimum lainnya seperti katalis, metanol, dan suhu reaksi memainkan peran penting untuk memastikan konversi terjadi tingkat maksimum. Setelah 3 jam, konversi FFA dan FAME hasil meningkat masing-masing hingga 94,6% dan 89,7%. Tidak ada kenaikan yang ditunjukkan untuk hasil FFA dan FAME mulai dari 3 hingga 5 jam [6].

TABEL II
PENGARUH WAKTU RAKSI

Nama Katalis	Sumber Karbon	Metode Sulfonasi	Aplikasi Katalis	Variasi Waktu Reaksi	Waktu Optimum
Katalis ICG	Turunan Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 2, 3, 4 dan 5 jam	2 jam
Katalis ICS	Pati	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 2, 3, 4 dan 5 jam	2 jam
Katalis AC-Fe	Tandan Buah Kosong	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 3, 6, dan 9 jam	3 jam
Katalis PKS dan Bambu	Cangkan g kelapa sawit dan Bambu	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	½, 1, 2, 3, 4 dan 5 jam	1 jam
Katalis Glukosa a	Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	10, 20, 30, 40, 50 dan 60 menit	50 menit

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis PKS dan Bambu memiliki waktu reaksi optimum 1 jam dengan kondisi parameter massa katalis 4%, suhu reaksi 65 °C dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 15:1. Konversi FFA dari PKS-SO₃H dan Bamboo-SO₃H meningkat secara signifikan dari 60% menjadi 90% ketika waktu meningkat dari 30 menit menjadi 60 menit. Lebih lanjut memperpanjang waktu reaksi menghasilkan peningkatan konversi FFA yang tidak signifikan. Karena reaksi esterifikasi adalah reaksi reversibel, memperpanjang waktu reaksi dapat menggeser reaksi menuju reaktan juga menemukan yang serupa pola ketika menggunakan katalis CaO dalam reaksi transesterifikasi. Kondisi optimum parameter lain seperti katalis memuat, rasio molar metanol-ke-PFAD dan suhu reaksi merupakan peran penting dalam membantu proses esterifikasi untuk mencapai FFA maksimum konversi [1].

Pada reaksi yang dikatalisis oleh katalis AC-Fe memiliki waktu reaksi optimum paling tinggi yaitu 3 jam dengan kondisi parameter massa katalis 4%, suhu reaksi 100 °C dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 16:1. Katalis AC-Fe-SO₃Cl menunjukkan laju reaksi lambat setelah reaksi 3 jam. Ini disebabkan oleh perpindahan massa heterogen dari katalis. Konversi FFA meningkat pada saat 3 jam kemudian konversi FFA tetap dan hampir konstan. Konversi FFA tertinggi 98,15% diamati pada waktu reaksi 3 jam, selain itu penambahan waktu reaksi dari 4-9 jam tidak meningkatkan konversi FFA secara signifikan [6].

Namun, pada reaksi yang dikatalisis oleh katalis glukosa memiliki waktu optimum paling rendah yaitu 50 menit dengan kondisi parameter massa katalis 2,5%, 60 °C dan perbandingan mol methanol: PFAD adalah 9:1. Pada suhu reaksi 60 °C konversi FFA didapatkan 81,4% untuk 10 menit pertama, dan secara bertahap konversi 97,1% pada waktu reaksi 50 menit. Pada suhu reaksi diatas 50 °C tidak ada konversi FAME yang signifikan [7].

C. Pengaruh Massa Katalis

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICS memiliki massa optimum pada 2,5% dengan kondisi parameter suhu reaksi 65 °C, waktu reaksi 2 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 10:1. Persen konversi meningkat dari 35,7% menjadi 86,1% dengan massa katalis 0,5% sampai 2,5%. Kenaikkan yang terjadi cukup signifikan yaitu sebesar 50,4. Namun, penambahan lebih lanjut dari massa katalis tidak meningkatkan %konversi dari FFA secara signifikan. Sehingga kurang efisien untuk digunakan dalam produksi biodiesel. Oleh karena itu, ditetapkan massa katalis 2,5% sebagai kondisi optimum dari parameter massa katalis terhadap PFAD. Reaksi selanjutnya menggunakan massa katalis 2,5% untuk optimasi lebih lanjut [5].

TABEL III
PENGARUH MASSA KATALIS

Nama Katalis	Sumber Karbon	Metode Sulfonasi	Aplikasi Katalis	Variasi Massa Katalis	Massa Optimum
Katalis ICG	Turunan Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 2, 3, 4, dan 5%	2,5%
Katalis ICS	Pati	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 2, 3, 4, dan 5%	2%
Katalis AC-Fe	Tandan Buah Kosong	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 3, 4, 6 dan 9%	4%
Katalis PKS dan Bambu	Cangkan g kelapa sawit dan Bambu	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 2, 3, 4 dan 5 %	4%
Katalis Glukosa a	Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	0,5, 1,5, 2,5 dan 3,5%	2,5%

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis glukosa juga memiliki massa optimum 2,5% dengan kondisi parameter suhu reaksi 65 °C, waktu reaksi 60 menit dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 10:1. Pada 1% berat muatan katalis sekitar 89% FFA dikonversi menjadi FAME dan penambahan lebih banyak katalis hingga 2,5%.% meningkatkan konversi menjadi > 95%. Perilaku katalis menunjukkan bahwa peningkatan jumlah katalis meningkatkan ketersediaan situs aktif katalitik. Peningkatan lebih lanjut dalam jumlah katalis melebihi 2,5% berat tidak menunjukkan konversi persentase yang signifikan. Ini dapat dijelaskan bahwa titik keseimbangan tercapai dalam hal perpindahan massa (laju kontak) antara PFAD, katalis dan metanol. Menggunakan jumlah katalis yang lebih besar meningkatkan konversi serta biaya produksi. Oleh karena itu, pemuatan katalis 2,5% berat dipilih untuk analisis lebih lanjut [7].

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis AC-Fe memiliki massa optimum pada 4% dengan kondisi parameter suhu reaksi 60C, waktu reaksi 1 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 12:1. Konversi FFA meningkat dari 34,38 ± 1% menjadi 76,65 ± 2,8% sebagai konsentrasi katalis (AC-Fe (10) -SO₃Cl) meningkat dari 1 menjadi 4%. Peningkatan konsentrasi yang lebih besar dari katalis di atas 4% tidak berdampak pada konversi FFA, yang menyarankan bahwa katalis AC-Fe (10) -SO₃Cl dapat dihasilkan 76,65 ± 2,8% konversi FAME dalam 1 jam dengan konsentrasi katalis yang rendah (4%) [6].

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis PKS dan Bambu memiliki massa optimum 4% dengan kondisi parameter suhu reaksi 65 °C, waktu reaksi 1 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 15:1. Konversi PFAD meningkat secara proporsional dengan peningkatan PKS-SO₃H dan pemuatan katalis Bambu-SO₃H. Konversi PFAD meningkat secara signifikan dari 69% menjadi 91% dengan penambahan 1% berat PKS-SO₃H katalisator. Sementara itu ada sedikit peningkatan dalam pembentukan asam lemak bebas ketika pemuatan katalis Bamboo-SO₃H meningkat dari 1 wt % hingga 2% berat. Namun, katalis PKS-SO₃H dan Bambu-SO₃H menunjukkan konversi FFA tertinggi ketika 4% katalis ditambahkan ke dalam reaksi yang memberikan 97% dan 96% konversi masing-masing. Ini titik, penambahan lebih lanjut dari katalis tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam Konversi PFAD ketika laju perpindahan massa atau laju kontak antara katalis, metanol, dan PFAD mencapai kondisi kesetimbangan [1].

Pada reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICS memiliki massa optimum paling rendah yaitu 2% dengan kondisi

parameter suhu reaksi 75 °C, waktu reaksi 3 jam dan perbandingan mol methanol : PFAD adalah 10:1. Kehadiran 1% berat katalis ICS-SO₃H secara signifikan meningkatkan tingkat konversi dari 12,8% menjadi 85% Konversi meningkat sebesar 94,9% dengan penambahan lebih lanjut dari 2% berat katalis. Namun, penambahan 3-5% berat katalis tidak menunjukkan peningkatan signifikan pada konversi FFA [6].

D. Pengaruh Mol Metanol : PFAD

TABEL IV
PENGARUH MOL METANOL : PFAD

Nama Katalis	Sumber Karbon	Metode Sulfonasi	Aplikasi Katalis	Perbandingan Mol Metanol : PFAD	Mol Metanol : PFAD Optimum
Katalis ICG	Turunan Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 5, 10, 15, 20, dan 25 : 1	10:1
Katalis ICS	Pati	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	1, 5, 10, 15, 20, dan 25 : 1	10:1
Katalis AC-Fe	Tandan Buah Kosong	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	3, 6, 12, 16 dan 24 : 1	16:1
Katalis PKS dan Bambu	Cangkan g kelapa dan sawit dan Bambu	Asam Kloro Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	5, 10, 15, 20, dan 25 : 1	15:1
Katalis Glukosa	Glukosa	Asam Sulfat Pekat	Esterifikasi PFAD	5, 6, 7, 8, 9, 10 dan 11 : 1	9:1

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICG memiliki mol methanol:PFAD optimum pada 10:1 dengan kondisi parameter suhu reaksi 70 °C, waktu reaksi 2 jam, dan 1% massa katalis. Persen konversi FFA meningkat dari perbandingan 1:1 sampai 10:1 setara dengan 77,8% konversi FFA. Namun, tidak ada kenaikan yang signifikan saat perbandingan 12:1 sampai 18:1. Hal ini dikarenakan semakin tinggi mol metanol yang digunakan akan semakin banyak FFA yang terkonversi menjadi biodiesel. Namun, jika mol metanol yang digunakan terlalu tinggi juga dapat meningkatkan produk sampingan berupa H₂O. Karena adanya air yang dihasilkan ini, maka dapat mengakibatkan biodiesel yang dihasilkan dapat terhidrolisis kembali menjadi produk semula.

Peristiwa ini terjadi karena reaksi dapat berlangsung timbal balik. Air akan menggeser kesetimbangan ke arah reaktan sehingga reaktan kembali terbentuk. Oleh karena itu, produk yang dihasilkan akan berkurang. Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan kondisi optimum dari rasio metanol terhadap katalis yang telah didapatkan tadi yaitu 10:1 [5].

Reaksi yang dikatalisis oleh katalis ICS juga memiliki perbandingan mol methanol:PFAD optimum pada 10:1 dengan kondisi parameter suhu reaksi 75C, waktu reaksi 3 jam dan 2% massa katalis. Konversi FFA meningkat dengan meningkat jumlah metanol. Konversi mencapai nilai 90% pada variasi 5 sampai 10 dan meningkat dari 79,2% menjadi 94,7% dari konversi FFA, perbedaan konversi sekitar 15,5%. Konversi sedikit meningkat dari 95% menjadi 96,3% untuk rasio molar metanol 15,20,25. Ditemukan bahwa peningkatan lebih lanjut dari rasi molar metanol diatas 10 tidak signifikan meningkatkan konversi FFA. Keberanjutan konversi FFA mungkin karena efek pembentukan air selama esterifikasi FFA dan mungkin juga sebagian air dalam metanol komersial. Karena itu, rasio mol metanol terendah yang memberikan konversi FFA lebih dari 90% adalah 10, maka dipilih sebagai nilai optimal dan digunakan untuk penelitian selanjutnya [6].

Reaksi yang dikatalisi oleh katalis PKS dan Bambu memiliki perbandingan mol methanol:PFAD optimum pada 15:1 dengan kondisi parameter suhu reaksi 80 °C, waktu reaksi 4 jam, 4% massa katalis. PKS-SO₃H dan Bambu-SO₃H katalis menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam konversi PFAD ketika rasio molar dari rasio molar metanol-ke-PFAD meningkat dari 5: 1 menjadi 15: 1. Namun demikian, tidak ada kenaikan signifikan dalam konversi FFA ketika rasio molar metanol ke PFAD meningkat menjadi 25: 1. Dilaporkan bahwa kelebihan metanol hingga tingkat optimal cenderung meningkatkan difusi dan miscibilitas antara metanol dan minyak. Di dalam studi, 15: 1 dipilih sebagai kondisi optimal untuk metanol Rasio molar PFAD, karena tidak ada kenaikan signifikan dalam konversi FFA ketika rasio molar semakin meningkat [1].

Pada reaksi yang dikatalisi oleh katalis AC-Fe memiliki perbandingan mol methanol:PFAD paling tinggi pada kondisi optimum 16:1 dengan kondisi parameter lain suhu reaksi 60C, waktu reaksi 1 jam, 4% massa katalis. Konversi FFA yang tinggi dicapai setelah waktu reaksi 1 jam menggunakan AC-Fe-SO₃Cl ketika rasio metanol/ PFAD meningkat dari 3:1 menjadi 16:1. Disarankan bahwa penggunaan sejumlah besar metanol muncul untuk meningkatkan miscibility diantara metanol:PFAD, dan pada saat yang sama mempercepat reaksi esterifikasi dan mempercepat reaksi kearah produk [6].

Sedangkan pada reaksi yang dikatalisis oleh katalis glukosa memiliki perbandingan mol methanol:PFAD paling rendah pada kondisi optimum 9:1 dengan kondisi parameter lainnya suhu reaksi 65C,waktu reaksi 1 jam dan 2,5% massa katalis. Peningkatan rasio molar 6:1 hingga 9:1 mengakibatkan peningkatan presentase konversi juga mencapai >96%.

Meningkatnya rasio molar diatas 9:1 tidak memberi peningkatan yang signifikan pada produksi FAME. Oleh karena itu, persentase konversi optimum terjadi pada 9:1 [7].

III. KESIMPULAN

Kondisi optimum untuk reaksi esterifikasi PFAD dari katalis ICG-SO₃H dicapai pada waktu 2 jam, suhu 75°C, rasio mol metanol terhadap PFAD 10:1 dan massa katalis terhadap PFAD 2,5%. Pada kondisi ini dihasilkan konversi FFA 95,4% dan FAME 92,3%. Kinerja katalis yang disiapkan dan pengaruh kondisi operasi terhadap esterifikasi PFAD adalah diselidiki. Terungkap bahwa, konversi FFA dan FAME hasil masing-masing mencapai 94,6% dan 90,4% pada saat berikut kondisi reaksi: jumlah katalis ICS-SO₃H 2 wt.%, rasio molar metanol-ke-PFAD 10: 1, suhu reaksi 75 C dan waktu reaksi 3 jam. Katalis AC-Fe-SO₃Cl menunjukkan sifat stabilitas termal yang baik pada kondisi reaksi massa AC-Fe-SO₃Cl 4wt% dan perbandingan molar metanol:PFAD 16:1 pad suhu 100C selama 3 jam dihasilkan konversi biodiesel 98%. Katalis PKS-SO₃H dan Bambu-SO₃H memiliki potensi dalam menginduksi laju rekasi dengan konversi PFAD mencapai 90% dibawah kondisi optimum yaitu massa katalis 4%, perbandingan molr metanol:PFAD 15:1, suhu reaksi 65C selama 1jam. Pada katalis glukosa tersulfonasi didapatkan konversi biodiesel 97,1% pada kondisi optimum yaitu frekuensi osilasi 6Hz, rasio molar metanol:PFAD 9:1, suhu rekasi 60C dan waktu reaksi 50 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Kalmar Nizar, M.Si., Ph.D sebagai panduan saya untuk bimbingan dan saran dalam studi saya dan kepada pihak laboratorium kimia, Departemen kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang untuk memberikan dukungan penelitian ini.

REFERENSI

1. Farabi, M. S. A., Ibrahim, M. L., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2019). Esterification of palm fatty acid distillate using sulfonated carbon-based catalyst derived from palm kernel shell and bamboo. *Energy Conversion and Management*, 181(December 2018), 562–570. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.033>
2. Ibrahim, N. A., Rashid, U., Taufiq-Yap, Y. H., Yaw, T. C. S., & Ismail, I. (2019). Synthesis of carbonaceous solid acid magnetic catalyst from empty fruit bunch for esterification of palm fatty acid distillate (PFAD). *Energy Conversion and Management*, 195(May), 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.022>
3. Shu, Q., Gao, J., Nawaz, Z., Liao, Y., Wang, D., & Wang, J. (2010). Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbon-based solid acid catalyst. *Applied Energy*, 87(8), 2589–2596.
4. Bureros, G. M. A., Tanjay, A. A., Cuizon, D. E. S., Go, A. W., Cabatingan, L. K., Agapay, R. C., & Ju, Y. H. (2019). Cacao shell-derived solid acid catalyst for esterification of oleic acid with methanol. *Renewable Energy*, 489–501.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.082>

5. Lokman, Ibrahim M., Umer Rashid, and Yun Hin Taufiq-Yap. 2016. "Meso- and Macroporous Sulfonated Starch Solid Acid Catalyst for Esterification of Palm Fatty Acid Distillate." *Arabian Journal of Chemistry* 9 (2): 179–89. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.06.034>.
6. Lokman, Ibrahim M., Umer Rashid, Yun Hin Taufiq-Yap, and Robiah Yunus. 2015. "Methyl Ester Production from Palm Fatty Acid Distillate Using Sulfonated Glucose-Derived Acid Catalyst." *Renewable Energy* 81: 347–54. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.03.045>.
7. Kefas, H. M., Yunus, R., Rashid, U., & Taufiq-Yap, Y. H. (2018). Modified sulfonation method for converting carbonized glucose into solid acid catalyst for the esterification of palm fatty acid distillate. *Fuel*, 229(November 2017), 68–78. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.014>