Review: Penerapan Nanoteknologi Untuk Produksi Biodesel

Hawazin[1], Daliilah Haniifah Azhaar[2], Dany Satrio Priandoyo[3], Rosi Pratiwi[4], Hasibur Rasyid Juniawan[5] dan Yustia Wulandari Mirzayanti[6]

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2,3,4,5,6]

e-mail: hawaziinn@gmail.com[1], daliilahha@gmail.com[2], danypriandoyo@gmail.com[3], rosipratiwi308@gmail.com[4], hasibur.rasyid@gmail.com[5] dan yustiawulandari_che@gmail.com[6]

ABSTRACT

In the current era, the application of nanotechnology and nano materials has attracted attention in various fields of study due to their appealing qualities. Global research emphasizes the use of nanotechnology and nano materials in the process and production of biodiesel. Efforts to accelerate the progress and development of biodiesel production have focused on the application of advanced nanotechnology for maximum results with efficient costs. This article will discuss the use of various nano materials/nano-catalysts for biodiesel synthesis from various raw material variations and will also emphasize the application of nano materials in algae cultivation and lipid extraction as an integral part of biodiesel production. Furthermore, this review will thoroughly examine the potential human safety and environmental impacts that may arise from large-scale biodiesel production based on nanotechnology. Therefore, it is expected that this paper will provide in-depth insights for future producers, researchers, and academics, highlighting the extent to which research in biodiesel production assisted by nanotechnology and nano materials can enhance efficiency, while considering the inherent safety and environmental impact aspects.

Keywords: *Biodiesel, nanotechnology, nano-catalysts, algae.*

ABSTRAK

Dalam era saat ini, penerapan nanoteknologi dan material nano telah menarik perhatian dalam berbagai bidang studi berkat kualitasnya yang menarik. Globalisasi penelitian menitikberatkan penggunaan nanoteknologi dan material nano dalam proses dan produksi biodiesel. Upaya untuk mempercepat kemajuan dan pengembangan produksi biodiesel telah difokuskan pada penerapan nanoteknologi canggih demi hasil maksimal dengan biaya yang efisien. Dalam artikel ini akan dibahas penggunaan berbagai bahan nano/nanokatalis untuk sintesis biodiesel dari berbagai variasi bahan baku, artikel ini juga akan menekankan penerapan bahan nano dalam budidaya alga dan ekstraksi lipid sebagai bagian integral dari produksi biodiesel. Selain itu, tinjauan ini akan secara menyeluruh memeriksa dampak keselamatan manusia dan lingkungan yang mungkin timbul akibat produksi biodiesel dalam skala besar yang didasarkan pada nanoteknologi. Oleh sebab itu, diharapkan makalah ini memberikan wawasan mendalam bagi produsen, peneliti, dan akademisi ke depan, menyoroti sejauh mana penelitian dalam produksi biodiesel yang dibantu oleh nanoteknologi dan bahan nano dapat meningkatkan efisiensinya, sambil tetap mempertimbangkan aspek keselamatan dan dampak lingkungan yang melekat.

Kata kunci: Biodiesel, nanoteknologi, nanokatalis, alga.

PENDAHULUAN

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk sehingga kebutuhan energi global juga semakin meningkat. Pada tahun 2035 diprediksi penggunaan sumber energi akan meningkat sebesar dua kali lipat, dan pada tahun 2055 penggunaan sumber energi akan meningkat sebesar tiga kali lipat. Sehingga di tahun 2050 diperkirakan seluruh sumber bahan bakar fosil akan habis. Permasalahan terkait Gas rumah kaca dan suhu bumi merupakan kerusakan alam akibat penggunaan bahan bakar fosil. Sehingga diperlukan alternatif lain sebagai pengganti penggunaan bahan bakar dari fosil [1]. Biodiesel merupakan salah satu energi sebagai bahan bakar terbarukan yang saat ini menarik banyak perhatian. Biodiesel dapat dibuat dengan menggunakan metode transesterifikasi dimana trigliserilida direaksikan dengan alcohol dengan penambahan katalis untuk mengahasilkan biodiesel dan gliserol. Untuk memproduksi biodiesel dapat menggunakan katalis dengan partikel berukuran nano. Luas permukaan nanokatalitis yang tinggi dapat menguntungkan untuk reaksi transesterifikasi, hal tersebut dapat meningkatkan kinerja katalitik dan ketahanan terhadap saponifikasi. Ukuran partikel Katalis merupakan salah satu parameter yang penting untuk produksi biodiesel. Penggunanaan nanokatalis yang memiliki luas permukaan sangat tinggi dapat

ISSN 2775-5630

meningkatkan akrtivitas katalitik suatu katalis sehingga dapat mempercepat laju reaksi pada produksi biodiesel.

Nanokatalis bermanfaat pada proses esterifikasi, diantaranya dihasilkan waktu reaksi yang lebih cepat dan singkat, dan pemisahan lebih cepat [2]. Beberapa penelitian mengatakan bahwa sifat pembakaran suatu bahan bakar cair dapat ditingkatkan sebagai pembawa energi tambahan dengan menambahkan nanopartikel ke dalamnya. Dalam beberapa tahun terakhir nanoteknologi menjadi perhatian. Bidang Nanoteknologi dapat dicirikan sebagai pengembangan berskala molekuler yang berukuran beberapa nanometer lebarnya dimana ukuranya jauh lebih kecil dari sel. Nanopartikel (NP) rekayasa dapat digunakan diberbagai industri contohnya pada bidang farmasi, kosmetik, makanan, kristal fotonik, ilmu material dan produksi tanaman. Biaya untuk memproduksi biodiesel dapat diperkirakan menurun saat menggunakan bidang nanoteknologi [2]. Penggunaan katalis nanopartikel untuk biodiesel yang saat ini popular contohnya seperti *carbon nanotube* (CNT), *graphene*, dan *graphene oxide* (GO) [2].

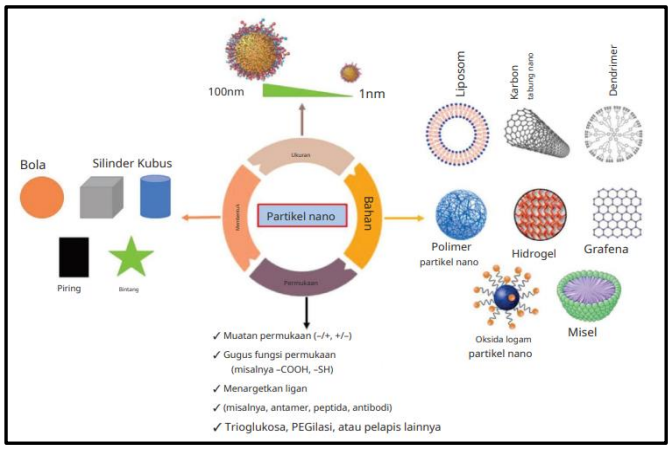
TINJAUAN PUSTAKA

Nanoteknologi

Pemanfaatan nanoteknologi dan material nano dalam penelitian biodiesel telah menjadi alat yang efektif untuk meningkatkan kualitas produksi dengan biaya yang terjangkau. Berkat ukurannya yang kecil dan karakteristik khususnya, seperti rasio luas permukaan yang tinggi terhadap volume, kristalinitas yang besar, aktivitas katalitik, kapasitas adsorpsi, dan stabilitas, nanopartikel (NP) memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode produksi biodiesel konvensional. Nanotube karbon dan nanopartikel oksida logam, dengan fitur tambahan yang mendukung potensi pemulihan yang tinggi, seringkali digunakan sebagai nanokatalis dalam produksi biofuel dan biodiesel. Penerapan nanoteknologi dalam pembuatan dan peningkatan biodiesel menjanjikan hasil yang lebih efisien dan berkualitas.

Mikroalga

Mikroalga menjadi bahan baku yang menjanjikan dalam pembuatan biodiesel. Berbagai nanopartikel dapat secara efisien meningkatkan proses pemanenan mikroalga, sementara penggunaan kembali bahan nano dan integrasi pemanenan, gangguan, dan ekstraksi sel membantu mengurangi biaya. Selain itu, sejumlah nanokatalis memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi konversi biodiesel. Meskipun demikian, peningkatan efisiensi pembakaran dan pengurangan emisi berbahaya telah menjadi fokus penelitian utama dalam industri mesin dan bidang terkait. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan aditif nano ke campuran bahan bakar diesel-biodiesel memberikan hasil yang mengesankan. Investigasi lebih lanjut pada nanopartikel menunjukkan peran penting nanoaditif dalam meningkatkan efisiensi mesin pembakaran internal dan mengurangi emisi polutan berbahaya. Berikut adalah klasifikasi nanopartikel.



Gambar 1. Klasifikasi Nanopartikel Berdasarkan Atribut Fisiknya [1]

Pada Gambar 1 memperlihatkan berbagai klasifikasi nanopartikel berdasarkan permukaan, bahan, ukuran, dan struktur. Berdasarkan asal usul dan unsur kimia dasar penyusun strukturnya, nanopartikel dapat dikategorikan sebagai berbasis karbon, organik, anorganik, atau berbasis komposit. Nanopartikel berbasis karbon dapat terbentuk dari rantai panjang atom karbon dalam konfigurasi unik, seperti bulat pada fullerene, kisi sarang lebah pada tabung nano karbon, atau berbentuk kerucut pada serat nano karbon. Di sisi lain,

ISSN 2775-5630

nanopartikel organik bersifat biodegradable, non-toksik, dan sering digunakan dalam industri medis sebagai sistem penghantaran obat, antioksidan, dan sebagainya.

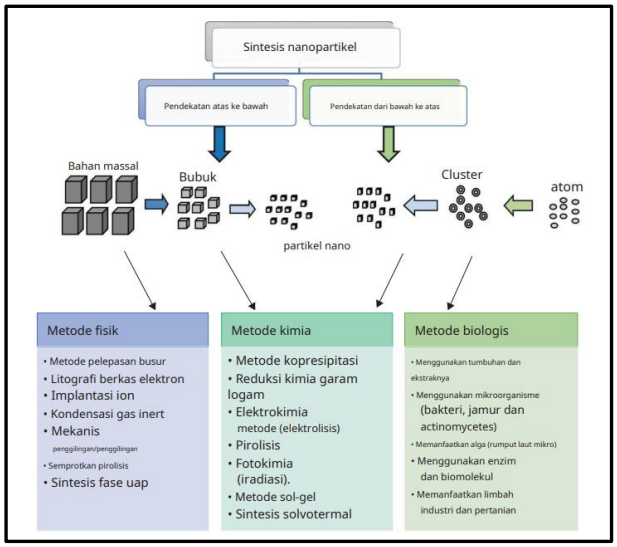
Elemen inti dari industri penelitian nanoteknologi yang sedang berkembang dikenal sebagai nanopartikel. Nanopartikel ini hadir dalam berbagai bentuk, termasuk silinder, bola, datar, kerucut, dan tabung, dengan diameter bervariasi antara 1 dan 100 nm. Keberagaman nanopartikel mencakup bentuk amorf atau kristal, susunan rapat atau longgar, dan dapat terdiri dari satu atau banyak padatan kristal. Selain itu, nanopartikel dapat ada dalam keempat dimensi, yaitu nol, satu, dua, dan tiga dimensi. Peneliti telah mengidentifikasi potensi nanopartikel sebagai bahan tambahan berkat dampak signifikan mereka terhadap proses penyalaan dan pembakaran bahan bakar dasar.

Karakteristik Nanopartikel

Karakteristik nanopartikel logam dan oksida logam dalam bidang mesin CI menawarkan sifat yang lebih menguntungkan. Termasuk dalam kategori nanopartikel anorganik, mereka memiliki kemampuan untuk meningkatkan reaktivitas, mempercepat laju penguapan dengan berperan sebagai buffer oksigen, serta meningkatkan nilai kalor, konduktivitas termal, dan viskositas bahan bakar dasar. Peningkatan karakteristik termofisik bahan bakar terjadi karena penggunaan nanopartikel sebagai bahan tambahan untuk mesin CI. Struktur nanonya memberikan nanopartikel rasio permukaan terhadap volume yang lebih baik, sebuah ciri khas yang diinginkan untuk campuran dalam mesin CI karena memberikan permukaan reaktif yang lebih besar untuk reaksi kimia dan pembakaran.

Faktor Yang Mempengaruhi Sintesis Nanopartikel

Berbagai faktor memengaruhi sintesis nanopartikel, termasuk produksi, karakterisasi, dan penggunaannya. Berdasarkan beberapa penelitian, sifat nanopartikel yang dihasilkan dapat mengalami perubahan tergantung pada aktivitas adsorbat dan katalis yang digunakan selama proses sintesis. Dalam beberapa situasi, karakter dinamis nanopartikel yang dihasilkan telah dijelaskan dengan jelas. Tipe gejala dan dampaknya dapat mengalami perubahan seiring waktu dan perubahan lingkungan. Selain itu, beberapa variabel krusial lainnya mungkin memengaruhi cara sintesis nanopartikel dilakukan. Variabel-variabel tersebut meliputi tingkat pH, suhu, konsentrasi ekstrak, konsentrasi bahan baku, ukuran, dan proses. Beberapa faktor utama yang memengaruhi proses sintesis nanopartikel akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian selanjutnya. Berikut adalah gambar mengenai skema pendekatan dan metode berbeda untuk mensintesis nanopartikel **(Gambar 2)**.

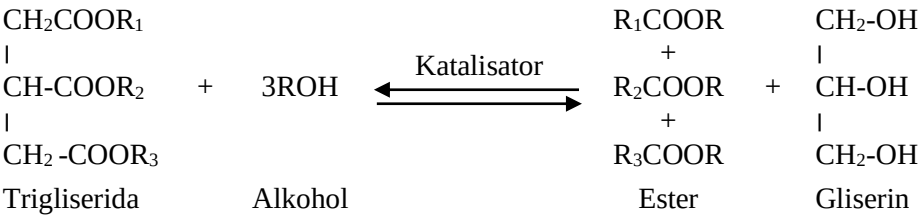


Gambar 2. Perbedaan Metode Sintesis Nanopartikel [1]

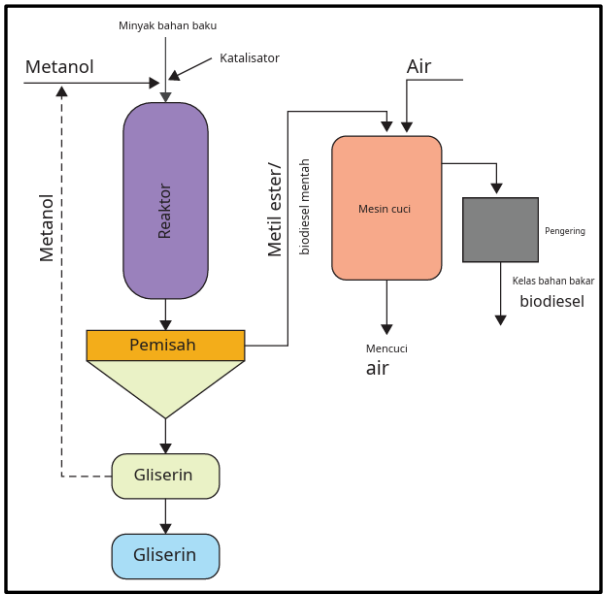
METODE

Metode untuk memproduksi biodiesel antara lain adalah mikroemulsi, perengkahan termal, pirolisis dan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi pada produksi biodiesel dilakukan dengan mereaksikan trigliserida bereaksi alcohol dan dengan adanya katalis untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol. Berbagai jenis alcohol dapat digunakan untuk membuat biodiesel seperti methanol atau metil alcohol, etanol, propanol, dan iso-butanol. Pada proses ini menggunakan methanol karena harga relatif murah,

sehingga methanol lebih banyak digunakan dibandingkan dengan alkohol. Reaksi transesterifikasi dapat diilustrasikan dengan terjadinya reaksi kimia antara trigliserilida atau minyak dengan 3 mol alkohol, dimana trigliserilida tersebut berubah menjadi gliserol (produk samping) dan FAME atau biodiesel sebagai produk utama. Berikut reaksi transesterifikasi yang terjadi:



Skema proses biodiesel dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3. Skema Proses Pembuatan Biodiesel [1]

Lemak hewani, minyak mikroalga, minyak jelantah atau minyak nabati sisa, dan minyak nabati dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel yang dapat mencapai hinga 70% dari total biaya ekstraksi tergantung dari sumber minyaknya. Sehingga dalam memproduksi biodiesel pemilihan sumber minyak sangatlah penting. Menurut penelitian minyak mikroalga dapat dijadikan sebagai bahan sumber minyak untuk memproduksi biodiesel dengan efisiensi tinggi. Cahaya, pH, suhu, dan nutrisi mempunyai pengaruh besar terhadap produksi biodiesel. Penggunaan nanoteknologi untuk katalis hetrogen menarik untuk digunakan sebagai produksi biodiesel. Peneliti telah banyak menggunakan nanokatalis heterogen seperti CaO, MgO, $CuFe_2HA_{I4}$/CaO, karbon aktif, dan KF/CaO. Jenis nanokatalis ini telah menunjukkan hasil produksi biodiesel yang tinggi dibandingkan dengan katalis basa homogen, enzimatik, dan asam. BCY atau hasil konversi biodiesel dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$BC\tilde{O}\eth 5\frac{Biodiesel}{Berat\ minyak}3100 \quad \text{.....} \quad (1)$$

Metode transesterifikasi biodiesel dg menggunakan nanokatalis dapat diterapkan dengan menggunakan sumber minyak yang berasal dari minyak nabati, limbah minyak, lemak hewani, minyak mikroalga. Berikut ringkasan produksi biodiesel dari minyak nabati menggunakan nanokatalis yang berbeda:

Tabel 1. Hasil Konversi Biodiesel Dari Minyak Nabati Menggunakan Nanokatalis [2]

Nanokatalis	***Feedstock***	**MOR**	**Suhu (°C)**	**Konten Katalis (wt.%)**	**Waktu (h)**	**BCY (%)**
KOH/AL_2O_3	*Palm oil*	70	15:1	3-6	3	91,07
Lipozyme TLIM *nanocatalyst and magnetic catalyst*	*Rapeseed oil*	35	4:1	3	12	95

Nanokatalis	***Feedstock***	**MOR**	**Suhu (ºC)**	**Konten Katalis (wt.%)**	**Waktu (h)**	**BCY (%)**
KF/CaO	*Tallow seed oil*	65	12:1	4	2	96,8
Li/ZnO-Fe_3O_4	*Rapeseed oil*	35	12:1	0,8	0,58	99,8
Li/Fe_3O_4	*Rapeseed oil*	35	12:1	0,8	0,58	99,8
CaO/Al/ Fe_3O_4	*Rapeseed oil*	-	15:1	6	3	98,71
CaO-CeO_2	*Refined palm oil*	85	20:1	5	3	95
CaO-Al_2O_3	*Palm oil*	65	12:1	6	5	98,64
CaO-La_2O_3	*Jatropha curcas oil*	65	24:1	4	6	86,51
MgO	*Moringa*	45	12:1	1	4	93,69
MgO/CaO	*seeds oil*	75	7:1	3	6	98,95
CaO-MgO	*Jatropha curcas oil*	120	25:1	3	3	90
CaO-ZnO	*Sunflower oil*	60	12:1	3	0,75	>90
CaO-La_2O_3	*Soybean oil*	58	20:1	5	1	94,3
CaO-ZnO	*Sunflower oil*	60	10:1	2	4	97,5
KF-CaO-Fe_3O_4	*Stillingia oil*	65	12:1	4	3	>95
MgO-ZnO	*Jatropha curcas oil*	120	25:1	3	3	83
LaMgO	*Cottonseed oil*	65	54:1	5	0,33	96
MgAlCe	*Soybean oil*	67	9:1	5	3	>90
Sr-MgO	*Refined palm oil*	60	6:1	3	1,25	96
Ni-doped ZnO	*Castor oil*	55	8:1	11	1	95,2
ZrO_2-*loaded with* $C_4H_4O_6HK$	*Soybean oil*	60	16:1	6	2	98,03
CaO	*Bombax ceiba oil*	65	10.37:1	1,5	1,1	96,2
CaO	*Jatropha oil*	65	5.15:1	0,02	2,22	98,54
MgO-La_2O_3	*Sunflower oil*	65	18:1	-	5	97,7
MgO/$MgFe_2O4$	*Sunflower oil*	110	12:1	4	4	91,2
Copper-doped zinc oxide	*Neem oil*	55	10:1	10	1	97,18
CaO	*Crude Jatropha oil*	-	5.15:1	0,02	2,22	98,45

Berikut metode transesterifikasi biodiesel dari minyak jelantah menggunakan nanokatalis yang berbeda:

Tabel 2. Hasil Konversi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Nanokatalis [2]

Nanokatalis	***Feedstock***	**MOR**	**Suhu (ºC)**	**Konten Katalis (wt.%)**	**Waktu (h)**	**BCY (%)**
KOH	*Waste cottonseed oil*	9:05	57,31	0,99	1,28	96,33
NaOH	*Waste cottonseed oil*	6:1	60	1	1,5	85
NaOH	*Waste cottonseed oil*	7:1	60	1,1	0,33	88,8
Eggshell	*Waste cottonseed oil*	9:1	65	5	2,75	87,8
SO4/Fe-Al-TiO_2	*Cooking oil*	10:1	90	3	2,5	96
MgO	*Waste cottonseed oil*	24:1	65	2	1	93,3
SO_4/Mg-Al-Fe_3O_4	*Waste cottonseed oil*	9:1	95	4	5	98,5

Nanokatalis	***Feedstock***	**MOR**	**Suhu (°C)**	**Konten Katalis (wt.%)**	**Waktu (h)**	**BCY (%)**
CaO-NiO	*Waste cottonseed oil*	15:1	65	5	4	99
CaO-ZrO_2	*Waste cottonseed oil*	30:1	65	10	2	92,1
CaO	*Waste cottonseed oil*	8:1	50	1	1,5	96
Copper/zinc oxide	*Waste cottonseed oil*	8:1	55	12	0,833	97,71
TiO_2-MgO	*Waste cottonseed oil*	30:1	150	5	6	85
$TiO_2/PrSO_3H$	*Waste cottonseed oil*	15:1	60	4,5	9	98,3
Sr-Al *double oxides*	*Waste cottonseed oil*	5.5:1	60	0,9	0,45	99,4

Berikut metode transesterifikasi biodiesel dari minyak lemak hewan menggunakan nanokatalis yang berbeda:

Tabel 3. Hasil Konversi Biodiesel Dari Lemak Hewan Menggunakan Nanokatalis [2]

Nanokatalis	***Feedstock***	**MOR**	**Suhu (°C)**	**Konten Katalis (wt.%)**	**Waktu (h)**	**BCY (%)**
MgO	*Goat fat*	12:1	70	1	3	93,12
CaO	*Chicken oil*	9:1	65	1	5	94,4
$CaO/CuFe_2O_4$	*Chicken oil*	15:1	70	3	4	94,52
$CaO/CuFe_2O_4$@AC	*Chicken oil*	12:1	65	3	4	95,6
Lithium ions-supported MgO	*Mutton fat*	12:1	-	5	0,66	99
Nanocrystalline CaO	*Poultry fat*	70:1	23-25	1	6	100
$KF/CaO-Fe_3O_4$	*Beef tallow*	10:1	55	5	1	94
Nanosulfated zirconia	*Waste sheep fat*	15:1	65	8	5	98,7
Sr-Al *double oxides*	*Lard oil*	5.5:1	50	0,9	0,75	99,7
$Cs/Al/Fe_3O_4$	*Tallow oil*	12:1	60	3	1	97
$Fe-Mn-SO_4/ZrO_2$	*Tannery waste*	12:1	65	6	5	96,6

Berikut metode transesterifikasi biodiesel dari minyak mikroalga menggunakan nanokatalis yang berbeda:

Tabel 4. Kandungan Minyak Dari Mikroalga [2]

Mikroalga	Kandungan Minyak (% dry wt.)
Botryococcus braunii	25-75
Chlorella sp.	28-32
Crypthecodinium cohnii	20
Cylindrotheca sp.	16-37
Dunaliella primolecta	23
Isochrysis sp.	25-33
Monallanthus salina	20
Nannochloris sp.	20-35
Nannochloropsis sp.	31-68
Neochloris oleoabundans	35-54
Nitzschia sp.	45-47
Phaeodactylum tricornutum	20-30
Schizochytrium sp.	50-77
Tetraselmis sueica	15-23

ISSN 2775-5630

Tabel 5. Hasil Konversi Biodiesel Dari Minyak Mikroalga Menggunakan Nanokatalis [2]

Nanokatalis	MOR	Suhu (°C)	Konten Katalis (wt.%)	Waktu (h)	BCY (%)
Nano $Ca(OCH_3)_2$ (*calcium methoxide*)	30:1	80	3	3	99
Mn-ZnO *capped with poly rthylene glycol*	15:1	60	3,5	4	87,5
CaO *from hen eggs*	-	-	1,7	3,6	86.41
Waste-based calcium oxide	11:1	60	2	3	92

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ringkasan penerapan nanokatalis untuk produksi biodiesel dengan metode transesterifikasi dapat menggunakan sumber dari minyak nabati, limbah minyak, lemak hewani, minyak mikroalga. Berdasarkan hasil dari (**Tabel 1**), produksi biodiesel dari minyak nabati sebagian besar BCY (Hasil Konversi Biodiesel) di atas 95%, yang menggambarkan BCY hasil paling tinggi menggunakan nanokatalis. Produksi biodiesel mayoritas dilaksanakan pada suhu maksimun 65°C. Berdasarkan hasil dari (**Tabel 2**), biodiesel yang bersumber dari minyak jelantah yang menggunakan nanokatalis heterogen dan beberapa katalis homogen, BCY diperoleh dengan menggunakan katalis basa homogen KOH dan NaOH lebih sedikit dibandingkan dari katalis nano menunjukkan hasil biodiesel yang tinggi menggunakan katalis jenis ini. Berdasarkan hasil dari (**Tabel 3**), masih sedikit penelitian memanfaatkan sumber lemak hewani untuk produksi biodiesel yang menggunakan nanokatalis dibandingkan dengan biodiesel yang berasal dari minyak nabati. Hasil biodiesel yang tinggi diperoleh dengan pengggunaan nanokatalis kisaran sebesar 94-100%. Mikroalga berpotensi sebagai bahan baku penghasil biodiesel, dimana mikroalga dapat tumbuh dengan cepat dan memiliki kandungan minyak yang tinggi. Berdasarkan hasil dari (**Tabel 4**) menunjukan hasil BCY diperoleh di bawah 90%, dimana BCY rendah dibandingkan dengan bahan baku lainya.

Untuk menerapkan proses reaksi dalam skala besar, perlu dilakukan pengembangan teknologi guna mengurangi resistensi perpindahan massa, mengurangi konsumsi energi, dan maksimalkan penggunaan produk sampingan. Cakupan untuk menjaga kondisi reaksi optimal semakin luas, sehingga memungkinkan produksi biodiesel yang lebih besar dengan memanfaatkan nanoteknologi. Peningkatan popularitas teknik pembelajaran mesin berbasis data (ML) dalam sistem biodiesel didorong oleh biodiesel berkualitas tinggi, pengurangan biaya tenaga kerja dan energi, serta pengurangan penggunaan air dan bahan kimia [3]. Oleh karena itu, konsentrasi dan ukuran nanokatalis yang optimal dapat dioptimalkan secara efisien melalui pendekatan ML. Selain itu, saat ini hanya sedikit penelitian yang telah dilakukan mengenai penggunaan nanopartikel (NP) sebagai bahan tambahan bahan bakar, dan diperlukan metode baru untuk mengatasi masalah seperti agregasi nanopartikel, erosi, dan pengendapan. Menangani nanopartikel yang tidak terbakar di knalpot menjadi lebih sulit dengan adanya penambahan nano pada biodiesel. Oleh karena itu, upaya dilakukan untuk mengembangkan filter yang mampu menghilangkan nanoaditif yang tidak terbakar dari knalpot kendaraan diesel. Penting untuk menginvestigasi dampak pada kualitas udara setelah aditif nanopartikel dibakar di dalam mesin. Beberapa metode telah digunakan untuk menyelidiki toksisitas nanopartikel, terutama melibatkan pemeriksaan nanotoksisitas in vitro [4]. Namun, perlu eksplorasi lebih lanjut terhadap interaksi in vivo, dengan penekanan khusus pada nanopartikel yang digunakan dalam biodiesel.

Dampak eksposisi terhadap nanopartikel pada manusia dan lingkungan diperkirakan akan mengalami peningkatan penggunaan yang signifikan di beberapa wilayah. Sehubungan dengan hal ini, muncul bidang baru yang disebut nanotoksisitas, yang mengalami perkembangan baru-baru ini, dengan fokus utama pada risiko yang diakibatkan oleh nanopartikel terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Karena permukaan nanopartikel dapat berperan sebagai katalis nano dan ukurannya cukup kecil untuk dapat mencapai sel manusia, reaksi ini berpotensi menimbulkan berbagai konsekuensi berbahaya pada jaringan manusia. Selain itu, sebagian besar nanopartikel terdiri dari logam, yang sudah dikenal sebagai substansi yang sangat berbahaya bagi organ tertentu dan dapat dengan mudah terakumulasi secara biologis dalam tubuh manusia [5]. Manusia paling banyak terpapar oleh nanopartikel melalui konsumsi, penyerapan, atau kontak langsung dengan kulit. Dengan menggunakan salah satu metode tersebut, nanopartikel dapat masuk ke dalam sirkulasi darah dan menuju ke berbagai organ di dalam tubuh, menyebabkan efek berbahaya yang sangat

ISSN 2775-5630

dipengaruhi oleh tingkat aktivitas, ukuran, dan konsentrasi dari organ tersebut. Organ-organ seperti ginjal, paru-paru, dan hati cenderung memiliki tingkat akumulasi yang tinggi [6].

KESIMPULAN

Biodiesel telah menjadi fokus utama dalam komunitas ilmiah karena memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Sebagai bentuk bioenergi terbarukan, biodiesel berpotensi mengubah industri transportasi dan menjadi alternatif yang menarik untuk bahan bakar diesel konvensional. Pengembangan nanokatalis yang menggunakan berbagai bahan nano telah terbukti sangat berperan dalam industri biodiesel, mengatasi sebagian besar kelemahan katalis homogen dan heterogen konvensional. Nanokatalis yang memiliki kualitas luar biasa seperti reaktivitas tinggi, peningkatan kinerja katalitik, selektivitas, kelayakan ekonomi, dan ramah lingkungan, semakin menjadi faktor kunci dalam produksi biodiesel. Sebagai contoh, nanokatalis berbahan dasar logam, karbon, bahan magnetik, nanoferit, *nanoclays*, dan lainnya dapat digunakan untuk meningkatkan produksi biodiesel dari berbagai bahan baku.

Perkembangan dan implementasi terkini nanoteknologi dan material nano dalam produksi biodiesel serta peningkatan propertinya. Imobilisasi enzim dapat meningkatkan aktivitas dan stabilitasnya, yang pada gilirannya meningkatkan output biodiesel. Nanokatalis memainkan peran penting dalam proses transesterifikasi, yang merupakan langkah kunci dalam produksi biodiesel. Teknologi nano juga dapat memberikan manfaat bagi budidaya alga heterotrofik dengan meningkatkan akumulasi lipid. Penerapan nanoteknologi dalam gangguan sel dan ekstraksi lipid dari alga juga menjadi prospek menarik. Untuk meningkatkan efisiensi mesin diesel, penambahan nanofluida ke campuran diesel-biodiesel dapat meningkatkan penguapan, mengurangi penundaan penyalaan, meningkatkan suhu nyala api, dan mempertahankan nyala api dalam jangka waktu yang lebih lama. Kombinasi biodiesel dengan nanoaditif dapat menjadi solusi untuk masalah emisi seperti karbon monoksida, hidrokarbon, NOx, pembakaran, dan penguapan.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. Bin Rashid, A. (2023). *Utilization of nanotechnology and nanomaterials in biodiesel production and property enhancement*. Journal of Nanomaterials, 2023, 1-14.
[2]. Esmaeili, H., Nourafkan, E., Nakisa, M., & Ahmed, W. (2021). *Application of nanotechnology for biofuel production*. In Emerging nanotechnologies for renewable energy (pp. 149-172). Elsevier.
[3]. Islam, S., Basumatary, B., Rokhum, S. L., Mochahari, P. K., & Basumatary, S. (2022). *Advancement in the utilization of nanomaterials as efficient and recyclable solid catalysts for biodiesel synthesis*. Cleaner Chemical Engineering, 100043.
[4]. Bidir, M. G., Millerjothi, N. K., Adaramola, M. S., & Hagos, F. Y. (2021). *The role of nanoparticles on biofuel production and as an additive in ternary blend fuelled diesel engine: A review*. Energy Reports, 7, 3614-3627.
[5]. Chandel, H., Kumar, P., Chandel, A. K., & Verma, M. L. (2022). *Biotechnological advances in biomass pretreatment for bio-renewable production through nanotechnological intervention*. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-23.
[6]. Ingle, A. P., Chandel, A. K., Philippini, R., Martiniano, S. E., & da Silva, S. S. (2020). *Advances in nanocatalysts mediated biodiesel production: a critical appraisal*. Symmetry, 12(2), 256.