

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Krisis Energi di Indonesia dan Penanggulangannya

Indonesia saat ini, nampaknya sedang mengalami krisis energi , yaitu solar, premium, minyak tanah, gas bumi dan listrik krisis energi ini di sebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Naiknya harga minyak dunia, menyebabkan beban APBN bertambah berat karena harus mengalokasikan sejumlah dana untuk mensubsidiBBM.
2. Borosnya penggunaan BBM. Semakin banyaknya jumlah kendaraan dijalan raya, akhirnya menimbulkan kemacetan, yang hampir terjadi setiap hari kemacetan tersebut menyebabkan terjadinya pemborosan BBM.
3. Adanya peluang korupsi dalam pengolahan minyak dan gas.

Dampak yang ditimbulkan karena krisis energi ini adalah kenaikan harga BBM yang menyebabkan naiknya biaya/ongkos dan terjadinya penimbunan serta pengolosan BBM. Karenanya, langkah untuk mencari alternatif energi baru perlu dilakukan dan sebaiknya disosialisasikan kepada masyarakat luas.

5 Alternatif energi baru tersebut antara lain:

1. Energi matahari.
2. Energi baterai.
3. Pembangkit listrik tenaga air.
4. Bahan bakar yang minyak yang dihasilkan dari pohon jarak.
5. Bahan bakar dengan metode injeksi.

Selain ramah lingkungan alternatif energi baru tersebut telah diterapkan di beberapa negara sehingga Indonesia dapat melakukan kerjasama dalam rangka menerapkan energi baru tersebut (Nurfitri, 2005).

2.2 Pengertian Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu alternatif bahan bakar minyak yang dapat diperoleh dari lemak tumbuhan dan hewan (Riviani, dkk., 2011). Biodiesel

merupakan monoalkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang terkandung dalam minyak nabati atau lemak hewani untuk digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Kandungan utama biodiesel adalah alkil ester asam lemak yang dihasilkan dari trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi dengan alkohol, biasanya digunakan metanol.

Biodiesel memiliki beberapa keuntungan tersendiri dibanding solar dalam aspek keamanan, biodegradabilitas, dan lingkungan berikut ini (Saifuddin dan Chua, 2004):

1. Bahan bakar terbarukan dengan keuntungan bersih energi untuk memproduksinya
2. Titik nyala lebih tinggi yang membuat lebih aman dalam pengangkutan dan penyimpanannya
3. Sangat mengurangi emisi partikulat dan karbon monoksida
4. Pada dasarnya tidak mengandung sulfur, sehingga sangat mengurangi emisi sulfur dioksida dari kendaraan diesel
5. Dapat terurai di tanah

Persyaratan mutu biodiesel di Indonesia sudah dilakukan dalam SNI-04-718-2006, yang telah disahkan dan diterbitkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) tanggal 22 Februari 2006. Persyaratan kualitas biodiesel disajikan dalam Tabel 1. Alasan mengapa biodiesel penting untuk dikembangkan antara lain:

1. Menyediakan pasar bagi kelebihan produksi minyak tumbuhan dan lemak hewan.
2. Biodiesel dapat diperbarui dan siklus karbonnya yang tertutup tidak menyebabkan pemanasan global.
3. Untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
4. Emisi yang keluar dari karbon monoksida, hidrokarbon yang tidak terbakar, dan partikulat dari biodiesel lebih rendah dibandingkan bahan bakar petrolum untuk diesel.
5. Bila ditambahkan ke bahan bakar diesel biasa dengan jumlah sekitar 1-2%, biodiesel ini dapat mengubah bahan bakar dengan kemampuan pelumas yang rendah, seperti *modern ultra low sulfur diesel fuel*, menjadi bahan bakar yang dapat diterima umum (Gerpen, 2004).

Tabel 1. Persyaratan Kualitas Biodiesel Menurut SNI-04-7182-2006

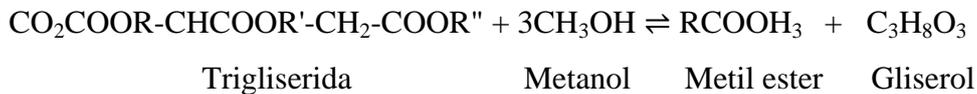
Parameter dan Satuan	Batas Nilai	Metode Uji	Metode Setara
Massa jenis pada 40°C, kg/m ³	850-890	ASTM D 1298	ISO 3675
Viskositas kinematic pada 40°C, mm ² /s (cSt)	2,3-6,0	ASTM D 445	ISO 3104
Titik nyala, °C	Min. 100	ASTM D 92	ISO 2710
Titik kabut, °C	Min. 18	ASTM D 2500	-
Angka setana	Min. 51	ASTM D 613	ISO 5165
Air dan sedimen, %-vol	Maks. 0,05	ASTM D 2709	-
Temperatur distilasi 90%, °C	Maks. 360	ASTM D 1160	-
Abu tersulfatkan, %-berat	Maks. 0,02	ASTM D 874	ISO 3987
Belerang, ppm-b (mg/kg)	Maks. 100	ASTM D 5453	prEN ISO 20884
Fosfor, ppm-b (mg/kg)	Maks. 10	AOCS Ca 12-55	FBI-A05-03
Angka asam, mg-KOH/g	Maks. 0,8	AOCS Cd 3-63	FBI-A01-03
Gliserol bebas, %-berat	Maks. 0,02	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Gliserol total, %-berat	Maks. 0,24	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
Kadar ester alkil, %-berat	Min. 96,5	-	FBI-A03-03

Sumber: Karnanim, 2010

2.3 Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi secara umum merupakan reaksi alkohol dengan trigliserida menghasilkan metil ester dan gliserol dengan bantuan katalis basa. Alkohol yang umumnya digunakan adalah metanol dan etanol. Reaksi ini cenderung lebih cepat membentuk metil ester dari pada reaksi esterifikasi yang menggunakan katalis asam. Namun, bahan baku yang akan digunakan pada reaksi transesterifikasi harus memiliki asam lemak bebas yang kecil (< 2 %) untuk menghindari pembentukan sabun. Produk yang dihasilkan selanjutnya dipisahkan

menggunakan dekanter. Biodisel yang terbentuk kemudian dicuci dengan air untuk menghilangkan sisa katalis dan metanol. Proses transesterifikasi dapat dilakukan secara *batch* atau kontinyu pada tekanan 1 atm dan suhu 50°C-70°C. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester adalah:



Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis, konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat (Hasahatan, dkk., 2012). Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Produk yang diinginkan dari reaksi transesterifikasi adalah ester metil asam-asam lemak. Terdapat beberapa cara agar kesetimbangan lebih ke arah produk, yaitu:

1. Menambahkan metanol berlebih ke dalam reaksi
2. Memisahkan gliserol
3. Menurunkan temperatur reaksi (transesterifikasi merupakan reaksi eksoterm)

Faktor utama yang mempengaruhi rendemen ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah:

1. Rasio molar antara trigliserida dan alkohol

Agar reaksi dapat bergeser ke arah produk, alkohol yang ditambahkan harus berlebih dari kebutuhan stoikiometrinya. Peningkatan alkohol terhadap trigliserida akan meningkatkan konversi tetapi menyulitkan pemisahan gliserol.

2. Jenis katalis yang digunakan

Penggunaan katalisator berguna untuk menurunkan tenaga aktivasi sehingga reaksi berjalan dengan mudah. Bila tenaga aktivasi kecil maka harga konstanta kecepatan reaksi bertambah besar. Ada tiga golongan katalis yang dapat digunakan yaitu asam, basa, dan enzim. Sebagian besar proses transesterifikasi komersial dijalankan dengan katalis basa, karena reaksinya berlangsung sangat cepat yaitu empat ribu kali lebih cepat dibanding dengan katalis asam.

3. Suhu reaksi

Transesterifikasi dapat dilakukan pada berbagai suhu, tergantung dari jenis trigliserida yang digunakan. Jika suhu semakin tinggi, laju reaksi akan semakin cepat.

4. Kandungan air dan asam lemak bebas

Terdapatnya air dalam trigliserida menyebabkan terjadinya reaksi saponifikasi yang dapat menurunkan tingkat efisiensi katalis. Jika kandungan asam lemak bebasnya tinggi maka akan dibutuhkan banyak basa.

5. Kecepatan pengadukan

Setiap reaksi dipengaruhi oleh tumbukan antar molekul yang larut dalam reaksi dengan memperbesar kecepatan pengadukan maka jumlah tumbukan antar molekul zat pereaksi akan semakin besar, sehingga kecepatan reaksi akan bertambah besar.

Pada proses transesterifikasi, selain menghasilkan biodiesel, hasil sampingannya adalah gliserin (gliserol). Gliserin dapat dimanfaatkan dalam pembuatan sabun. Bahan baku sabun ini berperan sebagai pelembab (*moisturising*).

2.2 Minyak Jelantah

Minyak goreng bekas (minyak jelantah) merupakan limbah yang berasal dari rumah tangga, terutama dari restoran dan industri pangan. Minyak jelantah mengandung beberapa senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia yang dihasilkan selama proses pemanasan (penggorengan) dalam jangka waktu tertentu antara lain polimer, aldehid, asam lemak bebas, dan senyawa aromatik.

Penggunaan minyak goreng yang benar menurut ilmu kesehatan hanya dapat digunakan paling banyak empat kali penggorengan atau pemanasan karena setelah melampaui empat kali pemanasan telah mengandung radikal bebas yang dapat merugikan kesehatan karena bisa menumbuhkan sel kanker di tubuh manusia. Minyak jelantah merupakan minyak nabati turunan dari minyak kelapa sawit (*palm oil*). Minyak kelapa sawit dapat dihasilkan dari inti kelapa sawit yang dinamakan minyak inti kelapa sawit. Rata-rata komposisi asam lemak minyak inti kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Asam Lemak Minyak Inti Kelapa Sawit

Asam Lemak	Jumlah (%)
Asam Oleat	30-45
Asam Linoleat	7-11
Asam Miristat	1,1-2,5
Asam Palmitat	40-46
Asam Stearat	3,6-4,7

Sumber: Ketaren, 2005

Salah satu bentuk pemanfaatan minyak jelantah agar dapat bermanfaat ialah dengan mengubahnya secara proses kimia menjadi biodiesel. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah ini dapat dilakukan melalui reaksi transesterifikasi untuk mengubah minyak (trigliserida) menjadi asam lemak metil ester. Kandungan asam lemak bebas (FFA) pada bahan baku (minyak jelantah) merupakan salah satu faktor penentu metode pembuatan biodiesel. Penggunaan minyak goreng yang sering digunakan secara berulang-ulang menjadikan minyak dari berwarna kuning menjadi berwarna gelap. Perubahan warna dapat disebabkan oleh perubahan zat warna alami atau tokoferol yang terkandung dalam minyak, untuk itu sebelum dilakukan proses transesterifikasi terlebih dahulu dilakukan proses pemurnian terhadap minyak jelantah.

Pemurnian minyak goreng bekas merupakan pemisahan produk reaksi degradasi dari minyak. Minyak goreng yang sudah digunakan akan berubah warna menjadi cokelat tua, untuk menghilangkan zat warna pada minyak sehingga warna minyak menjadi lebih jernih maka dilakukan proses pemucatan (bleaching) dengan menggunakan adsorben. Adsorben merupakan suatu zat padat yang dapat menyerap partikel fluida dalam suatu proses adsorpsi. Beberapa contoh adsorben yang dapat digunakan dalam pemurnian minyak jelantah adalah bleaching earth, bentonit, karbon aktif, zeolit, CaO dan lain-lain.

Diperlukan penanganan yang tepat agar limbah minyak jelantah dapat bermanfaat dan tidak menimbulkan kerugian dari aspek kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu bentuk pemanfaatan minyak jelantah agar dapat bermanfaat dari berbagai macam aspek ialah dengan mengubahnya secara proses kimia menjadi biodiesel. Hal ini dapat dilakukan karena minyak jelantah juga

merupakan minyak nabati, turunan dari CPO (*crude palm oil*). Biodiesel dari substrat minyak jelantah merupakan alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan sebagaimana biodiesel dari minyak nabati lainnya.

2.3 Alkohol (Methanol)

Metanol atau metil alkohol, *wood alcohol* atau spiritus, adalah senyawa kimia dengan rumus kimia CH_3OH . Ia merupakan bentuk alkohol paling sederhana. Pada keadaan atmosfer, ia berbentuk cairan yang ringan, mudah menguap, tidak berwarna, mudah terbakar, dan beracun dengan bau yang khas (berbau lebih ringan daripada etanol). Metanol digunakan sebagai bahan pendingin anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai bahan additif bagi etanol industri.

Methanol merupakan jenis alkohol yang dapat digunakan sebagai solvent dan reaktan pada proses pembuatan biodiesel melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi dengan bantuan katalis. Methanol yang direaksikan dengan bahan baku minyak jelantah akan membentuk senyawa metil ester (biodiesel) yang merupakan sumber bahan bakar alternatif menyerupai bahan bakar solar.

2.4 Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat mempercepat reaksi tanpa ikut dikonsumsi oleh keseluruhan reaksi. Pada dasarnya, katalis justru harus ikut bereaksi dengan reaktan untuk membentuk suatu zat antara yang aktif. Zat antara ini kemudian bereaksi dengan molekul reaktan yang lain menghasilkan produk. Pada akhirnya, produk kemudian terlepas dari permukaan katalis (Wahyu dan Michael, 2007). Pada umumnya reaksi transesterifikasi dan esterifikasi merupakan reaksi lambat. Tanpa adanya katalis, proses pembuatan biodiesel dengan reaksi transesterifikasi hanya dapat menghasilkan konversi sebesar 85% setelah 10 jam reaksi pada suhu $235\text{ }^\circ\text{C}$ dengan tekanan 62 bar (Diasakou, dkk., 2001).

2.4.1 Katalis Homogen

Katalis homogen merupakan katalis yang mempunyai fasa sama dengan reaktan dan produk. Penggunaan katalis homogen ini mempunyai kelemahan yaitu: mencemari lingkungan dan tidak dapat digunakan kembali. Selain itu katalis homogen juga umumnya hanya digunakan pada skala laboratorium ataupun industri bahan kimia tertentu, sulit dilakukan secara komersil, operasi pada fase cair dibatasi pada kondisi suhu dan tekanan, sehingga peralatan lebih kompleks dan diperlukan pemisahan antara produk dan katalis. Contoh dari katalis homogen yang biasanya banyak digunakan dalam produksi biodiesel, seperti basa (NaOH, KOH), asam (HCl, H₂SO₄).

2.4.2 Katalis Heterogen

Katalis heterogen merupakan katalis yang fasanya tidak sama dengan reaktan dan produk. Katalis heterogen secara umum berbentuk padat dan banyak digunakan pada reaktan berwujud cair atau gas. Contoh-contoh dari katalis heterogen adalah zeolit, CaO, MgO, dan resin penukar ion. Mekanisme katalis heterogen melalui lima langkah, yaitu transport reaktan ke katalis, interaksi reaktan-reaktan dengan katalis (adsorpsi), reaksi dari spesi-spesi yang teradsorpsi menghasilkan produk-produk reaksi, desorpsi produk dari katalis, transport produk menjauhi katalis. Keuntungan dari katalis heterogen adalah ramah lingkungan, tidak bersifat korosif, mudah dipisahkan dari produk dengan cara filtrasi, serta dapat digunakan berulang kali dalam jangka waktu yang lama. Selain itu, katalis heterogen meningkatkan kemurnian hasil karena reaksi samping dapat dieliminasi.

2.5 Gelombang Mikro

Reaksi-reaksi kimia dan reaksi organik banyak yang dapat berlangsung apabila mendapatkan energi dari luar. Reaksi-reaksi organik umumnya berlangsung lambat, seperti pembuatan biodiesel dari minyak nabati secara konvensional berlangsung beberapa jam dan hasil yang diperoleh memerlukan pemisahan yang juga relatif lama. Gelombang mikro merupakan alternatif sumber energi yang dapat digunakan untuk mensuplai energi dalam reaksi kimia dan

proses. Melalui pemanasan dielektrik, campuran reaksi dapat bercampur secara homogen tanpa kontak dengan dinding. Waktu yang diperlukan untuk reaksi secara keseluruhan dapat tereduksi secara signifikan (Santoso, 2008).

Radiasi gelombang mikro merupakan radiasi non-ionisasi yang dapat memutuskan suatu ikatan sehingga menghasilkan energi yang dimanifestasikan dalam bentuk panas melalui interaksi antara zat atau medium. Energi tersebut dapat direfleksikan, ditransmisikan, atau diabsorbsikan (Varma, 2001). Sebenarnya gelombang ini merupakan gelombang radio, tetapi panjang gelombangnya lebih kecil dari gelombang radio biasa. Panjang gelombangnya termasuk *ultra-short* (sangat pendek) sehingga disebut juga mikro, dari sinilah lahir istilah *microwave* (Handayani, 2010). Penggunaan teknologi gelombang mikro dalam kimia anorganik telah dimulai pada akhir tahun 1970, dan mulai dikembangkan di dalam kimia organik sejak pertengahan tahun 1980 (Lidstrom, 2001). Secara umum, proses pemanasan dalam reaksi organik menggunakan pemanasan tradisional seperti dengan menggunakan penangas minyak, penangas pasir, dan penangas mantel. Pemanasan dengan cara ini biasanya membutuhkan waktu yang lebih lama sehingga dapat mengakibatkan terjadinya dekomposisi baik pada substrat, pereaksi, maupun produk yang dihasilkan. Hal ini berbeda bila proses pemanasan tersebut menggunakan teknik gelombang mikro, dimana pemanasan dengan gelombang mikro akan mengurangi terjadinya dekomposisi terhadap produk yang dihasilkan atau dekomposisi yang diakibatkan oleh produk tersebut (Lidstrom, 2001).

Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai karakteristik yang berbeda dengan pemanasan konvensional, karena panas dibangkitkan secara internal akibat getaran molekul-molekul bahan yang ingin dipanaskan oleh gelombang mikro. Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan energi *microwave* yang diberikan atau dihantarkan secara langsung pada molekul-molekul yang bereaksi melalui reaksi kimia. Pindah panas menggunakan *microwave* lebih efektif daripada pemanasan secara konvensional dimana panas dipindahkan dari lingkungan (Lertsathapornsuk, dkk., 2004).

Proses pemanasan dengan *microwave* menggunakan waktu yang lebih singkat untuk memanaskan bahan baku tanpa pemanasan awal (Lertsathapornsuk,

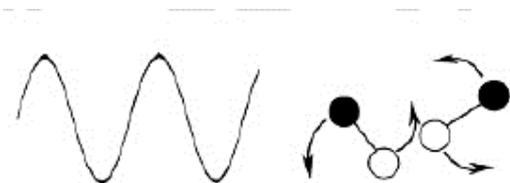
dkk., 2004). Selain itu penggunaan *microwave* menunjukkan reaksi lebih efisien, dengan lama reaksi dan proses pemisahan yang singkat, menurunkan jumlah produk samping, dan dapat menurunkan konsumsi energi (Hernando, dkk., 2007 diacu dalam Terigar, 2009). Efisiensi dari transesterifikasi *microwave* berasal dari sifat dielektrik dari campuran polar dan komponen ion dari minyak, pelarut, dan katalis. Pemanasan yang cepat dan efisien pada radiasi *microwave* lebih banyak karena gelombang *microwave* berinteraksi dengan sampel pada tingkat molekular menghasilkan campuran intermolekul dan agitasi yang meningkatkan peluang dari sebuah molekul alkohol bertemu dengan sebuah molekul minyak (Terigar, 2009).

2.5.1 Prinsip Dasar Mekanisme Reaksi dengan Metode Gelombang Mikro

Secara teoritis, ada dua proses mekanisme yang terjadi pada metode gelombang mikro yaitu mekanisme secara polarisasi dipolar dan mekanisme secara konduksi.

a. Mekanisme secara polarisasi dipolar

Prinsip dari mekanisme ini adalah terjadinya polarisasi dipolar sebagai akibat dari adanya interaksi dipol-dipol antara molekul-molekul polar ketika diradiasikan dengan gelombang mikro. Dipol tersebut sangat sensitif terhadap medan listrik yang berasal dari luar sehingga dapat mengakibatkan terjadinya rotasi pada molekul tersebut sehingga menghasilkan sejumlah energi (Lidstrom, 2001). Energi yang dihasilkan pada proses tersebut adalah energi kalor sehingga hal tersebut dikenal dengan istilah efek termal (pemanasan dielektrik) (Perreux, 2001). Ilustrasi suatu pergerakan molekul secara mekanisme polarisasi dipolar saat molekul diradiasi gelombang mikro dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pergerakan Molekul Dipolar Teradiasi Gelombang Mikro

(Sumber: Lidstrom, 2001)

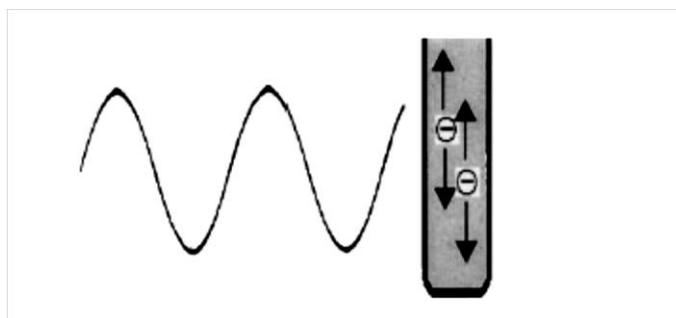
Molekul yang dapat dipanaskan dengan gelombang mikro adalah molekul-molekul yang bersifat polar, karena pada molekul-molekul yang bersifat non-

polar tidak akan terjadi interaksi dipol-dipol antar molekulnya. Molekul-molekul non-polar tersebut bersifat inert terhadap gelombang mikro dielektrik (Perreux, 2001).

Menurut penelitian Perreux (2001), pada saat diradiasikan dengan gelombang mikro terjadi kenaikan suhu pada molekul air sedangkan pada molekul dioksan perubahan suhu relatif konstan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan kepolaran antara air yang bersifat polar dengan dioksan yang bersifat non-polar. Selain sifat kepolarannya, jenis fase suatu molekul juga berpengaruh terhadap pemanasan dengan gelombang mikro. Pada molekul dengan fase gas akan tidak dapat diradiasikan dengan gelombang mikro, hal ini disebabkan karena jarak antar molekul dalam fase gas sangat berjauhan bila dibandingkan dengan molekul dalam fase cair sehingga molekul-molekul dalam fase gas akan sulit untuk melakukan rotasi antar molekul-molekulnya dalam suatu medan listrik (Lidstrom, 2001).

b. Mekanisme secara konduksi

Mekanisme secara konduksi terjadi pada larutan-larutan yang mengandung ion. Bila suatu larutan mengandung partikel bermuatan atau ion diberikan suatu medan listrik maka ion-ion tersebut akan bergerak. Pergerakan tersebut akan mengakibatkan peningkatan kecepatan terjadinya tumbukan sehingga akan mengubah energi kinetik menjadi energi kalor. Ilustrasi mekanisme konduksi suatu larutan yang mengandung partikel bermuatan saat diradiasi gelombang mikro dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pergerakan Partikel Bermuatan dalam Suatu Larutan Mengikuti Medan Listrik

(Sumber: Lindstrom, 2001)

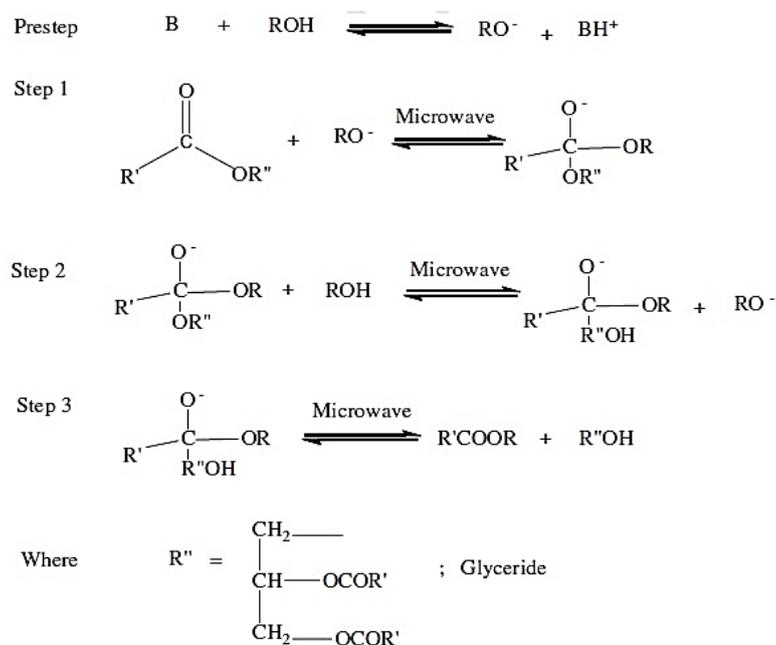
Larutan-larutan yang mengandung ion akan memberikan energi kalor bila diberi medan listrik dibandingkan dengan larutan-larutan yang tidak mengandung ion.

2.5.2 Transesterifikasi dengan Gelombang Mikro

Mekanisme dari transesterifikasi berkatalis basa menggunakan gelombang mikro dapat dilihat pada Gambar 3. Mekanisme ini melibatkan 3 tahapan, yaitu:

1. Memecah ion alkoksida menjadi karbon karbonil dari molekul trigliserida yang menghasilkan pembentukan dari tetrahedral intermediate.
2. Tetrahedral intermediate yang terbentuk selanjutnya bereaksi dengan alkohol sehingga akan memproduksi ion alkoksida.
3. Penyusunan kembali dari tetrahedral intermediate memberikan kenaikan pada ester dan digliserida.

Dengan cara yang sama, digliserida ditransesterifikasi untuk membentuk metil ester dan monogliserida yang terkonversi selanjutnya menjadi metil ester dan gliserol. Pada notasi yang digunakan, B adalah katalis basa, R'' adalah gliserida, R' adalah ikatan karbon dari asam lemak, dan R adalah grup alkil dari alkohol.



Gambar 3. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi dengan Menggunakan Gelombang Mikro

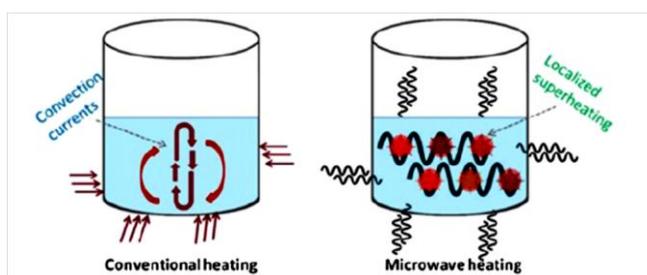
(Sumber: Patil, dkk., 2010)

Keterangan:

- B = Katalis basa
 R = Kelompok alkil dari alkohol
 R' = Ikatan karbon dari asam lemak
 R'' = Gliserida

2.5.3 Mekanisme Perpindahan Panas Gelombang Mikro

Mekanisme pemanasan gelombang mikro adalah kompleks. Metode pemanasan gelombang mikro dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dalam pemanasan konvensional, panas yang dipindahkan ke volume sampel digunakan untuk meningkatkan suhu permukaan reaktor diikuti oleh bahan internal. Hal ini juga disebut *wall heating*. Oleh karena itu, sebagian besar energi yang dipasok melalui sumber energi konvensional hilang ke lingkungan melalui konduksi material dan arus konveksi. Efek pemanasan pada metode konvensional adalah bersifat heterogen dan tergantung pada konduktivitas termal bahan, panas spesifik, dan kepadatan yang mengakibatkan suhu permukaan yang lebih tinggi menyebabkan panas mentransfer dari permukaan luar untuk volume sampel internal seperti yang terlihat pada Gambar 4. Akibatnya, terjadi suhu sampel yang tidak seragam dan gradien termal yang lebih tinggi (Groisman, dkk., 2008)



Gambar 4. Mekanisme Pemanasan secara Konvensional dan Gelombang Mikro

(Sumber: Gude, dkk., 2008)

Keuntungan dari teknologi gelombang mikro ini memungkinkan untuk dapat menembus bidang bahan. Bahan secara umum dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan interaksi mereka dengan *oven microwave*:

- (1) Bahan yang memantulkan gelombang mikro, berupa logam dan paduannya, misalnya tembaga;
- (2) Bahan yang dapat ditembus oleh gelombang mikro, seperti kuarsa leburan,

gelas yang terbuat dari borosilikat, keramik, Teflon, dan lain-lain;

- (3) Bahan yang menyerap gelombang mikro yang merupakan kelas yang paling penting dari bahan untuk sintesis gelombang mikro, misalnya larutan air, pelarut polar, dan lain-lain.

Gelombang mikro mentransfer energi ke bahan dengan polarisasi dipolar, konduksi ionik, dan mekanisme polarisasi antar muka untuk menghasilkan pemanasan berlebih secara lokal dan cepat pada bahan reaksi. Jika molekul memiliki momen dipol, bila molekul tersebut terkena radiasi gelombang mikro, dipol mencoba untuk menyelaraskan dengan medan listrik yang diterapkan. Karena medan listrik berosilasi, dipol terus mencoba untuk menyelaraskan kembali untuk mengikuti gerakan ini. Pada frekuensi 2,45 GHz, molekul mempunyai waktu untuk menyelaraskan dengan medan listrik tetapi pergerakan yang terjadi tidak terlalu sama mengikuti medan yang berosilasi. Re-orientasi secara terus-menerus dari molekul ini menghasilkan gesekan dan kemudian berupa panas. Jika molekul dibebankan, maka komponen ion medan listrik dari radiasi gelombang mikro bergerak bolak-balik melalui sampel sementara itu mereka juga bergesekan satu sama lain. Gerakan ini juga menghasilkan panas, selain itu karena energi berinteraksi dengan molekul pada tingkat yang sangat cepat, molekul tidak memiliki waktu untuk beristirahat dan bisa menghasilkan panas, untuk waktu yang singkat, jauh lebih besar daripada catatan keseluruhan suhu campuran reaksi. Singkatnya, akan ada pemanasan berlebih yang terjadi pada volume sampel intern.

2.5.4 Persyaratan dan Efisiensi Energi Gelombang Mikro

Menurut Gude, dkk., efisiensi pembangkit energi gelombang mikro dari energi listrik berada di kisaran 50-65%. Hal ini menunjukkan bahwa 35-50% dari energi listrik tidak diubah menjadi energi gelombang mikro. Dalam reaksi kimia, hal ini adalah diasumsi bahwa semua energi gelombang mikro telah diserap oleh bahan yang berpartisipasi dalam reaksi. Meskipun gelombang mikro telah menunjukkan peningkatan laju reaksi dengan 1000 kali dalam sintesis kimia tertentu, kekurangan dari energi gelombang mikro adalah bahwa proses pembangkit energi tidak kompetitif dengan produksi berdasarkan uap

konvensional yang memiliki efisiensi konversi energi dikisaran 65% - 90% (konversi listrik dengan uap - 90%; bahan bakar fosil dengan uap - 65%) (Gude, dkk., 2008).

Efisiensi energi dari reaksi yang dibantu dengan gelombang mikro dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Q_{MW} = P_{MW} \times t \dots\dots\dots (1)$$

(Sumber: Gude, dkk., 2008)

$$Q_{th} = \sum m_i C_{p_i} \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

(Sumber: Gude, dkk., 2008)

$$\eta = \frac{Q_{th}}{Q_{MW}} \dots\dots\dots (3)$$

(Sumber: Gude, dkk., 2008)

dengan,

Q_{MW} : Energi panas yang disuplai oleh gelombang mikro (kJ)

P_{MW} : Daya gelombang mikro yang digunakan (Watt)

t : Waktu reaksi (sekon)

Q_{th} : Efek termal yang disebabkan oleh radiasi gelombang mikro (kJ)

m_i : Massa sampel (gr)

C_{p_i} : Kapasitas panas dari sampel (kJ/kg K)

ΔT : Peningkatan temperatur selama reaksi berlangsung ($^{\circ}C$)

η : Efisiensi energi dari energi gelombang mikro (%)

Persamaan (1) merupakan energi panas yang disuplai dari gelombang mikro yang diberikan dalam hal disipasi daya dan waktu paparan. Tingkat disipasi daya dari perangkat *microwave* biasanya dilaporkan oleh produsen. Persamaan (2) menghitung efek termal yang disebabkan oleh radiasi gelombang mikro dalam volume sampel (i = reaktan; contohnya: minyak, katalis, dan pelarut) yang secara sederhana didapat dari massa produk sampel dikalikan dengan panas spesifik dari bahan dan peningkatan temperatur selama reaksi. Efisiensi energi dari energi gelombang mikro adalah rasio pengamatan efek suhu yang dihasilkan dengan total energi yang dipasok ke sampel seperti dalam Persamaan 3 (Gude, dkk., 2008).

Efisiensi energi dari reaksi yang dibantu oleh gelombang mikro tergantung pada beberapa faktor seperti volume sampel, sifat dari media (pelarut), tingkat disipasi perangkat *microwave* dan kedalaman penetrasi gelombang mikro yang

dibutuhkan dalam volume sampel reaksi. Efisiensi yang sangat rendah dapat diamati ketika daya tinggi dari perangkat *microwave* digunakan untuk volume sampel yang sangat kecil. Hal ini sangat penting untuk mempertimbangkan tingkat efektif disipasi daya dalam sintesis kimia yang dibantu oleh gelombang mikro untuk menghilangkan kerugian energi ke lingkungan (Gude, dkk., 2008).