



**PENGOLAHAN MINYAK NYAMPLUNG MENJADI BIODIESEL
DENGAN TEKNOLOGI RADIASI PANAS INDUKSI
ELEKTROMAGNETIK**

**DISERTASI
UNTUK MEMENUHI PERSYARATAN
MEMPEROLEH GELAR DOKTOR**

OLEH:

**Nama: SRI KURNIATI A
NIM: 157150100111058**

**PROGRAM STUDI ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019**

DISERTASI

PENGOLAHAN MINYAK NYAMPLUNG MENJADI BIODIESEL DENGAN TEKNOLOGI RADIASI PANAS INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

Oleh:
SRI KURNIATI
NIM 157150100111058

Telah dipertahankan di depan penguji
pada tanggal 13 Juni 2019
dan dinyatakan memenuhi syarat

Tim Promotor

Promotor

Prof. Ir. Sudjito Soeparman, Ph.D
NIP. 19470330 198002 1 001

Ko Promotor I

Ko Promotor II

Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc,
NIP 19631216 198803 1 002

Dr.Sc. Lukman Hakim, S. Si, M.Sc
NIP 198204122003121002

Malang, 21 Juni 2019

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Direktur ,

Prof. Dr. Marjono, M.Phil
NIP 196211161988031004

IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul Disertasi : **PENGOLAHAN MINYAK NYAMPLUNG MENJADI
BIODIESEL DENGAN TEKNOLOGI RADIASI PANAS
INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

Nama Mahasiswa : Sri Kurniati

NIM : 157150100111058

Program Studi : Ilmu Lingkungan

KOMISI PROMOTOR :

Promotor : Prof. Ir. Sudjito Soeparman, Ph.D

Ko-Promotor : Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc.

Ko-Promotor : Dr.Sc. Lukman Hakim, S. Si, M.Sc.

TIM PENGUJI :

Penguji 1 : Dr. Bagyo Yanuwadi

Penguji 2 : Dr. Ir. Bambang Susilo., M.Sc. Agr

Penguji 3 : Dr. Ir. Arief Rachmansah

Penguji Tamu : Prof. Dr. Agr. Mohamad Amin, S.Pd., M.Si

Tanggal Ujian : 13 Juni 2019

SK Penguji :

**PERNYATAAN
ORIGINALITAS DISERTASI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah DISERTASI ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah DISERTASI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia DISERTASI dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 11 Juni 2019**Sri Kurniati
NIM 157150100111058**

MOTTO

*Janganlah berhenti belajar karena akan
menjadi pemilik masa lalu, tetapi
teruslah belajar agar menjadi pemilik
masa depan*



HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk Suami dan Anak-anakku tercinta

Dr. Sudirman, ST, MT

Muh. Asyam Tharif

Muh. Irfan Ananta

Sikembar: Fadil dan Farhan Tri Putra Ramadhan

Putri Bungsku: Annisa Luthfiah Rahma



RIWAYAT HIDUP

Nama	: Hj. Sri Kurniati A., ST, MT
NIP/NIK	: 19721102 199802 2 002
Tempat dan Tanggal Lahir	: Masewali, Soppeng / 02 November 1972
Jenis Kelamin	: Wanita
Agama	: Islam
Golongan / Pangkat	: IV A / Pembina
Jabatan Fungsional Akademik	: Lektor Kepala
Perguruan Tinggi	: Universitas Nusa Cendana
Alamat	: Jl. Adisucipto-Penfui
Telp./Faks.	: 0380-881559
Alamat Rumah	: Jl. Keuangan II / 52 Kupang
Telp./HP	: 0380-8554387 / 081237744422
Alamat email	: sri_kurniatia@staf.undana.ac.id

RIWAYAT PENDIDIKAN

No.	Tingkat	Pendidikan	Jurusan	Tahun Lulus	Tempat
1.	SD	SD Neg. 17 BILA	-	1985	Soppeng
2.	SMP	SMP Muhammadiyah Soppeng	-	1988	Soppeng
3.	SMA	SMA Negeri 2 Soppeng	Biologi	1991	Soppeng
4.	S1	UNIV. MUSLIM INDONESIA – MAKASSAR	Elektro	1997	Makassar
5.	S2	UNIV. HASANUDDIN	Elektro	2006	Makassar

PENGALAMAN PEKERJAAN

No.	RINCIAN	TAHUN
1.	Ketua Jurusan Teknik Elektro	1998-2002
2.	Dosen Tetap Jurusan Teknik Elektro	1998- sekarang
3.	Pengurus PII Cabang Kupang	2010-2015

PENGALAMAN SEMINAR/LOKAKARYA/PELATIHAN

No.	RINCIAN	TAHUN
1.	Pelatihan Metodologi Penelitian	2006
2.	Pelatihan Penyusunan Proposal Penelitian Hibah Bersaing Bagi Staf Akademik Undana	2006
3.	Bimbingan Teknis Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi	2007

4.	Pelatihan Pembangunan Model Spasial Dinamis Untuk Mendukung Pengembangan Wilayah Kepulauan Nusa Tenggara, Kupang	2008
5.	Pelatihan Workshop Drafting Aplikasi Paten HAKI, Denpasar	2008
6.	Pelatihan Pemanfaatan Hasil Penelitian Pengabdian Kepada Masyarakat dan Kreativitas Mahasiswa Berpotensi Paten, Denpasar	2010
7.	Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan dan Teknologi Informasi (SNTKTI), tgl, 5 -6 Juni, di UMI-Makassar	2015
8.	Seminar Nasional Sains dan Teknik Undana III, 28 Oktober, Kupang	2016
9.	Seminar Hasil Program Pengabdian Kepada Masyarakat, DRPM, tgl 26-27 Juli, di Denpasar-Bali	2017
10.	Pelatihan Pemanfaatan Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang Berpotensi Paten, tgl 4 -6 Juli , di Denpasar-Bali	2018
11.	Workshop Peningkatan Kualitas Output Penelitian Skema Penelitian Disertasi Doktor, DRPM, tgl 30 – 31 Juli, di Malang	2018
12.	Seminar Hasil Program Peningkatan Riset Penelitian Disertasi Doktor, DRPM, di Surabaya, tgl. 3-4 Desember	2018
13.	Pameran Inventor, Inovasi Indonesia Expo (I3E), tgl 25-28 Oktober di Jogja	2018

PENGALAMAN PENELITIAN

No.	Judul Penelitian	Sumber	Tahun
1.	Perbaikan Desain Untuk Meningkatkan Kinerja Penyearah Terkendali Tiga Fasa Untuk Kondisi Tegangan Tidak Seimbang (Sebagai Ketua)	Hibah Bersaing	2010-2011
2.	Model Strategis Pengembangan Kawasan Perbatasan Nusa Tenggara Timur (Indonesia) dengan Timor Leste Tahun I (Anggota)	Hibah Stranas	2012-2014
3.	Kajian Awal Penggunaan Isolator Polimer pada Perencanaan Saluran Transmisi untuk Meningkatkan Keandalan Sistem Tenaga Listrik di Nusa Tenggara Timur Tahun I (Anggota)	Hibah Pekerti	2012-2013
4.	Perancangan perangkat lunak sistem penjadwalan ekonomis pada unit – unit pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar	Hibah Unggulan Perguruan Tinggi	2013-2014

	minyak (BBM) di kota Kupang (Ketua)		
6.	Rancangan Penyearah Terkendali DC Berharmonik Rendah Untuk Mengurangi Kadar Harmonik Pada Jaringan Listrik (Anggota)	Hibah Unggulan Perguruan Tinggi	2015-2018
7.	Peningkatan Efisiensi dan Kualitas Biodiesel Minyak Nyamplung dengan Menggunakan Teknologi Radiasi Panas Induksi Elektromagnetik	Hibah Disertasi Doktor	2018

KARYA ILMIAH

No.	Judul Jurnal	Volume / Nomor Tahun	Nama Jurnal
1	Analisis Perbandingan Penggunaan Tipe Penyalaan Kontrol Jarak Sama dan Kontrol Sudut Sama Pada Penyearah Terkendali Tiga Fasa	Vol. 11 No. 2 Nov. 2007	Jurnal Makara Seri Teknologi – UI Terakreditasi
2	Pemodelan Kedip Tegangan Dengan Menggunakan Fungsi Alih Jaringan Listrik	2008	Proceeding SITIA ITS-Surabaya
3	Desain Filter Pada Penyearah Terkendali Tiga Fasa	Vol 10 No.1 Maret 2008	Buletin Penelitian dan Pengembangan IAEUP
6	Pemodelan Motor DC Dalam Keadaan Dinamis Dengan Menggunakan PSPICE	2009	Proceeding SITIA ITS-Surabaya
7	Analisis Perbandingan Filter Aktif dan Filter Pasif pada Penyearah Terkendali 1 Fasa	2012	Media Elektro No.1 Vol. 1
8	Pengujian Arus Bocor Isolator 20 kV Berbahan Polimer Epoxy Resin dengan Mempertimbangkan Tekanan dan Kelembaban	2012	Proceeding Seminar Sains dan Teknik
9	Opsi Pengembangan Kawasan Perbatasan Kabupaten Belu (RI) dan Timor Leste	2013	Proceedings Seminar Nasional Sains dan Teknik (SAINSTEK)
10.	The Cross-Border Potential Economic Development Strategy	Juni 2013, page 50 -59, ISSN: 1991-8178	Jurnal Internasional: Australian Journal Basics and Science (AJBAS).

11.	A Novel Process for Production of Calophyllum inophyllum Biodiesel with Electromagnetic Induction	12, 383, 2019, page 1-21	Energies, MDPI
12.	Characteristics and Potential of Nyamplung Seed Oil from Kebumen	Vol.3, Issue 4, pp 148-152, 2018	International Research Journal of Advanced Engineering and Science

KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

No.	Nama/Jenis Kegiatan	Tahun
1.	Sebagai Ketua dalam Kegiatan IPTEKS Bagi Masyarakat (IbM) dengan Judul IbM Bagi Kelompok Usaha Kerupuk Singkong	2010
2.	Sebagai Anggota dalam kegiatan IPTEKS Bagi Masyarakat (IbM) dengan judul IbM Bagi Bengkel Elektronik	2011
3.	Sebagai Anggota, Iptek Bagi Produk Ekspor (IbPe), dengan Judul: IbPe Emping Jagung	2013-2015
4.	Sebagai Ketua Ipteks Bagi Inovasi dan Kreativitas Kampus (IbIKK) dengan Judul: Service and Training Center di Bidang Elektro	2014-2016

KETERANGAN KELUARGA

1. Orang Tua

No.	NAMA	TEMPAT LAHIR	TGL. LAHIR	PEKERJAAN
1.	Akhmad (Alm.)	-	-	-
2.	Matahari (Alm.)	-	-	-

2. Suami

No.	NAMA	TEMPAT LAHIR	TGL. LAHIR	PEKERJAAN
1.	Sudirman, ST, MT	Bone	11 Pebruari 1967	Dosen

3. Anak

No.	NAMA	TEMPAT LAHIR	TGL. LAHIR	PEKERJAAN
1.	Muh. Asyam Tharif	Makassar	12 April 2000	Mahasiswa
2.	Muh. Irfan Ananta	Kupang	31 Januari 2002	Mahasiswa
3.	Fadil dan Farhan	Makassar	14 November 2003	Pelajar
4.	Annisa Luthfiah Rahma	Makassar	9 November 2005	Pelajar

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahi Rahmani Rahim,

Puji syukur kehadirat Allah SWT, dengan rahmat, hidayat dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dapat diselesaikan karena bantuan, masukan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor dan Dekan Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana Kupang yang telah mendukung dan memberikan kesempatan serta rekomendasi, sehingga penulis dapat melanjutkan pendidikan pada Program Doktor Ilmu Lingkungan khususnya minat Ilmu Lingkungan, Universitas Brawijaya Malang.
2. Rektor, Direktur Pascasarjana, dan Ketua Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya, atas pemberian kesempatan untuk studi dan penggunaan fasilitas selama studi.
3. Tim Promotor: (1) Prof. Ir. Soedjito Soeparman, Ph.D, sebagai Promotor; (2) Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc, sebagai Ko-Promotor 1; (3) Dr.Sc. Lukman Hakim, S. Si, M.Sc, sebagai Ko-Promotor 2, yang telah membimbing dan memberikan banyak saran dan masukan.
4. Dosen Penguji Internal: (1) Dr. Bagyo Yanuwadi; (2) Dr. Ir. Bambang Susilo.M.Sc. Agr.; (3) Dr. Ir. Arief Rachmansah, yang memberikan saran dan koreksi serta semangat dalam proses penyempurnaan disertasi ini.
5. Prof. Dr. Agr. Mohamad Amin, S.Pd, M.Si, yang telah meluangkan waktunya sebagai Dosen Penguji Tamu.
6. Dr. Ir. Gatot Ciptadi, DESS, IPU, sebagai Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan atas segala arahan, bimbingan, motivasi dan semangat sejak penulis menjadi mahasiswa hingga selesainya studi ini.
7. Kepala Laboratorium Teknik Elektro beserta staf Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana yang telah membantu dalam pengambilan data

serta fasilitas yang diberikan atas kebutuhan selama dalam proses pengambilan data.

8. Segenap dosen dan staf Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya atas bantuan dan fasilitas yang diberikan selama kami menempuh pendidikan doktor.
 9. Keluarga kecilku: Suami tercinta Sudirman, ST, MT; anak-anakku tersayang (1) Muh. Asyam Tharif; (2) Muh. Irfan Ananta; (3) Farhan Tri Putra Ramadhan; (4) Fadil Tri Putra Ramadhan; (5) Annisa Luthfiah Rahma, atas kesabaran, pengertian, pengorbanan serta dukungan doanya yang tiada henti hingga selesainya studi ini.
 10. Ayah dan Ibu, Akhmad (Alm.) dan Matahari (Alm.) ayah dan ibu mertua, Syamsuddin (Alm.) dan Hj. Yompo, yang selalu memberikan doa dan dukungannya.
 11. Rekan-rekan mahasiswa Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya yang selalu memberi semangat dan dukungan doa dalam proses penyelesaian studi ini.
 12. Sahabat-sahabat seperjuangan dalam komunitas Himpunan Mahasiswa Malang Raya Asal Nusa Tenggara Timur (HIMMARSAL-NTT) yang selalu setia mendukung, dan mendoakan tiada henti, serta selalu hadir dalam kebersamaan, baik suka maupun duka.
 13. Seluruh pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu-persatu yang telah ikut membantu, mendukung dan mendoakan dengan tulus dan ikhlas, semoga Allah swt membalas dengan limpahan rahmat dan berkah-Nya, Amin.
- Akhirnya, semoga segala kebaikan bari Bapak / Ibu sekalian yang tidak dapat kami balas, Insya Allah akan menjadi amal jariyah kelak, Amin

Wassalam,

Malang, 1 Januari 2019

Penulis,

RINGKASAN

Sri Kurniati, Program Doktor Ilmu Lingkungan, Non Fakultas Universitas Brawijaya, Januari 2019, **PENGOLAHAN MINYAK NYAMPLUNG MENJADI BIODIESEL DENGAN TEKNOLOGI RADIASI PANAS INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**, Dosen Pembimbing: Prof. Soedjito Soeparman, Ph.D, Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc, Dr. Sc. Lukman Hakim, S.Si, M.Sc.

Bahan bakar cair yang sedang dikembangkan sekarang ini, adalah bahan bakar cair pengganti solar yang dikenal dengan istilah **Biodiesel**. Biodiesel merupakan bahan bakar cair yang diproses dari lemak hewan atau minyak nabati. Minyak nabati yang juga dikenal sebagai trigliserida memiliki struktur kimia yang terdiri dari 98% trigliserida, dan sisanya monogliserida. Salah satu tumbuhan yang berpotensi menjadi energi terbarukan, yakni buah nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). Keunggulan dari nyamplung sebagai bahan bakar nabati adalah bijinya mempunyai rendemen lebih tinggi dibandingkan jenis tanaman lain (jarak pagar 40 - 60%, sawit 46 - 54%, dan nyamplung 40 - 74%), dan pemanfaatannya tidak berkompetisi dengan kepentingan pangan. Selain itu produktivitas biji nyamplung (20 ton/ha) lebih tinggi dibandingkan jarak pagar (5 ton/ha), sawit (6 ton/ha) dan tanaman nabati lainnya. Dalam pengolahan biodiesel terdapat beberapa tahapan yang menyebabkan tingginya biaya produksi biodiesel, sehingga implementasi proses produksi yang secara operasional tidak efisien. Diantaranya, dalam proses degumming dilakukan pemanasan pada suhu 80°C selama 30 menit, sampai terjadi endapan. Kemudian, dilanjutkan proses esterifikasi dengan pemanasan selama 1 - 2 jam pada temperatur 60° dan transesterifikasi dengan pemanasan selama 1 jam pada temperatur 30 - 65°C. Dalam pengolahan produksi biodiesel secara konvensional umumnya dilakukan pada suhu tinggi dengan sumber panas eksternal. Perpindahan panas berlangsung kurang efektif karena terjadi secara konduksi dan konveksi. Pemanasan seperti ini memerlukan energi yang besar dan waktu yang cukup lama. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi baru sistem pemanasan yang lebih cepat dan dapat menggantikan sistem konvensional dan microwave.

Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) merancang suatu alat pemanasan radiasi induksi elektromagnetik dengan waktu yang lebih singkat dengan kontrol suhu menggunakan mikrokontroler; (2) untuk mengetahui perbandingan waktu proses (degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi), kualitas minyak (densitas, viscositas), dan karakteristik (kandungan senyawa kimia, dan kandungan ester) pengolahan biodiesel minyak nyamplung antara metode pemanasan hotplate (konvensional), *microwave*, dan metode radiasi panas induksi elektromagnetik; (3) melakukan analisis penggunaan konsumsi energi listrik dari metode radiasi panas induksi elektromagnetik dan pengaruhnya terhadap dampak lingkungan yang berkaitan dengan emisi karbon dari ketiga metode pemanasan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode pemanasan induksi elektromagnetik mempunyai keuntungan dibanding dengan metode hotplate dan microwave, yakni: (1) waktunya lebih cepat dalam setiap tahapan pengolahan

biodiesel seperti, proses degumming: Hotplate (15 menit), microwave (12 menit), dan induksi elektromagnetik (3,21 menit); proses esterifikasi: Hotplate (105 menit), microwave (90 menit) untuk HCL dan H₂ SO₄, dan induksi elektromagnetik (18.13) menit untuk katalis HCL dan 20 menit untuk katalis H₂SO₄; proses transesterifikasi: Hotplate (10 menit), microwave (10 menit), dan induksi elektromagnetik (0,43 menit untuk katalis H₂SO₄ dan 2,1 untuk katalis HCL); (2) Lebih efisien dan lebih hemat energi dibanding kedua metode lainnya, yakni: metode induksi elektromagnetik sebesar 43,55 Wh (Asam Sulfat) dan 72,98 Wh (HCL) , metode microwave sebesar 90,68 Wh (Asam Sulfat) dan 90,4 Wh (HCL), sedangkan hotplate masing masing sebesar 1300,2 Wh (Asam Sulfat dan HCL); (3) berdasarkan hasil pengujian FFA dari ketiga metode yang digunakan, pengolahan dengan metode induksi elektromagnetik diperoleh nilai FFA yang lebih rendah, yakni: pada proses degumming: Hotplate (17.66%), microwave (17.21%), dan induksi elektromagnetik (15.03%), proses esterifikasi: hotplate (1.73% untuk Asam Sulfat dan 1.8 untuk HCL), microwave (1.429% untuk katalis H₂SO₄ dan 1,7% untuk katalis HCL), dan induksi elektromagnetik (1.65% untuk katalis H₂SO₄ dan 1,12% untuk katalis HCL), dan proses transesterifikasi: Hotplate (0.48), microwave (0.49), dan induksi elektromagnetik (0.43).

Kata Kunci: Nyamplung, Induksi Elektromagnetik, Microwave, Hotplate

SUMMARY

Sri Kurniati, Doctoral Program in Environmental Sciences, Non-Faculty of Brawijaya University, January 2019, PROCESSING OF NYAMPLUNG OIL TO BE BIODIESEL WITH ELECTROMAGNETIC INDUCTION HEAT RADIATION TECHNOLOGY, Supervisor: Prof. Soedjito Soeparman, Ph.D, Dr. Ir. Sudarminto Setyo Yuwono, M.App.Sc, Dr. Sc. Lukman Hakim, S.Si, M.Sc.

Nowdays, the liquid fuel being developed is liquid substitute diesel fuel known as Biodiesel. Biodiesel is a liquid fuel that is processed from animal fat or vegetable oil. Vegetable oil also known as triglycerides. It has a chemical structure consisting of 98% triglycerides, and the rest is monoglyceride. One plant that has the potential to become renewable energy is Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). The advantage of Nyamplung seeds as biofuel is that it has a higher yield than other types of plants (40-60% fence distance, 46-54% oil palm, and 40-74% coverage), and its use does not compete with food interests. In addition, nyamplung seed productivity (20 tons / ha) is higher than fence distance (5 tons / ha), palm oil (6 tons / ha) and other vegetable plants. In processing biodiesel there are several stages that cause high costs of biodiesel production, so that the implementation of the production process is operationally inefficient. Among them, in the degumming process, heating is carried out at a temperature of 80°C for 30 minutes, until sediment occurs. Then, proceed with the esterification process by heating for 1-2 hours at 60° temperatures and transesterification by heating between 30 minutes to 1 hour at temperatures of 30-65°C. In the conventional processing of biodiesel production, it is generally carried out at high temperatures with external heat sources. Heat transfer takes place less effectively because it occurs by conduction and convection. Heating like this requires a lot of energy and quite a long time. Therefore, a new technology for heating systems is needed that is faster and can replace conventional and microwave systems.

The objectives of this study are: (1) designing an electromagnetic induction radiation heating device with a shorter time with temperature control using a microcontroller; (2) to determine the comparison of process time (degumming, esterification, and transesterification), oil quality (density, viscosity), and characteristics (chemical compound content and ester content) of nyamplung oil biodiesel processing between (conventional) hotplate, microwave heating methods and electromagnetic induction heat radiation methods; (3) analyzing the use of electrical energy consumption from the electromagnetic induction heat radiation method and its effect on environmental impacts related to carbon emissions from the three heating methods.

The results showed that the use of electromagnetic induction heating method has advantages compared to the hotplate and microwave methods: (1) the time is faster in each stage of biodiesel processing such as, degumming process: Hotplate (15 minutes), microwave (12 minutes), and electromagnetic induction (3.21 minutes); esterification process: Hotplate (105 minutes), microwave (90 minutes), and electromagnetic induction (18.30 minutes for HCL catalyst and 20 minutes for

H₂SO₄ catalyst); transesterification process: Hotplate (10 minutes), microwave (10 minutes), and electromagnetic induction (0.43 minutes for H₂SO₄ and 2.1 catalysts for HCL catalysts); (2) Energy use is more energy efficient than the other two methods: the electromagnetic induction method is 43.55 Wh (H₂SO₄) and 72.98 Wh (HCL), the microwave method is 90.68 Wh (H₂SO₄) and 90.4 (HCL), the hotplate is 1300.2 Wh (H₂SO₄ and HCL); (3) based on the results of the FFA test of the three methods used, processing with the electromagnetic induction method obtained a lower FFA value: in the degumming process: Hotplate (17.66%), microwave (17.21%), and electromagnetic induction (15.03%) esterification process: Hotplate (1.73% for H₂SO₄ and 1.8% for HCL), microwave (1.429% for H₂SO₄ and 1.7% catalyst for HCL catalyst), and electromagnetic induction (1.65% for H₂SO₄ catalyst and 1.12% for HCL catalyst), and transesterification process : Hotplate (0.48), microwave (0.49), and electromagnetic induction (0.43).

Keywords: Nyamplung, Electromagnetic Induction, Microwave, Hotplate



KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT. Karena berkat dan rahmat-Nya jualah sehingga penulis dapat menyelesaikan disertasi ini dengan judul **“PENGOLAHAN MINYAK NYAMPLUNG MENJADI BIODIESEL DENGAN TEKNOLOGI RADIASI PANAS INDUKSI ELEKTROMAGNETIK”**. Disertasi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Brawijaya, Malang. Disertasi ini disusun menjadi 6 Bab, yakni Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Kerangka Konsep Penelitian, Bab IV Metode Penelitian, Bab V Hasil dan Pembahasan, Bab VI Kesimpulan dan Saran.

Dalam pelaksanaan kegiatan penyusunan disertasi, hasil penelitian dilaporkan berdasarkan desain dan eksperimentasi mengenai pengolahan biodiesel dengan menggunakan teknologi pemanasan radiasi induksi elektromagnetik. Metode baru yang diusulkan dalam pengolahan biodiesel ini kemudian dibandingkan dengan teknologi pengolahan biodiesel yang sudah pernah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, seperti metode pemanasan hotplate dan microwave. Analisis berupa penggunaan lama waktu proses tahapan degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi dari ketiga metode dibandingkan. Kemudian yang terakhir, hasil pengolahan biodiesel atau FAME dari ketiga metode pemanasan ini, diuji di laboratorium berupa FT-IR, GCMS, densitas, dan viskositas.

Dalam menyelesaikan disertasi ini, penulis telah banyak menerima bantuan, saran, dan masukan dari berbagai pihak terutama pembimbing, dan pendamping pembimbing 1 dan 2, serta pengujia. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya atas sumbang saran, bantuan, serta dorongan yang telah diberikan. Kami menyadari bahwa disertasi ini masih memiliki beberapa kelemahan dan kekurangan, untuk itu segala kritik dan saran yang sifatnya membangun kami harapkan demi kesempurnaan disertasi di masa mendatang.

Akhir kata penulis menyampaikan limpah terima kasih dan harapan semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi para ilmuwan dan praktisi khususnya di bidang biodiesel nyamplung, serta memberikan inspirasi bagi pembaca.

Malang, 2 Mei 2019

SRI KURNIATI A.

DAFTAR ISI

Uraian	Hal
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	iii
RIWAYAT HIDUP.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
RINGKASAN.....	xii
SUMMARY.....	xiv
KATA PENGANTAR.....	xvi
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxii
DAFTAR TABEL.....	xxvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	5
1.3 Perumusan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II STUDI PUSTAKA.....	8
2.1 Review Hasil Penelitian Pengolahan Biodiesel.....	8
2.1.1 Karakteristik Biodiesel.....	8
2.1.2 Teknologi Pembuatan Biodiesel.....	10
2.1.3 Penggunaan Katalis pada Proses Transesterifikasi Biodiesel ...	13
2.2 Review Hasil Penelitian Karakteristik Kandungan Minyak Nyamplung (<i>Calophyllum Inophyllum</i>).....	15
2.3 Hasil Review Penggunaan Metode Baru untuk Produksi Biodiesel	18

2.3.1 Produksi Biodiesel dengan Metode Konvensional.....	18
2.3.2 Teknologi Gelombang Mikro (<i>Microwave</i>).....	19
2.3.3 Teknologi Ultrasonik.....	21
2.3.4 Kombinasi Teknologi Microwave dan Ultrasonik.....	23
2.4 Landasan Teori.....	23
2.4.1 Tanaman Nyamplung (<i>Calophyllum Inophyllum</i>).....	23
1. Gambaran Umum.....	23
2. Klasifikasi.....	24
3. Nama Daerah.....	25
4. Nama Perdagangan.....	25
2.4.2 Biodiesel.....	26
2.4.3 Bahan Baku Pengolahan Biodiesel.....	27
1. Minyak Nabati.....	27
2. Alkohol.....	28
3. Katalis.....	28
4. Gliserin.....	29
2.4.4 Berbagai Katalis pada Proses Pembuatan Biodiesel	29
2.4.5 Proses Pembuatan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel.....	31
1. Teori Dasar Pembuatan Biodiesel.....	31
2. Proses Pengolahan Biodiesel.....	32
2.4.6 Perpindahan Kalor.....	36
1. Perpindahan Kalor Induksi.....	36
2. Perpindahan Kalor Konveksi.....	40
3. Perpindahan Kalor Radiasi.....	42
2.4.7 Topologi Sistem Pemanas Induksi atau Induction Heating (IH).....	43
1. Umum.....	43
2. Dasar-Dasar Pemanasan Induksi (IH).....	44
3. Topologi Sistem Daya	47
4. Aplikasi Pemanas Induksi atau Induction Heater (IH).....	52
2.4.8 Komponen yang Digunakan dalam Rangkaian Induksi Elektromagnetik.....	57

1. Rangkaian Zero Voltage Switching (ZVS).....	57
2. Koil Kumbaran Induksi.....	58
3. Mikrokontroller Alduino.....	59
4. Sensor Tegangan.....	63
5. Sensor Arus.....	66
6. Sensor Suhu <i>Termocouple</i>	69
7. Display LCD.....	73
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....	75
3.1 Kerangka Pikir.....	75
3.2 Kerangka Operasional Penelitian.....	81
3.2.1 Penelitian Tahap I.....	81
3.2.2 Penelitian Tahap II.....	81
3.2.3 Penelitian Tahap III.....	84
3.3 Hipotesis.....	86
BAB IV METODE PENELITIAN.....	87
4.1 Tempat Penelitian.....	87
4.2 Waktu Penelitian.....	87
4.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	87
4.3.1 Alat yang Digunakan.....	87
4.3.2 Bahan yang Digunakan.....	88
4.4 Metodologi Penelitian.....	89
4.4.1 Penelitian Tahap I.....	89
1. Perancangan Disain Induksi Elektromagnetik.....	89
2. Pembuatan Alat.....	90
3. Pembuatan Program Mikrokontroller untuk Kontrol Suhu.....	91
4.4.2 Penelitian Tahap II.....	92
1. Degumming.....	92
2. Esterifikasi.....	92
3. Transesterifikasi.....	93
4. Analisis Densitas.....	93

5. Analisis Viskositas.....	93
6. Uji Kandungan Senyawa Kimia.....	93
7. Uji Kandungan Ester.....	94
4.4.3 Penelitian Tahap III.....	94
4.5. Disain Penelitian.....	94
4.6. Rancangan Percobaan.....	96
4.7. Prosedur Penelitian.....	96
4.8. Pengumpulan Data.....	97
4.8.1 Variabel Bebas.....	97
4.8.2 Variabel Terikat.....	97
4.8.3 Variabel Kendali.....	97
4.9 Analisis Data.....	97
4.9.1 Menghitung Daya.....	97
4.9.2 Menghitung Energi Listrik.....	97
4.9.3 Menghitung Faktor Emisi Karbon Dioksida.....	98
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1 Disain Alat Pemanas Induksi Elektromagnetik.....	99
5.1.1 Pembuatan Prototipe Alat.....	99
5.1.2 Pengujian Prototip.....	101
5.2 Proses Pengolahan Biodiesel Nyamplung.....	104
5.2.1 Proses <i>Degumming</i>	104
1. Pengujian Awal Bahan Baku.....	104
2. Hasil Degumming.....	105
3. Analisis Kandungan Kadar Gum.....	107
5.2.2 Proses Esterifikasi.....	108
1. Hasil Esterifikasi.....	108
2. Analisis FFA.....	111
5.2.3 Proses Transesterifikasi.....	113
1. Hasil Transesterifikasi.....	113
2. Analisis Kualitas Biodiesel.....	115

a. Analisis Rendemen.....	115
b. Analisis Viskositas.....	117
c. Analisis Densitas.....	118
3. Analisis Karakteristik Biodiesel Nyamplung.....	119
a. Analisis <i>Fatty Acid Methyl Esther</i> (FAME).....	119
b. Pengujian Komposisi Asam Lemak (Pengujian GC-MS).....	121
c. Pengujian Gugus Metil Ester dengan FTIR	125
5.3 Analisis Penggunaan Energi dan Lingkungan.....	128
5.3.1 Analisis Penggunaan Energi dan Waktu Pengolahan Biodiesel.....	128
5.3.2 Analisis Dampak Lingkungan.....	130
5.4 Pembahasan Hasil Penelitian.....	135
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	133
6.1 Kesimpulan	138
6.2 Saran.....	139
DAFTAR PUSTAKA.....	140
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	
Lampiran I. Data Pengukuran Suhu Tanpa Minyak.....	I-1
Lampiran II. Data Pengujian Laboratorium UGM.....	II-1
Lampiran III. Dara Rekaman Waktu Degumming.....	III-1
Lampiran IV. Data Pengujian FFA UB.....	IV-1
Lampiran V. Data Pengujian Esterifikasi.....	V-1
Lampiran VI. Data Pengujian Transesterifikasi.....	VI-1
Lampiran VII. Data Pengujian ANOVA.....	VII-1
Lampiran VIII Data Pengujian FT-IR.....	VIII-1
Lampiran IX. Data Pengujian GC-MS.....	IX-1
Lampiran X. Jurnal Internasional Terindeks Scopus.....	X-1
Lampiran XI. Jurnal Internasional II.....	XI-1

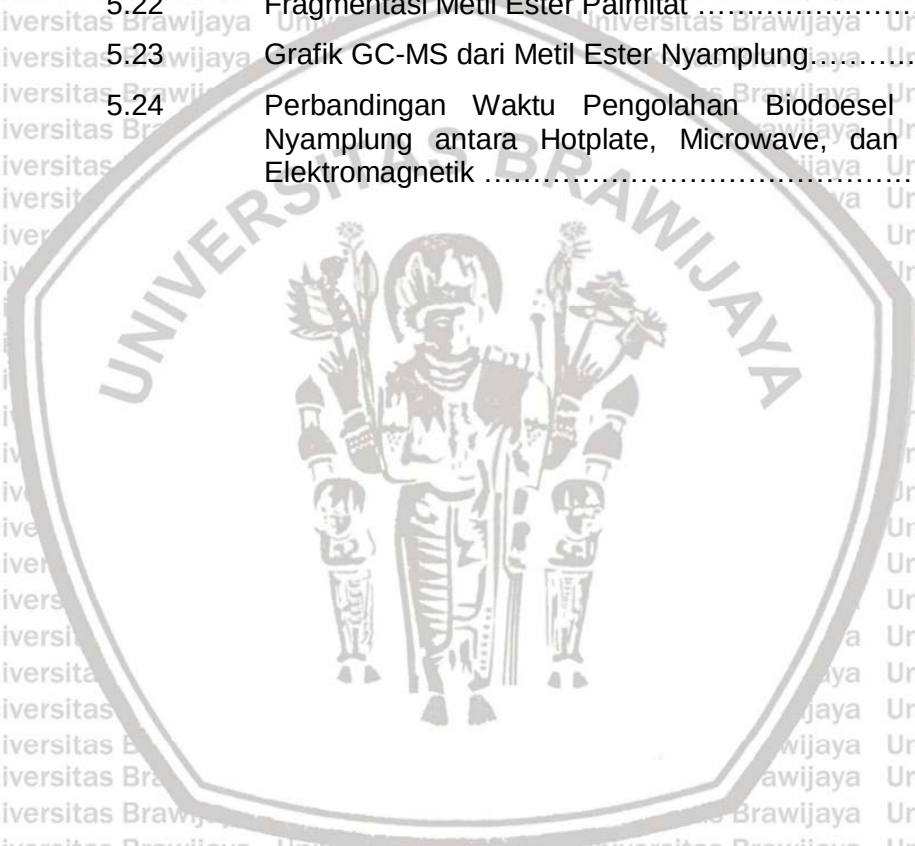
DAFTAR GAMBAR

Gambar	Uraian	Hal
2.1	Reaksi Transesterifikasi dengan Methanol.....	10
2.2	Reaksi Transesterifikasi ALB dengan Katalis Alkali Menghasilkan Sabun dan Air (Reaksi Penyabunan).....	12
2.3	Reaksi Hidrolisis Trigliserida dengan Air Menghasilkan Asam Lemak Bebas dan Digliserida.....	12
2.4	Reaksi Esterifikasi ALB dengan Metanol Menghasilkan Metil Ester dan Air.....	13
2.5	Gambar Pohon dan Buah Nyamplung.....	15
2.6	Struktur Molekul rigliserida.....	26
2.7	Konduksi pada Bidang Datar.....	38
2.8	Konduksi pada Dinding Berlapis (Lebih Dari Satu Bahan)	39
2.9	Analogi Perpindahan Panas Dalam Aliran Listrik.....	40
2.10	Perpindahan Panas Konveksi dari Permukaan Media padat ke Fluida yang Mengalir.....	41
2.11	Dasar – Dasar Teori Induksi.....	44
2.12	Distribusi Bagan Kerapatan Arus dan Ketebalan Kulit.....	47
2.13	Bentuk Gelombang Perangkat Switching.....	48
2.14	Rangkaian Resonansi.....	50
2.15	Kurva Frekuensi.....	52
2.16	Teori Operasi Pemanas IH.....	52
2.17	Inverter resonansi Seri Setengah Jembatan.....	54
2.18	Rangkaian Power Utama Inverter ½ Jembatan.....	55
2.19	Inverter Resonansi Kuasi.....	56

2.20	Rangkaian Utama.....	57
2.21	Rangkaian Resonansi Seri dengan Input Gelombang Kotak dari Inverter.....	57
2.22	Rangkaian Zero Switching Voltage.....	58
2.23	Kumparan Induksi.....	59
2.24	Mikrokontroler Alduino Uno.....	60
2.25	Sensor Tegangan.....	63
2.26	Rangkaian Pembagi Tegangan.....	64
2.27	Rangkaian Koneksi Arduino dengan Modul Sensor Tegangan.....	65
2.28	Sensor Arus.....	67
2.29	Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712.....	67
2.30	Rangkaian Koneksi Arduino dengan Modul Sensor Tegangan	69
2.31	Sensor Suhu Termokopel.....	70
2.32	Prinsip Kerja Termokopel.....	71
2.32	Display LCD.....	74
3.1	Diagram Laju Reaksi.....	77
3.2	Arah Medan Magnet Eddy Current Berlawanan dengan Arah Medan Magnet Kumparan.....	78
3.3	Bagan Alir Kerangka Konsep Penelitian.....	80
3.4	Bagan Kerangka Operasional Penelitian.....	85
4.1	Diagram Alir Kerja Kontrol Suhu.....	90
4.2	Blok Diagram Pemanas Induksi.....	90
4.3	Skema Rangkaian Pemanas Induksi.....	91
4.4	Disain Penelitian Metode Pemanas Konvensional.....	94
4.5	Disain Penelitian Metode Pemanasan Microwave.....	95

4.6	Disain Penelitian Metode Panas Induksi Elektromagnetik	95
4.7	Blok Diagram Sistem Pemanasan Induksi Elektromagnetik Menggunakan Mikrokontroller.....	96
5.1	Skema Rangkaian Pemanas Induksi.....	99
5.2	Prototipe Pemanas Induksi.....	99
5.3	Hasil Pengujian Suhu Tanpa Minyak dari Prototipe Induksi Elektromagnetik yang Dikontrol dengan Microkontroller.....	101
5.4	Hasil Pengujian Suhu Microwave dengan Daya yang bervariasi.....	102
5.5	Hasil Pengujian Suhu Hotplate.....	103
5.6	Perbandingan Hasil Pengujian Suhu antara Induksi Elektromagnetik, Microwave, dan Hotplate.....	103
5.7	Hasil Rekaman Waktu Proses Degumming.....	106
5.8	<i>Crude Oil</i> Nyamplung	106
5.9	Proses Pemisahan Air dan Minyak dengan Menggunakan Corong Pemisah.....	107
5.10	Grafik Hasil Rekaman Data Proses Esterifikasi dengan Menggunakan Induksi Elektromagnetik.....	109
5.11	Hasil Pengujian FFA dari Proses Esterifikasi Menggunakan Asam Sulfat dan HCL.....	111
5.12	Perbandingan FFA dari Metode Hotplate, Microwave, dan Induksi Elektromagnetik.....	112
5.13	Hasil Rekaman Data Waktu Transesterifikasi.....	114
5.14	Hasil Transesterifikasi Minyak Nyamplung.....	115
5.15	Perbandingan Kesetimbangan Massa.....	116
5.16	Perbandingan Rendemen Minyak untuk Ketiga Metode Pemanasan Berdasarkan Proses Transesterifikasi.....	117
5.17	Hasil FAME terhadap Waktu Transesterifikasi dari Ketiga Metode Pemanasan.....	120

5.18	Grafik FTIR dari Metil Ester Nyamplung.....	122
5.19	Fragmentasi Metil Ester Linoleat: (a) Puncak 6; (b) Puncak 7.....	124
5.20	Fragmentasi Metil Ester Oleat.....	124
5.21	Fragmentasi Metil Ester Stearat.....	125
5.22	Fragmentasi Metil Ester Palmitat	125
5.23	Grafik GC-MS dari Metil Ester Nyamplung.....	126
5.24	Perbandingan Waktu Pengolahan Biodiesel Minyak Nyamplung antara Hotplate, Microwave, dan Induksi Elektromagnetik	129



Tabel	Universitas Brawijaya	Uraian	Universitas Brawijaya	Hal
-------	-----------------------	--------	-----------------------	-----

xxvi

5.3	Hasil Perbandingan Esterifikasi dari ketiga Metode Pemanasan pada Suhu 60°C.....	110
5.4	Hasil Anova Single Factor dengan Perlakuan Waktu Pemanasan	112
5.5	Pengujian Viskositas dan Densitas.....	118
5.6	Komponen Mayor Berdasarkan Hasil Analisis GC-MS	122
5.7	Gugus Fungsi Biodiesel Nyamplung berdasarkan Grafik FTIR.....	127
5.8	Perbandingan Komsumsi Energi untuk Minyak Inophyllum Calophyllum.....	130
5.9	Emisi Karbon Dioksida yang Dihasilkan dari Penggunaan Listrik Berdasarkan Proses Pengolahan Biodiesel.....	131
5.10	Faktor Emisi (EF).....	133
5.11	Nilai GWP pada Second Assesment Report yang Digunakan Perhitungan Inventarisasi.....	134

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Uraian	Hal
I	Data Pengukuran Suhu Tanpa Minyak.....	I-1
II	Data Pengujian Lab. UGM.....	II-1
III	Rekaman Degumming.....	III-1
IV	Pengujian FFA UB.....	IV-1
V	Data Pengujian Esterifikasi UB.....	V-1
VI	Rekaman Transesterifikasi.....	VI-1
VII	Analisis aNOVA.....	VII-1
VIII	Data Pengujian FT-IR.....	VIII-1
IX	Data Pengujian GC-MS.....	IX-1
X	Jurnal International Terindeks Scopus dan Berimpact Factor (Q2).....	X-1
XI	Jurnal Internasional Terindeks DOAJ.....	XI-1

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi dunia yang terjadi pada abad terakhir ini mendorong pengembangan energi alternatif dengan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan (*renewable resources*). Salah satu sumber energi alternatif yang sedang dikembangkan saat ini adalah biofuel yang dapat menggantikan minyak bensin atau biodiesel yang dapat menggantikan minyak solar. Disisi lain, pencemaran oleh emisi gas buang dari kendaraan dan industri merupakan sumber pencemar utama di beberapa kota besar bukan saja di Indonesia, bahkan di negara lain. Beberapa hasil penelitian terdahulu menjelaskan gas buang kendaraan bermotor mempunyai kontribusi sebagai penghasil emisi karbon monoksida dan hidrokarbon mencapai lebih dari 90%. Alat transportasi darat secara signifikan menjadi sumber polusi udara di abad terakhir (Blanco, et al, 2013). Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh pada tingkat pencemaran dari emisi gas buang kendaraan bermotor, antara lain teknologi kendaraan bermotor, kualitas bahan bakar, perawatan mesin kendaraan, kemacetan yang sering terjadi.

Peningkatan *mono-nitrogen-oksida* (NO_x) dapat dihilangkan secara efektif dengan adanya penggunaan mesin secara normal. Disisi lain, bahwa potensi pembentukan ozon dari emisi hidrokarbon biodiesel murni dapat dihilangkan hampir 50% lebih sedikit dibanding dengan bahan bakar minyak diesel. Selain itu, biodiesel tidak mengandung sulfur, oleh karena itu biodiesel dapat mengurangi pembuangan sulfur dioksida dari mesin diesel. Sebagai bahan bakar terbarukan yang berasal dari bahan organik, biodiesel dan campuran biodiesel dapat mengurangi jumlah karbon dioksida ke atmosfer. Hasil studi dari Departemen Energi Amerika Serikat, telah menemukan bahwa penggunaan biodiesel dibandingkan dengan diesel minyak bumi, menghasilkan emisi CO₂ kurang dari 78,5%. Biodiesel dapat mengurangi polusi sebesar 41% dibandingkan dengan solar, mengurangi polutan udara, dan memiliki dampak minimal terhadap kesehatan manusia.

Oleh karena itu, untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan diperlukan beberapa langkah, salah satu diantaranya, adalah penggunaan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Bahan bakar energi terbarukan merupakan salah satu peluang dimasa mendatang yang dapat mengurangi polusi.

Dimana bahan bakar ini dapat memenuhi kriteria sebagai sumber energi diantaranya, ketersediaan stok cukup banyak, dapat diperbaharui/terbarukan, tidak menghasilkan polusi atau emisi gas yang berbahaya. Penelitian telah difokuskan mengembangkan bahan bakar cair alternatif seperti *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Bahan bakar yang sedang diteliti dan dikembangkan sekarang ini, adalah bahan bakar yang berbentuk cairan sebagai pengganti solar atau **Biodiesel**. Bahan bakar biodiesel biasanya diproses dari lemak hewan atau minyak nabati. Minyak nabati yang juga dikenal sebagai trigliserida memiliki struktur kimia yang terdiri dari 98% trigliserida, dan sisanya diglisrida (Barnwal dan Sharma, 2005). Biodiesel biasanya diperoleh dari hasil proses esterifikasi transesterifikasi atau transesterifikasi langsung menjadi minyak atau lemak. Biodiesel tidak mengandung unsur petroleum, tetapi biodiesel dapat dicampur pada level apapun dengan minyak diesel untuk menghasilkan campuran biodiesel ataupun digunakan secara murni. Biodiesel memiliki bilangan setana yang lebih tinggi jika dicampur dengan minyak diesel.

Menurut Barnwal, et al., (2005), biodiesel dianggap karbon netral, karena karbon dioksida dilepaskan ke atmosfer setelah dikonsumsi sebagai bahan bakar dan telah didaur ulang atau digunakan kembali untuk pertumbuhan tanaman minyak nabati. Biodiesel memiliki angka cetane yang lebih tinggi dari pada solar karena sifatnya asam lemak rantai panjang dengan ikatan ganda 2–3, tanpa aromatik dan mengandung 10-11% oksigen menurut beratnya. Karakteristik yang dimiliki oleh biodiesel ini dapat mengurangi emisi karbon dioksida (CO), hidrokarbon (HC) dan partikulat dalam gas buang dibandingkan dengan solar (Graboski, MS., 1998).

Biodiesel memiliki kandungan energi yang lebih rendah daripada petrodiesel, oleh karena itu, membutuhkan lebih banyak bahan bakar untuk menghasilkan energi yang sama dibandingkan bahan bakar petrodiesel. Rajesh dkk. (2008), telah menyebutkan bahwa pembakaran dengan menggunakan biodiesel berkurang sekitar 11% dibandingkan dengan solar. Namun, mengingat dampak lingkungan melalui emisi, biodiesel telah dilaporkan mengeluarkan polutan yang lebih rendah dibandingkan dengan diesel.

Berkaitan dengan penggunaan bahan bakar alternatif, maka beberapa peneliti telah melakukan *treatment* terhadap beberapa tanaman/buah-buahan yang bisa diolah menjadi bahan bakar sebagai pengganti solar atau bensin. Salah

satu tumbuhan yang berpotensi menjadi energi terbarukan, yakni buah nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) (Puspitahati, dkk, 2011). Keunggulan dari tanaman nyamplung (buah nyamplung) sebagai bahan baku nabati, yakni bijinya mempunyai tingkat rendeman lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tanaman lainnya (jarak pagar 40-60%, sawit 46-54%, dan nyamplung 40-74%). Kemudian, Joker (2004) mengemukakan kelebihan lain dari tanaman nyamplung yakni, tidak berkompetisi dengan kepentingan pangan. Berdasarkan informasi dari Departemen Kehutanan (2008), produktivitas biji nyamplung setiap tahun adalah 20 ton/ha lebih banyak dibandingkan jarak pagar sebanyak 5 ton/ha, kelapa sawit sebanyak 6 ton/ha, dan tanaman nabati lainnya.

Nyamplung memiliki kandungan minyak yang sangat tinggi (75%) dan mengandung sekitar 71% lemak tak jenuh asam (Said, et al, 2007). Hal ini diperoleh dengan cara pengolahan/pengepresan berupa minyak kuning kehijauan, mirip dengan minyak zaitun, dengan bau aromatik dan rasa hambar. Biasanya berbuah dua kali setahun dan menghasilkan hingga 100 kg dan sekitar 18 kg minyak (Dweck, dan Meadowsy, 2002). Menurut Rahman dan Prabaswara (2008), dibanding dengan minyak tanah atau kerosin, minyak nyamplung mempunyai viskositas yang lebih tinggi, dengan daya kapilaritas yang lebih rendah dari minyak tanah atau kerosin. Oleh karena itu, minyak nyamplung harus diproses dulu melalui *degumming* agar dapat digunakan sebagai bahan bakar biokerosin (Departemen Kehutanan, 2008). Kemudian Kraftiadi (2011) menjelaskan, rendeman minyak nyamplung pada proses pengempaan atau pengepresan antara 40 - 70% dari massa biji kering. Sedangkan dari hasil proses *degumming*, rendemen minyak nyamplung yang dihasilkan mencapai 62,80 – 65,89% (Fathiyah, 2010).

Berkaitan dengan pengolahan minyak nyamplung menjadi biodiesel, umumnya proses pengolahan biodiesel melalui beberapa tahapan. Sama seperti dengan pengolahan minyak sawit atau jarak pagar, pada pengolahan biodiesel nyamplung menggunakan sistem thermal/pemanasan. Metode pengolahan biodiesel secara fisik dengan pemanasan (*thermal processing*) masih merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam industri-industri pengolahan biodiesel hingga sekarang ini. Prosedur untuk menghasilkan biodiesel diawali dengan pengepresan biji nyamplung yang sudah dikeringkan kemudian di *press* menggunakan alat mekanis menjadi minyak mentah nyamplung (*Crude*

Calophyllum Oil / CCO). Melalui proses degumming akan dihasilkan *Refined Crude Calophyllum Oil* (RCCO) dilanjutkan dengan proses esterifikasi akan dihasilkan minyak *Ester*, dan dengan proses transesterifikasi akan dihasilkan *Crude Biodiesel* untuk selanjutnya dengan proses *washing* dan *drying* akan dihasilkan biodiesel. Oleh karena biji nyamplung mengandung zat ekstraktif yang sangat tinggi, maka dibutuhkan proses waktu pengukusan yang lebih lama dan pemisahan getah atau *gum* yang biasa dikenal sebagai istilah *degumming* dengan konsentrasi tinggi. Tujuannya adalah untuk memisahkan minyak dari getah yang berupa *fostatida*, protein, karbohidrat, residu, air dan resin. Proses *degumming* dilakukan dengan menambahkan asam fosfat (H_2SO_4) dengan perbandingan tertentu (biasanya 5% v/v), sehingga akan terbentuk senyawa fosfasida yang mudah terpisah dari minyak. Hasil dari proses degumming akan menghasilkan minyak mentah (*crude oil*) dan terlihat perubahan warna dari minyak asalnya (hitam kehijauan) menjadi kemerah-merahan.

Dengan adanya beberapa tahapan dalam pengolahan biodiesel menyebabkan tingginya biaya produksi biodiesel, sehingga implementasi proses produksi yang secara operasional tidak efisien. Diantaranya, dalam proses degumming dilakukan pemanasan pada suhu $80^{\circ}C$ selama 30 menit, sampai terjadi endapan. Kemudian, dilanjutkan proses esterifikasi dengan pemanasan selama 1 - 2 jam pada temperatur 60° dan transesterifikasi dengan pemanasan selama kurang lebih 1 jam pada temperatur $30 - 65^{\circ}C$. Hal ini juga telah dikemukakan oleh Motasemi dan Ani (2012), yaitu pengolahan biodiesel dengan sistem konvensional biasanya menggunakan sumber panas eksternal dengan suhu tinggi. Karena menggunakan sistem konveksi dan konduksi, maka kelemahan dari sistem ini adalah transfer panas berlangsung kurang efektif dan menggunakan energi yang besar dengan waktu yang cukup lama.

Oleh karena itu, untuk mengurangi biaya proses produksi pengolahan biodiesel, diperlukan alternatif dengan mencari peluang baru sistem pengolahan biodiesel sebagai pengganti sistem konvensional. Untuk memenuhi syarat sebagai metode alternatif, teknologi baru harus memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas, biaya teknologi, dan dampak terhadap lingkungan. Berbagai metode telah dilakukan oleh beberapa peneliti dalam melakukan pengolahan biodiesel sebagai pengganti metode konvensional, seperti penggunaan radiasi gelombang mikro (*microwave*) (Saifuddin dan Chua, 2004), (Rhesa, dkk., 2012), (Haryanto, dkk,

2015). Pemanasan dengan menggunakan *microwave* mempunyai kelebihan diantaranya, panas lebih merata, dan perpindahan panas bukan dari luar, tetapi membangkitkan panas dari dalam bahan tersebut. Selain itu, pemanasannya juga tidak bersifat selektif, dan tidak bergantung pada sifat-sifat dari dielektrik bahan. Selain itu, gelombang mikro dapat merambat dan melewati cairan sehingga proses pemanasannya lebih singkat dan lebih efektif dalam proses pembuatan biodiesel (Barnard et al., 2007). Dalam hal ini, menurut Demirbas (2008) dan Meher, et al., (2006) menjelaskan bahwa ada beberapa variabel yang mempengaruhi mutu biodiesel, yakni suhu reaksi, waktu reaksi, jenis katalis, alkohol / rasio molar minyak, kemurnian reaktan dan kandungan asam lemak bebas.

Berkaitan dengan kelebihan sistem pemanasan *microwave*, maka akan dikembangkan suatu metode baru dalam sistem pengolahan biodiesel yang akan diperkenalkan dalam penelitian ini, yakni penggunaan metode pemanasan induksi. (Kurniati, et. al., 2019). Teknologi pemanas induksi (*induction heater*) telah banyak diaplikasikan pada pembuatan kompor induksi dan mampu memberikan panas yang lebih cepat dibanding dengan gelombang micro wave. Dalam sistem *induction heater*, panas yang dihasilkan diperoleh dari arus listrik AC (*alternating current*) dari *power supply* yang mengalir melalui koil/kumparan yang terbuat dari kawat /pipa tembaga. Arus listrik selanjutnya akan menimbulkan medan elektromagnet yang besarnya berubah-ubah (tergantung besarnya sumber tegangan yang diberikan). Medan elektromagnet ini akan membangkitkan arus listrik dengan frekuensi tinggi yang mengalir pada material logam yang ada di dalamnya. Arus listrik yang timbul ini biasanya disebut *eddy current* atau arus eddy yang menghasilkan panas sehingga dapat dimanfaatkan untuk memanaskan dan mencairkan logam tersebut (Raharjo dan Kusharjanta, 2013).

1.2 Identifikasi Masalah

Tingginya biaya proses pengolahan biodiesel dan penggunaan waktu yang lama dalam proses pemanasan suhu memerlukan inovasi sistem pengolahan biodiesel. Dalam hal ini, proses pemanasan yang dilakukan mulai tahap degumming, esterifikasi dan transesterifikasi merupakan tahapan yang perlu diperhatikan. Berdasarkan kondisi ini, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Tahapan proses pengolahan biodiesel mulai dari pemisahan getah sampai pada pemisahan ester dan gliserin secara konvensional masih membutuhkan waktu yang lama.
2. Minyak nyamplung mempunyai asam lemak yang tinggi sehingga memerlukan 2 kali proses esterifikasi.
3. Proses pemanasan degumming yang membutuhkan waktu selama 30 menit, proses esterifikasi dengan pemanasan selama 1-2 jam dan transesterifikasi dengan pemanasan selama 1 jam merupakan pertimbangan dalam hal penggunaan bahan bakar dan berpengaruh terhadap biaya produksi.

1.2 Perumusan Masalah

2. Bagaimana merancang alat pemanasan radiasi induksi elektromagnetik untuk kebutuhan pengolahan biodiesel dengan waktu yang lebih singkat dengan kontrol suhu secara *real time*.
3. Bagaimana perbandingan waktu proses, kualitas minyak, dan karakteristik pengolahan biodiesel minyak nyamplung antara metode pemanasan hotplate (konvensional), *microwave*, dan metode radiasi panas induksi elektromagnetik.
4. Apakah penggunaan konsumsi energi listrik dari metode radiasi panas induksi elektromagnetik mempunyai pengaruh terhadap dampak lingkungan yang berkaitan dengan emisi karbon, dan bagaimana kelebihanannya bila dibandingkan dengan kedua metode pemanasan *hotplate* dan *microwave*.

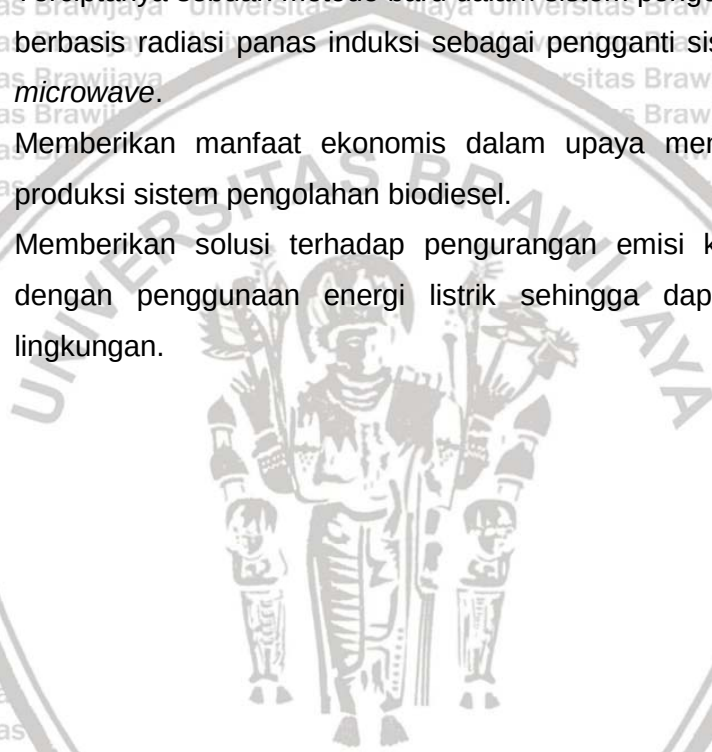
1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang alat pemanasan radiasi induksi elektromagnetik untuk kebutuhan pengolahan biodiesel dengan waktu yang lebih singkat dengan kontrol suhu secara *real time*.
2. Untuk mengetahui perbandingan waktu proses (degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi), kualitas minyak (densitas, viscositas), dan karakteristik (kandungan senyawa kimia, dan kandungan ester) pengolahan biodiesel minyak nyamplung antara metode pemanasan hotplate (konvensional), *microwave*, dan metode radiasi panas induksi elektromagnetik.
3. Melakukan analisis penggunaan konsumsi energi listrik dari metode radiasi panas induksi elektromagnetik dan pengaruhnya terhadap dampak lingkungan yang berkaitan dengan emisi karbon dari ketiga metode pemanasan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian ini dititikberatkan pada penggunaan radiasi panas induksi yang membawa radiasi kalor untuk pengolahan minyak nyamplung menjadi biodiesel. Dalam hal ini analisis variasi peningkatan suhu dari keluaran induksi kumparan elektromagnetik terhadap perubahan komposisi minyak nyamplung akan dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Terciptanya sebuah metode baru dalam sistem pengolahan minyak biodiesel berbasis radiasi panas induksi sebagai pengganti sistem konvensional dan *microwave*.
2. Memberikan manfaat ekonomis dalam upaya mengurangi biaya proses produksi sistem pengolahan biodiesel.
3. Memberikan solusi terhadap pengurangan emisi karbon yang berkaitan dengan penggunaan energi listrik sehingga dapat mengurangi polusi lingkungan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Review Hasil Penelitian Pengolahan Biodiesel

2.1.1 Karakteristik Biodiesel

Produksi dan penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) alternatif merupakan kebutuhan utama untuk memenuhi kekurangan terhadap kebutuhan BBM fosil yang semakin meningkat. Produksi biodiesel dapat diperoleh dari minyak nabati, lemak hewani dan sisa dari minyak jelantah atau lemak sisa minyak penggorengan). Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibanding bahan bakar *Diesel Petroleum*. Kelebihan tersebut antara lain:

1. Merupakan bahan bakar yang tidak beracun dan dapat di biodegradasi
2. Mempunyai bilangan setana yang tinggi dibanding dengan bahan bakar diesel konvensional.
3. Termasuk jenis bahan bakar energi terbarukan (*renewable energy*)
4. Mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan NOx.
5. Terdapat dalam fase cair.

Biodiesel merupakan minyak nabati murni yang diolah dan kemudian digunakan sebagai bahan bakar diesel yaitu, *alkil ester* yang diperoleh dari minyak nabati atau lemak hewani, ataupun pencampuran bahan bakar diesel konvensional dengan biodiesel. Sebagai alternatif misalnya, dilakukan pencampuran antara solar dan biodiesel dengan perbandingan antara 95% solar dan 5% biodiesel (B5) hingga 80% solar dan 20% biodiesel (B20). Menurut *American Society for Testing and Materials* (ASTM) biodiesel mengandung *mono alkil ester* yang mempunyai rantai asam lemak panjang yang diperoleh dari *lipid/biji*. Sementara Helzamy (2004) mengatakan, biodiesel dapat diperbaharui seperti minyak nabati atau lemak hewani dan dapat digunakan pada mesin pembakaran dengan tekanan seperti mesin diesel. Keuntungan biodiesel adalah:

1. Proses produksinya tidak diperlukan energi yang terlalu besar, dimana proses transesterifikasi pada pembuatan biodiesel dapat direaksikan pada temperatur yang rendah ($<100^{\circ}\text{C}$) pada tekanan atmosfer.
2. Ditinjau dari emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan NOx yang dihasilkan dari proses pembakaran biodiesel lebih rendah jika dibandingkan dengan emisi pembakaran minyak diesel konvensional.

3. Produk samping yang dihasilkan dari proses pembuatan biodiesel yang berupa gliserol mempunyai nilai jual, yakni dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan produk lain seperti, kosmetika, deterjen/sabun.
 4. Biodiesel tingkat keracunannya rendah.
 5. Biodiesel mudah terurai oleh mikroorganisme.
 6. Karena memiliki *flash-point* yang tinggi, maka biodiesel aman dalam proses penyimpanannya.
 7. Biodiesel merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui
- Minyak biodiesel dapat langsung digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi mesin atau mesin khusus. Hal ini disebabkan sifat sifat yang dimiliki oleh biodiesel mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama dengan minyak diesel konvensional. Tabel 2.1 memperlihatkan perbandingan antara biodiesel dan bahan bakar diesel konvensional.

Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Biodiesel dan Diesel

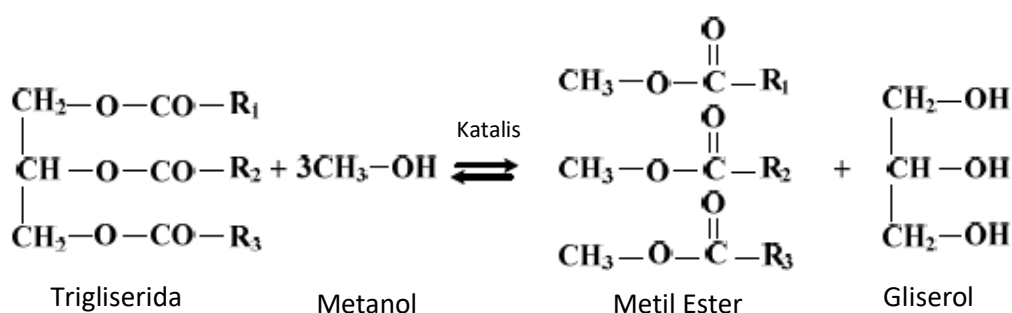
Sifat-Sifat Bahan Bakar	Diesel	Biodiesel
Standar analisa bahan bakar	ASTM D975	ASTM-PS 121
Komposisi bahan bakar	C10 - C21 HC	C12-C22 FAME
Lower Heating Value, Btu/gal	131,295	117,093
Viscositas kinematic, pada suhu 40°C	1,3 – 4,1	1,9 – 6,0
Specific gravity, kg/L pada suhu 60°F	0,85	0,88
Densitas, lb/gal pada 15°C	7,079	7,328
Kandungan air, ppm	161	0,055 maksimum
Kandungan karbon, % berat	87	77
Kandungan hidrogen, % berat	13	12
Kandungan oksigen, % berat	0	11
Kandungan sulfur, % berat	0,05 maksimum	0,0 – 0,024
Titik didih, °C	188 – 343	182 – 338
Flash point, °C	60 – 80	100 – 170
Cloud point, °C	-15 sampai 5	-3 sampai 12
Pour point, °C	-35 sampai -15	-15 sampai 10
Bilangan setana	40 – 55	48 – 65
Perbandingan stoikiometri udara terhadap bahan bakar, berat	15	13,8

Biodiesel mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Umumnya biodiesel mempunyai *flash point* yang tinggi ($>150^{\circ}\text{C}$) dan *alkil ester* nya tidak *volatile* dengan batas suhu antara $100-170^{\circ}\text{C}$.
2. Pengujian abu sulfat dilakukan untuk menghilangkan semua katalis yang masih tersisa selama proses pembuatan. Apabila masih ada kandungan yang tersisa akan menyebabkan terbentuknya endapan pada injektor atau penyumbatan pada saringan mesin.
3. Mempunyai bilangan setana yang menunjukkan tingkat kecepatan suatu bahan bakar terbakar dalam mesin.
4. Bilangan gliserin bebas dan gliserin yang dihasilkan diukur untuk mendapatkan kesempurnaan adanya trigliserida yang diubah menjadi metil ester. Bilangan gliserin tidak boleh tinggi karena dapat menyebabkan kerusakan mesin.
5. Bilangan asam diukur untuk melihat tingkat keasaman suatu bahan bakar diesel. Apabila bilangan asam tinggi, akan menyebabkan pengurangan waktu pemakaian pompa bahan bakar dan juga dapat mengurangi waktu pemakaian saringan pada mesin.

2.1.2 Teknologi Pembuatan Biodiesel

Prinsip dasar pembuatan biodiesel adalah transesterifikasi trigliserida dan esterifikasi asam lemak bebas (ALB). Reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Reaksi Transesterifikasi dengan Methanol

Gambar 2.1 memperlihatkan reaksi transesterifikasi trigliserida dengan methanol menghasilkan metil ester dan gliserol, dimana R₁, R₂, R₃ adalah hidrokarbon rantai panjang, yang biasa disebut rantai asam lemak. Terdapat lima (5) jenis rantai utama dalam minyak nabati dan minyak hewani: *palmitat*, *stearat*, *oleat*, *linoleat*, dan *linolenat*.

Secara bertahap trigliserida dikonversikan menjadi *digliserida*, *monogliserida*, dan terakhir menjadi *gliserol*, 1 mol ester lemak dibebaskan pada setiap langkah (Ma dan Hanna, 1999). Biasanya, metanol merupakan alkohol yang biasa digunakan untuk memproduksi biodiesel, karena biaya rendah. Secara stoikiometri, reaksi transesterifikasi memerlukan 3 mol alkohol per 1 mol trigliserida untuk menghasilkan 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Reaksi ini adalah reaksi yang dapat balik. Oleh karena itu, agar reaksi transesterifikasi bergeser ke kanan, maka diperlukan alkohol berlebihan di dalam reaksi. Laju reaksi memberikan level tertinggi, jika kelebihan 100% metanol digunakan.

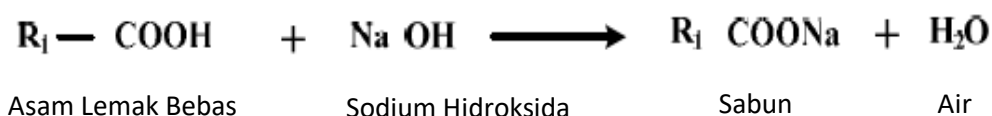
Dalam proses pengolahan di industri, nisbah molar (alkohol :minyak) 6:1 biasanya digunakan untuk memperoleh hasil metil ester yang lebih dari 98% (Srivastava dan Prasad, 2000; Meher et al., 2006). Biasanya, katalis digunakan untuk meningkatkan laju reaksi dan konversi (Meher et al., 2006). Tabel 2.2 memperlihatkan perbandingan berbagai teknologi untuk menghasilkan biodiesel. Umumnya, metode yang biasa digunakan dalam produksi biodiesel adalah transesterifikasi minyak nabati dengan metanol, dengan menggunakan katalis alkali, asam, enzim atau tanpa katalis (*alcohol super-critis*). Metode alkohol superkritis adalah metode transesterifikasi trigliserida dengan alkohol pada suhu dan tekanan diatas titik-kritis alkoholnya tanpa menggunakan katalis (Saka dan Kusdiana, 2001; Kusdiana dan Saka, 2004; Song et al., 2008).

Tabel 2.2 Perbandingan Berbagai Teknologi untuk Menghasilkan Biodiesel

No.	Variabel	Katalis Alkali	Katalis Lipase	Katalis Asam	Superkritis Alkohol
1.	Suhu Reaksi (°K)	60 - 70	30 - 40	55 - 80	339-385
2.	ALB dalam bahan baku	Produk tersabunkan	Metil Ester	Ester	Ester
3.	Air dalam Bahan Baku	Mengganggu reaksi	Tidak berpengaruh	Mengganggu Reaksi	-
4.	Hasil Metil Ester	Normal	Lebih Tinggi	Normal	Bagus
5.	Perolehan kembali gliserol	Sukar	Mudah	Sukar	-
6.	Pemurnian metil ester	Pencucian ulang	Tidak ada	Pencucian ulang	-
7.	Biaya Katalis dalam produksi	Murah	Relatif mahal	Murah	Sedang

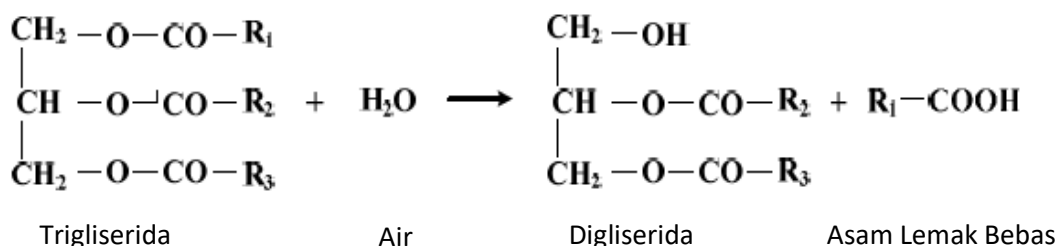
(Sharma dan Sing, 2009)

Selanjutnya, salah satu variabel penting yang mempengaruhi hasil biodiesel dari proses transesterifikasi, adalah: suhu reaksi, nisbah molar alkohol dan minyak, katalis, lama reaksi, kandungan air, ALB, dan intensitas pengadukan (Ma et al., 1999; Srivastava dan Prasad, 2000; Caili dan Kusefoglu, 2008; Akgun dan Iscan, 2008). Laju reaksi sangat ditentukan oleh suhu reaksi, oleh karena itu, menurut Srivastava dan Prasad (2000), reaksi ini biasanya harus dilakukan mendekati titik didih alkohol pada tekanan atmosfer. Untuk proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis alkali, maka katalis alkali yang digunakan akan bereaksi dengan ALB untuk membentuk sabun dan air (Gambar 2.2). Sebenarnya reaksi ini tidak diinginkan karena produk sabun dapat menurunkan hasil biodiesel dan menghambat pemisahan ester dari gliserol. Selain itu, ia berikatan dengan katalis, hal ini menyebabkan katalis akan diperlukan lebih banyak dalam reaksi dan dengan demikian proses akan melibatkan biaya yang lebih tinggi (Gerpen, 1996).



Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi ALB dengan Katalis Alkali Menghasilkan Sabun dan Air (Reaksi Penyabunan)

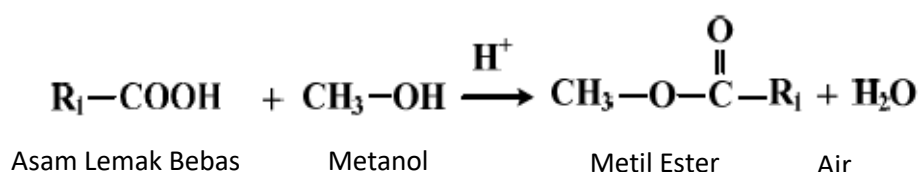
Kandungan air yang dihasilkan baik berasal dari minyak dan lemak atau dibentuk selama reaksi penyabunan akan memperlambat transesterifikasi reaksi melalui reaksi hidrolisis. Ia dapat menghidrolisis trigliserida menjadi digliserida dan membentuk ALB. Gambar 2.3 memperlihatkan reaksi hidrolisis.



Gambar 2.3 Reaksi Hidrolisis Trigliserida dengan Air Menghasilkan Asam Lemak Bebas dan Digliserida

(Leung et al., 2010)

Namun demikian, ALB dapat bereaksi dengan alkohol membentuk ester (biodiesel) melalui reaksi-esterifikasi menggunakan katalis-asam. Reaksi ini sangat berguna untuk penanganan minyak atau lemak dengan ALB tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Leung et al., 2010).



Gambar 2.4 Reaksi Esterifikasi ALB dengan Metanol Menghasilkan Metil Ester dan Air

Perbedaan transesterifikasi dengan esterifikasi adalah, pada reaksi yang pertama, tri-ester dikonversi menjadi ester secara individu, maka disebut dengan transesterifikasi. Pada reaksi yang kedua, ester baru diciptakan, sehingga disebut dengan esterifikasi (Turner, 2005).

2.1.3 Penggunaan Katalis pada Proses Transesterifikasi Biodiesel

Terdapat beberapa metode pengolahan produksi biodiesel seperti metode homogen, heterogen dan metode non-katalitik tergantung pada jenis katalis yang digunakan dalam proses. Secara tradisional, metode homogen merupakan metode yang digunakan dalam banyak produksi biodiesel komersial. Namun, metode ini memiliki banyak kelemahan dibanding dengan metode transesterifikasi heterogen terutama pada pemisahan dan pemurnian produk metil ester (Ma dan Hanna, 1999; Fukuda, et al., 2001; Gerpen, 2005; Demirbas, 2007a; Singh, 2008).

Dalam metode homogen, reaktan, katalis dan metil ester semua berada dalam fase-cair, sehingga menghasilkan proses pemisahan cair ke cair yang kompleks. Katalis yang larut sepenuhnya dalam lapisan gliserin dan sebagian di lapisan metil ester. Oleh karena itu, biodiesel harus dibersihkan melalui proses pencucian air yang lambat dan tidak ramah lingkungan. Gliserin yang terkontaminasi dengan katalis memiliki nilai lebih murah di pasar saat ini (Demirbas, 2007b).

Di sisi lain, metode heterogen, yang menggunakan katalis padat, tidak memiliki keterbatasan seperti katalis homogen. Proses pemisahan padat-cair relatif lebih mudah dibandingkan dengan proses pemisahan cair ke cair membuat pemulihan katalis padat jauh lebih mudah. Disamping itu, metode heterogen menghilangkan pembentukan sabun, sehingga menghilangkan kebutuhan air dan mencegah pembentukan emulsi dalam campuran yang dapat menyulitkan proses pemisahan dan pemurnian. Saat ini ada banyak katalis heterogen layak yang digunakan dalam proses transesterifikasi seperti oksida logam dan telah banyak diuji coba oleh beberapa peneliti seperti yang ada dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Daftar Beberapa Peneliti yang telah Menggunakan Katalis Heterogen untuk Proses Transesterifikasi

No.	Nama Peneliti	Tahun	Jenis Katalis
1.	Kim, et al.	2004	Oksida Logam
2.	Liu et al.	2007	Oksida Logam
3.	Yang and Xie	2007	Oksida Logam
4.	Granados et al.	2007	Oksida Logam
5.	Kansedo et al.	2009	Oksida Logam
6.	Ferreira et al.	2007	Kompleks Logam
7.	Xie and Li	2006	logam aktif dimuat pada penyangga
8.	Suppes et al. 2004	2004	Zeolite
9.	Shibasaki-Kitikawa et al.	2007	Resin
10.	Lo'pez et al.	2007	Resin
11.	Guerreiro et al.	2006	Membran
12.	Dube et al.	2007	Membran
13.	Ranganathan et al.	2008	Lipase
14.	Chantrell et al.	2005	Hidrotalsit

Saat ini sudah terdapat beberapa katalis heterogen yang sudah dipatenkan dan digunakan dalam produksi komersial biodiesel. Jenis katalis ini memiliki aktivitas tinggi terhadap proses transesterifikasi. Di antara beragam katalis, CaO merupakan salah satu katalis heterogen memiliki sifat yang baik seperti kebasaaan lebih tinggi, kelarutan rendah, harga yang lebih murah, dan lebih mudah untuk menangani daripada KOH (Huaping et al., 2006). Berbagai percobaan transesterifikasi menggunakan katalis CaO telah dilaporkan. Namun, sebagian besar dari katalis tersebut ditambahkan bahan kimia tertentu dan

digunakan pada minyak selain minyak jarak, seperti pada minyak kedelai (Kouzu et al., 2007 dan 2008; Liu et al., 2008; Yang et al., 2007), minyak bunga matahari (Granados et al., 2007; Demirbas, 2007b), minyak rapeseed (Huaping et al., 2006; Yan et al., 2008) dan microalgae (Umdu et al., 2009). Hanya satu dari katalis ini digunakan pada jarak pagar (Huaping et al., 2006), dimana CaO komersial direndamkan pada larutan ammonium karbonat sebelum dikalsinasi. Karena metode cuci air tidak cocok untuk memurnikan biodiesel yang disintesis menggunakan katalis CaO, maka pemurnian biodiesel dilakukan dengan menggunakan asam sitrat (Huaping et al. 2006).

2.2 Review Hasil Penelitian Karakteristik Kandungan Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*)

Tanaman nyamplung (*Calophyllum-inopyllum*) umumnya tumbuh liar disepanjang sungai atau pinggir pantai sampai ketinggian 600 m dari permukaan laut. Batangnya besar dan dengan ketinggian yang bisa mencapai sampai 22 meter. Sedangkan daunnya agak lonjong dan tebal, bunga tumbuh di ketiak, daun warna putih, buahnya berbentuk bulat mirip kelereng dan mempunyai tempurung agak keras, biji bulat tebal keras dan berwarna cokelat. Biji nyamplung mengandung resin, minyak atsiri, kalofiloid, asam kalofilat, sitosterol, lendir, gliserin, minyak lemak tanin takaferol dan karotenoid. Damarnya mengandung aneka zat seperti takamahin, asam takawahol, gum resin, dan minyak terbang.



Gambar 2.5 Gambar Pohon dan Buah Nyamplung

Asam lemak metil ester dari minyak biji nyamplung memenuhi semua persyaratan untuk biodiesel utama dalam standar Amerika Serikat (ASTM D 6751-

06) dan Uni Eropa standar (EN 14214) (Azam MM, et al, 2005). Biji nyamplung berpotensi menghasilkan minyak nyamplung, terutama yang sudah tua. Kandungan minyak nyamplung bias mencapai 50-70% (kering) dan mempunyai daya kerja dua kali lipat lebih lama dibandingkan minyak tanah (Heyne, 1987).

Tabel 2.4 Kandungan Biji Nyamplung

Kandungan	Nilai (%)
Minyak	50 - 70
Abu	1,7
Proterin Kasar	6,2
Pati	0,34
Air	10,8
Hemiselulosa	19,4
Selulosa	6,1

(Kilham, 2003)

Minyak nyamplung merupakan, berwarna coklat kehijauan, kental, dan beraroma menyengat seperti karamel dan beracun. Minyak nyamplung diolah dari buah yang sudah matang selain bias diolah menjadi bahan-bakar juga bias dijadikan obat khususnya untuk jaringan kulit yang terbakar (Kilham, 2003). Minyak nyamplung mempunyai kandungan asam lemak tidak jenuh yang cukup tinggi seperti asam oleat serta komponen-komponen tak tersabunkan diantaranya alkohol lemak, sterol, xanton, turunan *koumarin*, *kalofilat*, *isokalofilat*, *isoptalat*, *kapelierat*, *asam pseudobrasilat* dan penyusun *triterpenoat* sebanyak 0,5 - 2% yang dapat dimanfaatkan sebagai obat. Menurut Heyne (1987), minyak nyamplung dapat digunakan sebagai obat oles dengan nama *ndilo-olie*.

Selanjutnya, minyak nyamplung dapat digunakan untuk penerangan di beberapa daerah (Dweek dan Meadows, 2002). Minyak nyamplung diperoleh melalui beberapa tahapan diantaranya: (1) pengupasan biji dari kulit yang keras, (2) dilakukan perajangan hingga menjadi irisan tipis, (3) proses pengeringan dengan panas matahari selama dua hari, (4) penumpukan, (5) pengukusan, (6) pengepresan atau ekstraksi dengan pelarut organik, (7) *degumming* atau pemisahan getah dengan asam fosfat 1% (Pusat Informasi Kehutananh 2008). Karakteristik dari minyak nyamplung sebelum dan sesudah *degumming* dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Sifat Fisika dan Kimia Minyak Nyamplung

Karakteristik	Sebelum <i>degumming</i> (<i>crude oil</i>)	Sesudah <i>degumming</i> (<i>refined oil</i>)
Kadar air	0.25 %	0.41 %
Densitas pada suhu 20°C	0.944 g/ml	0.940 g/ml
Viskositas pada suhu 40°C	56.7 cP	53.4cP
Bilangan asam	59.94 mg KOH/g	54.18 mgKOH/g
Kadar asam lemak bebas	29.53%	27.21%
Bilangan penyabunan	198.1 mg KOH/g	194.7 mg KOH/g
Bilangan iod	86.42 mg/g	85.04 mg/g
Indeks refraksi	1.447	1.478
Penampakan/warna	Hijau gelap dan kental dengan bau menyengat	Kuning kemerahan dan kental

Sumber: Balitbang Kehutanan (2008)

Ditinjau dari segi jumlah kalor pembakaran, minyak nyamplung memiliki nilai kalor yang sangat tinggi setelah mengalami proses *degumming* dan pemurnian. Menurut Fathiyah (2010), minyak nyamplung kasar memiliki nilai kalori sebesar 9088.08 cal/g dan setelah *degumming* nilai kalornya meningkat menjadi 9121.84 cal/g. Sedangkan, nilai kalor minyak tanah sebesar 10284 cal/gr (Annamalai, 2006). Tabel 2.6 memperlihatkan komposisi minyak nyamplung yang memiliki kemiripan dengan asam lemak dengan minyak jarak pagar maupun minyak sawit (Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan 2009).

Tabel 2.6 Perbandingan Komposisi Asam Lemak Biodiesel Minyak Nyamplung dengan Biodiesel Minyak Jarak Pagar dan Sawit

Komponen	Minyak Nyamplung	Minyak Jarak Pagar	Minyak Sawit
Asam ministat (C14)	0.09%	-	0.70%
Asam palmitat (C16)	14.60%	11.90%	39.20%
Asam stearat (C18)	19.96%	5.20%	4.60%
Asam oleat (C18:1)	37.57%	29.90%	41.40%
Asam linoleat (C18:2)	26.33%	46.10%	10.50%
Asam Linoleant(C18:3)	0.27%	4.70%	0.30%
Asam arachidat (C20)	0.94%	-	-
Asam erukat (C20:1)	0.72	-	-
Jumlah	98.46%	93.10%	95.70%

Sumber: Balitbang Kehutanan (2008)

Sedangkan Tabel 2.7 menunjukkan ringkasan sifat-sifat bahan bakar dari minyak kelapa sawit, minyak jarak, dan minyak nyampluing (Ong, 2011).

Tabel 2.7 Ringkasan Perbandingan Sifat-Sifat Biodiesel Minyak Kelapa Sawit, Biodiesel Minyak Jarak dan Biodiesel Minyak Nyampluing

Properties	Unit	Palm biodiesel	Jathropa biodiesel	Calophyllum inophyllum biodiesel	ASTM D6751-06 standard
Density 15°C	Kg/m ³	8793	862	869	860-900
Cetane number	-	52	57	57	47 min
Viscosity 40°C	Mm ² /s	4.9	4.8	4.0	1.9-6.0
Flash point	°C	181	135	140	130min
Cloud point	°C	15	6	13.2	-3to12
Pour point	°C	14	2	4.3	-15to10
Calorific value	Kj/kg	-	39.230	41.397	-
Distillation 90%	°C	335	-	356	360max
Water content	wt%	0.03	0.025	0.005	0.030max
Ash content	wt%	0.0066	0.012	-	0.020max
Carbon residue	wt%	0.07	0.2	-	-
Acid value	mgKOH/g	0.33	0.4	1.62	0.8max

2.3 Review Penggunaan Metode Pengolahan Biodiesel

2.3.1 Produksi Biodiesel dengan Metode Konvensional

Proses biodiesel konvensional berdasarkan pada penggunaan pemanas konvensional daya tinggi (elemen pemanas) dan pengadukan mekanik (*mechanical stirring*). Dalam metode konvensional, pemanas listrik (elemen pemanas) digunakan untuk pemanasan dan motor listrik untuk pencampuran reaktan. Pemanasan konvensional tergantung pada arus konveksi dan konduktivitas termal dari campuran reaksi. Umumnya, suhu reaksi dijaga di bawah titik didih metanol. Hasil biodiesel dari 80 hingga 100% dapat diperoleh tergantung pada bahan baku, jumlah dan jenis alkohol, kuantitas katalis, suhu reaksi dan waktu reaksi. Proses biodiesel konvensional yang menggunakan processing batch (*batch processing*) sangat lambat dan waktu reaksi lebih dari satu jam sehingga tahap pemisahannya menggunakan waktu lebih dari 5 jam (Demirbas, 2008), (Meher et al., 2006), (Atadashi et al., 2012).

Pembuatan biodiesel biasanya dilakukan dengan proses pemanasan secara konvensional baik proses *batch*, kontinu maupun super kritis metanol.

Metode ini menggunakan perpindahan panas dari sumber panas konvensional seperti *heat-exchanger* atau pemanasan langsung dari *heater*. Dimana energi panas dipindahkan dari bahan baku melalui konveksi, konduksi dan radiasi ke

bagian permukaan bahan baku. Oleh karena itu pemanasan sistem konvensional menggunakan banyak energi dan membutuhkan waktu-reaksi lama (Lertsathapornsuk et al., 2004).

2.3.2 Teknologi Gelombang Mikro (*Microwave*)

Gelombang mikro (*microwave*) merupakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi atau *Super High-Frequency (SHF)*, dengan frekuensi gelombang diatas 3GHz. Gelombang ini sebenarnya merupakan gelombang radio, tetapi panjang gelombangnya lebih kecil dari gelombang radio biasa. Panjang gelombang ini termasuk *ultra-short* (sangat pendek) sehingga disebut juga mikro, atau *microwave*. Pemanasan dengan gelombang mikro mempunyai sifat yang berbeda dengan pemanasan konvensional. Panas *micro wave* dibangkitkan secara internal akibat getaran molekul-molekul bahan yang ingin dipanaskan. Pemanasan gelombang mikro mempunyai kelebihan, yaitu pemanasan lebih merata serta pemanasannya juga dapat bersifat selektif artinya tergantung dari sifat dielektrik bahan.

Oven *microwave* menggunakan radiasi *microwave*, yang menghasilkan pemanasan dielektrik dengan penyerapan energi di dalam air, lemak dan gula yang terkandung dalam makanan. Selama iradiasi *microwave*, ikatan atom tidak terpengaruh atau rusak tapi energi dengan cepat ditransfer ke sampel. Dari literatur, telah diteliti bahwa iradiasi *microwave* dapat digunakan sebagai sumber panas selama reaksi transesterifikasi karena menyelesaikan reaksi transesterifikasi dalam hitungan menit. Karakteristik *microwave* dielektrik tergantung pada suhu, frekuensi dan katalis (Muley dan Bordor, 2013). Kemudian, Wu, et al. (2013), telah melakukan analisis termal berdasarkan metode baru untuk membantu proses pemanasan dalam melakukan produksi biodiesel.

Dalam proses produksi biodiesel dengan menggunakan mikrowave, reaktan seperti minyak sayur, alkohol dan katalis dicampur menggunakan perangkat pengadukan yang cocok dan dipanaskan oleh sumber panas *microwave*. Reaktan dikenai iradiasi *microwave* dengan waktu reaksi yang diperlukan hanya beberapa menit. Setelah itu produk transesterifikasi diendapkan untuk tahap pemisahan. Tahap pemisahan biodiesel dan gliserin membutuhkan waktu 30 sampai 60 menit. Setelah tahap ini, biodiesel mentah dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran dan dikeringkan untuk menghilangkan kadar air. Waktu reaksi dan pengaturan waktu yang dibutuhkan untuk metode pemanasan

mikrowave adalah cepat, sehingga dapat mengurangi biaya produksi secara signifikan. Sifat bahan bakar biodiesel yang dihasilkan oleh metode ini mirip dengan biodiesel yang dihasilkan dengan metode konvensional dan memenuhi standar biodiesel. Tabel 2.8 menunjukkan kondisi optimum yang dibutuhkan untuk produksi biodiesel dari berbagai minyak nabati.

Tabel 2.8 Kondisi optimum untuk Produksi Biodiesel dengan menggunakan Radiasi Microwave (Kapilan, 2014)

Jenis Minyak	Kondisi Optimum	Referensi
Minyak Jarak	Rasio molar methanol/minyak 7,5:1, KOH 1,5%, Reaksi temperatur 65°C, waktu reaksi 2 menit	Shakinaz, et al, 2010
Pongamia pinnata seed oil	Rasio molar Alkohol/minyak 6:1, NaOH 0,5% dan KOH 1,0%, Reaksi temperatur 60°C	Kumar, et al, 2011
Minyak Goreng Bekas (Jelantah)	Rasio molar metanol/minyak 6:1, CH ₃ ONa atau NaOH 0,75%, waktu reaksi 3 menit, daya microwave 750W	Chen, et al, 2012
Yellow horn oil	Rasio molar methanol/minyak 12:1, temperatur 60°C, waktu reaksi 10 menit, katalis heteropolyacid 1% (CS _{2.5} H _{0.5} PW ₁₂ O ₄₀)	Zhang, et al., 2010
Minyak Kelapa Sawit	Rasio molar methanol/minyak 18:1, waktu reaksi 4 menit, daya microwave 900 W, katalis CaO yang diambil dari kulit telur 15%	Khemthong, et al., 2012
Minyak bekas kelapa sawit	Rasio etanol/minyak 12:1, NaOH 3,0%, waktu reaksi 30 detik	Lertsathapornasuk, et al., 2008

Selanjutnya, Cheng et al., (2013) menggunakan proses baru untuk konversi langsung dari biomassa mikroalga basah menjadi biodiesel dengan radiasi *microwave*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tingkat produksi biodiesel dan hasil dari mikroalga basah yang diperoleh melalui proses satu langkah menggunakan iradiasi gelombang mikro lebih tinggi dibanding dengan dua langkah yang menggunakan pemanas konvensional. Beberapa peneliti mengamati efek yang signifikan dari waktu reaksi yang dipengaruhi oleh radiasi *microwave* dalam mengurangi aktivitas katalitik yang diintrepresetasikan dalam bentuk penonaktifan enzim. Zhang et al., (2012), melaporkan bahwa produksi biodiesel dari minyak jelantah menggunakan *microwave* mencapai hasil biodiesel sekitar 97,4% di bawah kondisi yang optimal dan dengan partikel resin pertukaran ion membran katalitik. Kemudian, Wali, et al., (2012) melakukan analisis monitoring *real time* dan

kontrol proses yang diperlukan untuk mengatur penggunaan daya reaktor *microwave*. Selanjutnya, (Wali, et al., (2013) merancang controller berbasis *LabVIEW*, untuk pengaturan otomatisasi dan kontinu penggunaan daya dengan sistem monitoring *real time*.

Selanjutnya, Lertsathapornsuk et al., (2004) menjelaskan bahwa proses pemanasan *microwave* menggunakan waktu yang lebih singkat untuk memanaskan bahan baku tanpa pemanasan awal. Selain itu, penggunaan gelombang mikro menunjukkan reaksi lebih efisien, dengan lama reaksi dan proses pemisahan yang singkat, dan menurunkan jumlah produk samping serta dapat menurunkan konsumsi energi (Hernando, et al., 2007). Kemudian, pemanasan yang cepat dan efisien dapat diperoleh pada metode pemanasan dengan radiasi *microwave*. Semakin banyak gelombang *microwave* berinteraksi dengan sampel pada tingkat molekular, semakin banyak menghasilkan campuran inter molekul dan agitasi yang meningkatkan peluang dari sebuah molekul alkohol bertemu dengan sebuah molekul minyak (Terigar, 2009).

2.3.3 Teknologi Ultrasonik

Teknologi ultrasonik meningkatkan kecepatan reaksi kimia transesterifikasi yang dapat mengubah metode produksi biodiesel dari proses batch menjadi proses pengolahan aliran yang kontinu. Prinsip kerja ultrasonik dalam produksi biodiesel berdasarkan pada emulsifikasi reaktan cair bercampur dengan *microturbulence* yang dihasilkan oleh gerakan radial dari gelembung kavitasi. Hal ini memungkinkan waktu reaksi yang singkat dan menghasilkan biodiesel yang lebih baik karena emulsifikasi dan kavitasi dari cairan-cairan sistem cepat bercampur (Ji, et al., 2006). Proses iradiasi biodiesel ultrasonik mengurangi waktu reaksi 30 menit atau lebih dibandingkan dengan metode konvensional. Lee, et al., (2011) telah menggunakan teknologi ultrasonic untuk memproses biodiesel dengan daya 450 watt.

Hsiao et al., (2010) mempelajari efek dari waktu iradiasi ultrasonik (t) pada proses pembuatan biodiesel yang dihasilkan dari pencampuran minyak yang berisi tung 20%, canola 50% dan minyak kelapa 30% dengan CH₃OH dan KOH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel mencapai nilai yang tinggi 87-91% untuk minyak tung dengan waktu $t \geq 5$ menit, sedangkan untuk minyak yang dicampur (tung, canola, dan minyak kelapa) menghasilkan 92-94% dengan waktu $t \geq 1$ menit. Oleh karena itu, para peneliti menyarankan bahwa minyak tung harus dicampur

dengan minyak lain untuk menghasilkan biodiesel agar dapat memenuhi standar biodiesel. Tabel 2.9 menunjukkan kondisi optimum yang dibutuhkan untuk produksi biodiesel dari berbagai minyak. Sifat-sifat biodiesel yang diperoleh dengan metode ini sesuai dengan standar biodiesel (Ibiari, et al., 2010).

Tabel 2.9 Produksi Biodiesel Menggunakan Teknologi Ultrasonik (Kaplan, 2014)

Jenis Minyak	Kondisi Optimun	Referensi
Minyak Goreng Bekas (Jelantah)	Rasio molar alkohol/minyak 6:1, KOH 1%, Reaksi temperatur 45°C, daya ultrasonic 200 W, waktu radiasi 40 menit	Hingu, et al, 2010
Minyak Kacang	Rasio molar etanol/minyak 6:1, KOH 0,75%, waktu radiasi 7 menit	Kumar, et al, 2010 dan Kumar, et al, 2010
Canola oil	Rasio molar metanol/minyak 5:1, KOH 0,7%, waktu radiasi 50 menit, radiasi ultrasonic 20 kH dengan daya input 1 kW	Thanh, et al, 2010
Minyak Jarak	Rasio molar metanol/minyak 4:1, KOH 0,5%, waktu radiasi 30 menit, amplitudo ultrasonic 50% (100W/m ³) dan siklus 0,7 detik	Kumar, et al, 2011
Crude cottonseed oil	Rasio molar metanol/minyak 6.2:1, NaOH 1%, waktu radiasi 8 menit	Fan, et al, 2010

Deng et al., (2010) melakukan *pre-treatment* minyak jatropha dengan H₂SO₄ selama 1 jam pada proses satu tahap dan dua tahap dan memperoleh minyak biodiesel sebesar 96,4%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa waktu total produksi dengan metode ultrasonik adalah 1,5 jam, sedangkan untuk metode konvensional membutuhkan waktu 4 jam. Hamed et al melakukan proses batch produksi biodiesel dari minyak sawit dengan menggunakan teknologi ultrasonik 20 kHz dengan katalis CaO, SrO dan BaO. Hasil penelitian ini menunjukkan, bahwa aktivitas katalitik berada di urutan CaO < SrO < BaO. Biodiesel yang dihasilkan dari metode ini memenuhi standar biodiesel (Salamatina, et al., 2012).

Sabri et al. (2013) melaporkan bahwa hasil biodiesel dari 91% dicapai hanya dalam 40 menit dari minyak jarak pagar pada amplitudo ultrasonik (~60%), rasio tinggi molar (25:1) dan rendah suhu reaksi (65°C) menggunakan karbon-didukung tungstophosphoric katalis asam. Pedro et al melaporkan bahwa biodiesel dapat diproduksi dengan pengurangan yang signifikan pada konsumsi energi, dengan prosedur dua langkah: pertama pemanas konvensional dengan

pengadukan mekanik, kemudian dilanjutkan dengan iradiasi ultrasonik pada suhu yang sama.

2.3.4 Kombinasi Teknologi *Microwave* dan Ultrasonik

Vitthal et al., (2013) menggunakan metode kombinasi teknologi *microwave* dan ultrasonik dalam metode sintesis dua langkah untuk nilai asam tinggi pada minyak nagchampa dan melakukan perbandingan masing-masing secara individu dengan metode konvensional, teknologi *microwave*, dan teknologi ultrasonik. Dalam penelitian ini melaporkan bahwa penggunaan teknologi ultrasonik membutuhkan waktu reaksi untuk esterifikasi sekitar 60 menit dan transesterifikasi 20 menit. Kemudian untuk kombinasi teknologi *microwave* dan ultrasonik dapat menurunkan proses waktu reaksi esterifikasi hanya 15 menit dan proses transesterifikasi menjadi 6 menit. Kemudian, Chien et al., (2010) melakukan penelitian mengenai prosedur yang optimal untuk kombinasi teknologi *microwave* ultrasonik dengan cara pencampuran ultrasonik selama 1 menit diikuti iradiasi *microwave* selama 2 menit dan kondisi reaksi optimal yang digunakan adalah jumlah katalis 1,0% berat; suhu reaksi 333 K; dan rasio molar metanol / minyak 6:1.

Selanjutnya, Yin et al., (2012), mempelajari empat metode yang berbeda seperti pengadukan mekanik (*Mechanic Stirrer, MS*), *Flat Plate Ultrasonic Irradiation* (FPUI), *Flat Plate Ultrasonic Irradiation with Mechanical Stirring* (UIMS), dan *Probe Ultrasonic Irradiation* (PUI), untuk memilih metode yang lebih baik. Dalam penelitian ini difokuskan pada pemilihan kebutuhan katalis yang sedikit, konsumsi energi yang rendah, dan waktu yang relatif singkat untuk mempersiapkan biodiesel melalui transesterifikasi pada minyak bunga matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi yang sama, metode UIMS dan PUI menggunakan sedikit katalis, sedikit methanol, dan membutuhkan waktu yang lebih singkat serta sedikit konsumsi energi dibanding dengan metode MS dan FPUI.

2.4 Landasan Teori

2.4.1 Tanaman Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*)

1. Gambaran Umum

Indonesia sangat kaya akan keanekaragaman hayati yang terdiri atas flora dan fauna. Tanaman ini biasa dimanfaatkan sebagai bahan baku kayu pertukangan, namun kurang begitu dikenal oleh khalayak umum, terlebih selama ini masih banyak yang belum mengetahui biji nyamplung yang sudah tua ternyata

memiliki kandungan minyak cukup tinggi. Nyamplung termasuk dalam klasifikasi marga *Calophyllum* yang mempunyai penyebaran yang cukup luas di dunia, yaitu, Madagaskar, Afrika Timur. Di Indonesia, nyamplung tersebar mulai dari, Jawa, Lampung, Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Sulawesi, Maluku, hingga Nusa Tenggara Timur (NTT) dan Papua (Kurniati, et al., 2018).

Kelebihan nyamplung sebagai bahan baku biofuel adalah bijinya mempunyai rendeman yang tinggi, bisa mencapai 74%, dan pemanfaatannya tidak bersaing dengan kepentingan pangan. Keunggulan lain dari nyamplung ditinjau prospek pengembangan dan pemanfaatan lain, yakni dapat berkembang dan tumbuh serta tersebar merata di seluruh Indonesia.

Tanaman nyamplung relatif mudah dibudidayakan dan cocok di daerah beriklim kering, dan berbuah sepanjang tahun. Hampir seluruh bagian tanaman nyamplung dapat dimanfaatkan dan menghasilkan bermacam produk yang memiliki nilai ekonomi. Nyamplung berfungsi sebagai pemecah angin (*wind breaker*) untuk tanaman pertanian dan konservasi pantai. Selain itu, pemanfaatan biofuel nyamplung dapat menekan laju penebangan pohon hutan sebagai kayu bakar karena produktivitas biji lebih tinggi dibandingkan jenis lain (jarak pagar 5 ton/ha, nyamplung 20 ton/ha).

Saat ini pemerintah melalui Kementerian Riset dan Teknologi mulai mengembangkan bahan bakar pengganti BBM yang berasal dari tumbuhan. Terbatasnya persediaan, dan kelangkaan minyak tanah di berbagai daerah telah memotivasi penelitian pada tanaman nyamplung sebagai BBM nabati.

2. Klasifikasi

Nama ilmiah/latin nyamplunge adalah *Calophyllum inophyllum* L.

Klasifikasi tumbuhan nyamplung adalah:

- Kingdom : *Plantae* (Tumbuhan)
- Sub Kingdom : *Tracheobionta* (Tumbuhan berpembuluh)
- Super Divisi : *Spermatophyta* (Menghasilkan biji)
- Divisi : *Magnoliophyta* (Tumbuhan berbunga)
- Kelas : *Magnoliopsida* atau *Dicotyledonae* (berkeping dua/dikotil)
- Bangsa : *Guttiferae*
- Suku : *Guttiferae*

Marga : *Calophyllum*
 Jenis : *Calophyllum inophyllum* L.

Nama umum/dagang : Nyamplung

3. Nama Daerah

- Sumatera : *Eyobe* (Enggano), *Punaga* (Minangkabau), *Penago* (Lampung), *Nyamplung* (Melayu), *Bunut* (Riau)
- Jawa : *Nyamplung* (Jawa Tengah), *Sunda*, *Camplong* (Madura)
- Bali : *Camplong* (Bali)
- Nusa Tenggara : *Mantan* (Bima), *Camplong* (Timor), *Gentangir*, *Mantau*, *Tau* (NTT).
- Sulawesi : *Dingkalreng* (Sangir), *Dongkalan* (Mongondow), *Punaga* (Makasar), *Pude* (Bugis), *Dunggala* (Gorontalo)
- Maluku : *Hatan* (Ambon), *Fitako* (Ternate)
- Kalimantan : *Bentangur*, *Betau*, *Bintula*, *Dinggale*, *Jinjit*, *Mahadingan*, *Maharunuk*.

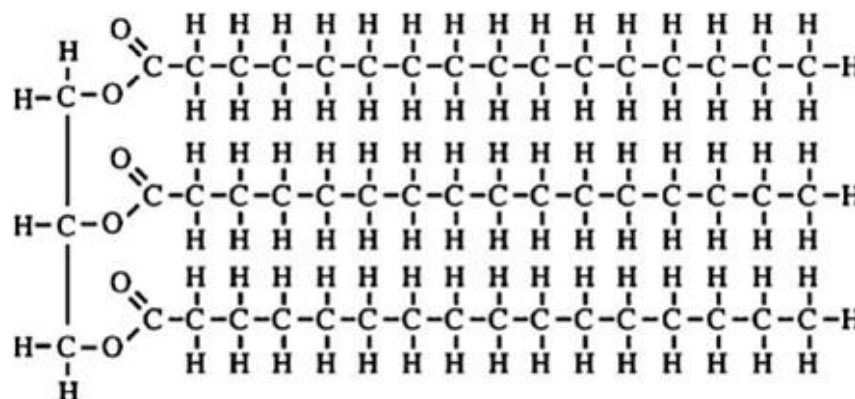
4. Nama Perdagangan

- Indonesia : *Bintangur*, *Nyamplung*
- Inggris : *Alexandrian*, *Laurel*, *Beach Mahogany*, *Beauty Leaf*, *Oil Nut Tree*.
- Serawak : *Bakokol*, *Entangor*, *Mentangor*
- Bangladesh : *Ponyal*
- India : *Polanga*, *Pinnai*
- Myanmar : *P'hong*
- Malaysia : *Bintangor*, *Penaga Laut*
- Hawaii : *Tamanu*, *Dilo*, *Kamani*, *Kamanu*
- Kepulauan Pasifik : *Portia Tree*, *Rekich*
- Filipina : *Palomaria*, *Bitag*, *Bithanol*, *Bintaog*, *Marabitaog*, *Palomaria dela playa*, *Pamitaogen*, *Pamintaogen*
- Thailand : *Krathing*, *Saraphee Naea*, *Naowakan*
- Papua Nugini : *Beach Calophyllum*

2.4.2 Biodiesel

Konsep menggunakan biofuel di mesin diesel bukan ide baru, seorang penemu bernama Rudolph Diesel mendemonstrasikan pertama dikembangkan nyala kompresi (CI) mesin diesel menggunakan minyak kacang sebagai bahan bakar di Pameran Dunia di Paris pada tahun 1900 (Knothe, 2001 dan Demirbas, 2003). Namun karena pasokan melimpah diesel dan pembuatan bahan bakar minyak nabati masih lebih mahal dari solar, sehingga penelitian dan pengembangan minyak sayur tidak serius dikembangkan (Demirbas, 2002). Baru dalam dekade ini telah disadari bahwa bahan bakar minyak menyusut dengan cepat dan lingkungan ramah pengganti terbarukan harus diidentifikasi (Agarwal, dan Das, 2001).

Biodiesel telah mendapatkan lebih banyak perhatian dan lebih menarik sebagai bahan bakar alternatif dengan alasan perlindungan lingkungan. Minyak nabati yang juga dikenal sebagai trigliserida memiliki kimia struktur seperti ditunjukkan pada Gambar. 2.6 terdiri dari 98% trigliserida dan jumlah kecil ofmonoand digliserida (Barnwal dan Sharma, 2005).



Gambar 2.6 Struktur Molekul Trigliserida

Secara umum, biodiesel dapat didefinisikan sebagai sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan bahan bakar mesin diesel, dan diperoleh dari minyak alami seperti kelapa sawit, kedelai dan minyak lobak yang memenuhi spesifikasi ASTM D 6751 atau EN 14214. Biodiesel merupakan cairan kuning - kuning jernih dengan viskositas mirip dengan bahan bakar diesel. Biodiesel tidak mudah terbakar dengan *flash point* 423°K untuk biodiesel dibandingkan dengan 337°K untuk diesel. Pengujian bahan standar biodiesel adalah standar Amerika ASTM D6751 dan Uni Eropa standar EN 14214

untuk BBM biodiesel. Standar ASTM D6751 Amerika mengidentifikasi parameter biodiesel murni (B100) harus memenuhi sebelum digunakan sebagai bahan bakar murni atau yang dicampur dengan bahan bakar diesel berbasis minyak bumi.

Kualitas bahan bakar biodiesel secara signifikan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: kualitas bahan baku, komposisi asam lemak dari sayuran minyak, lemak hewan dan minyak limbah, jenis produksi dan pemurnian proses yang digunakan dan parameter pasca-produksi. Pada dasarnya, biodiesel dipilih karena memiliki sifat yang *biodegradable*, *nontoxic* dan rendah emisi (Hadi, 2009). Biodiesel mempunyai rantai karbon berkisar antara 12 hingga 20 serta mengandung oksigen. Standar yang ditetapkan oleh SNI 04-7182-2006 mengenai karakteristik dari biodiesel disajikan pada Tabel 2.10. Berdasarkan tabel ini, dapat dilihat karakteristik dari biodiesel yang ditetapkan, sehingga dalam pembuatan biodiesel dengan bahan baku minyak nabati, standar yang ditetapkan oleh SNI harus dipenuhi. Analisis karakteristik yang dilakukan meliputi: densitas, viskositas kinematik, bilangan setana, titik nyala, dan kadar ester alkil.

Tabel 2.10 Standar Biodiesel Menurut SNI 04-7182-2006

No.	Parameter	Nilai
1.	Massa jenis	850 – 890 kg/m ³
2.	Viskositas kinematik	2.3 – 6 mm ² /s
3.	Bilangan setana	Min. 51
4.	Titik nyala	Min. 100°C
5.	Bilangan asam	Maks. 0.8 mg KOH/g
6.	Bilangan iodium	Maks. 115

2.4.3 Bahan Baku Pengolahan Biodiesel

Di Indonesia terdapat lebih 50 jenis tanaman yang dapat menghasilkan minyak nabati baik untuk non pangan maupun pangan, namun hanya beberapa jenis yang dapat diolah menjadi minyak nabati untuk bahan baku pembuatan biodiesel. Biodiesel dibuat melalui suatu proses kimia yang disebut transesterifikasi dimana *gliserin* dipisahkan dari minyak nabati. Proses ini menghasilkan dua produk yaitu, *metil esters (biodiesel)* / *mono-alkyl esters* dan *gliserin* yang merupakan produk samping.

Bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel antara lain: minyak nabati, lemak hewani, lemak bekas/lemak daur ulang. Semua bahan baku ini mengandung

trigliserida, asam lemak bebas (ALB) dan zat-pencemar dimana tergantung pada pengolahan pendahuluan dari bahan baku tersebut, sedangkan bahan baku penunjang yaitu, alkohol. Dalam pembuatan biodiesel dibutuhkan katalis untuk proses esterifikasi, katalis dibutuhkan karena alkohol larut dalam minyak. Minyak nabati kandungan asam lemak bebas lebih rendah dari pada lemak hewani, minyak nabati biasanya selain mengandung ALB juga mengandung *phospholipids* yang dapat dihilangkan pada proses degumming, sedangkan ALB dapat dihilangkan pada proses *refining*.

Terdapat tiga komponen utama dalam proses pembuatan biodiesel yakni, minyak nabati, alkohol dan katalis.

1. Minyak Nabati

Minyak nabati atau biasa disebut *tryglyceryde*, *glycerol ester*, atau asam lemak karena bersifat asam. Biasanya, Minyak nabati berwarna kuning, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa. Minyak nabati tidak bisa bercampur dengan air, dan akan menjadi lebih asam ketika dipakai menggoreng dengan menghasilkan asam lemak bebas. Untuk menghilangkan asam lemak bebas harus digunakan katalis yang banyak pada reaksi pembuatan biodiesel. Banyaknya katalis yang digunakan bergantung dari seberapa banyaknya asam minyak nabati tersebut. Minyak nabati memiliki berat jenis 0,94 pada suhu 20°C.

2. Alkohol

Dalam pembuatan biodiesel biasanya digunakan metanol dan etanol. Metanol memiliki kelebihan dibanding etanol, karena lebih mudah bereaksi dan lebih stabil. Akan tetapi, kekurangan dari metanol adalah merupakan zat yang beracun dan berbahaya, dan mudah terbakar, bahkan lebih mudah terbakar bila dibandingkan dengan minyak bensin. Umumnya, metanol disukai karena hanya memiliki satu rantai ikatan karbon, sedangkan etanol memiliki dua ikatan karbon. Selain itu, metanol harganya lebih murah dan lebih mudah memperoleh pemisahan gliserin dibandingkan dengan etanol. Etanol lebih aman, dan tidak beracun dan dibuat dari hasil pertanian, sedangkan methanol mengandung uap yang berbahaya bagi makhluk hidup dan terbuat dari batubara.

Pada dasarnya, etanol memiliki sifat yang sama dengan metanol yaitu, memiliki warna yang bening seperti air, mudah menguap, mudah terbakar dan mudah bercampur dengan air. Pemisahan gliserin dengan menggunakan etanol lebih sukar dibandingkan dengan metanol, dan diperlukan ketelitian karena bisa

menimbulkan emulsi. Metanol memiliki densitas 0,7915, sedangkan etanol mempunyai densitas sebesar 0,790.

3. Katalis

Untuk memisahkan minyak nabati diperlukan tambahan katalis. Katalis merupakan zat yang digunakan untuk mempercepat reaksi antara zat-zat lain.

Katalis yang biasa digunakan adalah *natrium hidroksida* (NaOH) atau *kalium hidroksida* (KOH). NaOH biasa disebut juga *Sodium Hydroxide* atau *Caustic Soda*,

sedangkan KOH biasa disebut *Potassium Hydroxide* atau *Caustic Potash*. Baik

NaOH maupun KOH berupa *flake* atau *granul* NaOH dan KOH juga sangat berbahaya dan dapat melukai kulit, mata dan paru-paru juga berbahaya jika

tertelan. KOH merupakan alkali kuat yang korosif. KOH menyerap air dan CO dari udara dan berubah menjadi *potassium carbonate* (K_2CO_3). KOH larut dalam air

dengan perbandingan 1:1, alkohol dengan perbandingan 1:3, dan gliserin dengan perbandingan 1:2:5. NaOH juga menyerap air dan udara. NaOH hampir larut dalam

air dengan perbandingan 1:1, sangat larut dalam alkohol dan gliserin. Fungsi

katalis akan memecahkan minyak nabati dan melepaskan ester. Begitu ester

bebas mereka akan menempel pada alkohol, sebaliknya katalis dan gliserin akan

mengendap. Jumlah katalis yang digunakan harus tepat, karena apabila

pemakaian katalis terlalu sedikit akan menyebabkan minyak nabati dan alkohol

tidak bereaksi, sedangkan apabila jumlah katalis yang dipakai terlalu banyak akan

menyebabkan campuran teremulsi.

2.4.4 Berbagai Katalis pada Proses Pembuatan Biodiesel

Sesuai dengan fungsinya, katalis dimanfaatkan untuk mempercepat suatu reaksi, dan ikut bereaksi tetapi tidak ikut terkonsumsi menjadi produk.

Beberapa jenis katalis telah dilakukan dalam proses pembuatan biodiesel seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.11. Tabel ini menunjukkan bahwa kandungan

silika yang bersifat tidak aktif pada reaksi *metanolisis* dan katalis yang sangat aktif adalah yang mengandung senyawa komponen kalsium dan *natrium*. Perlu

diketahui, bahwa katalis-katalis yang memiliki komponen kalsium dan

magnesium kurang baik dipakai sebagai katalis, karena cenderung membentuk

sabun (memiliki sifat ganda). Senyawa yang mengikat komponen Si, Mg dan

Al cenderung berfungsi sebagai penyangga katalis. Katalis logam seperti

Cu dan Sn pada reaksi *metanolisis* tidak ditemukan hasil berupa metal ester.

Selanjutnya, katalis yang bersumber dari limbah sawit dan limbah sekam padi juga dapat digunakan sebagai katalis. Sekam padi mengandung senyawa dengan komponen K dan Na, sedangkan janjang sawit banyak mengandung komponen K yang baik sebagai katalis. Tabel 2.12 memperlihatkan unsur senyawa kimia dari abu sekam padi.

Tabel 2.11 Katalis Metanolisis dan Produksi Metil Ester Asam-asam Lemak Relatif (Peterson & Scarrah, 1984)

Katalis	Komposisi	Produksi Metil Ester Asam Lemak Relatif
MgO	98%, MgO	-
SiO ₂	93%, SiO ₂ ; 3% Al ₂ O ₃	1
CaO	7%, CaO; 92% Al ₂ O ₃	-
CaO, MgO	9,22%, CaO; 91% MgO	10
CaO, Al ₂ O ₃	14,8%, CaO ; 85,2% Al ₂ O ₃	1
CaO, SiO ₂	12,6%, CaO ; 87,4% SiO ₂	-
CaO bubuk		3
CaO, MgO, Al ₂ O ₃	6,34%, CaO ; 5,64% MgO; 86% Al ₂ O ₃	0,5
K ₂ CO ₃ , MgO	4,76%, K ₂ CO ₃ ; 95,2%, MgO	5
K ₂ CO ₃ , Al ₂ O ₃	14,2%, K ₂ CO ₃ ; 85%, Al ₂ O ₃	4
K ₂ CO ₃ bubuk		6
Na ₂ CO ₃ bubuk		0,8
Fe ₂ O ₃ , MgO	2,7%, Fe ₂ O ₃ ; 97,3%, MgO	-
CH ₃ ONa, SiO ₂	1,5% - 3,6% CH ₃ ONa ; 98,5% - 96,5% SiO ₂	2

Tabel 2.12 Kandungan Senyawa Kimia dalam Abu Sekam Padi

Senyawa Kimia	Kadar (%)
SiO ₂	91,16
K ₂ O dan Na ₂ O	4,75
CaO	0,65
MgO	0,99
Fe ₂ O ₃	0,21
SO ₃	0,10

2.4.5 Proses Pembuatan Minyak Nabati Menjadi Biodiesel

Minyak nabati diperoleh melalui reaksi transesterifikasi dengan methanol yang menghasilkan, *gliserin*, *metil stearate*, *metil oleate*. *Metil oleate* atau biodiesel dan *gliserin* harus dipisahkan melalui suatu tangki pengendap. Setelah *gliserin* dipisahkan dengan larutan dicuci dengan air dan kemudian didistilasi sehingga diperoleh biodiesel sesuai standar.

Pembuatan biodiesel dari minyak tanaman memiliki kasus yang berbeda-beda sesuai dengan kandungan asam lemak bebas. Pada kasus minyak tanaman dengan kandungan asam lemak bebas tinggi dilakukan dua jenis proses, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi, sedangkan untuk minyak tanaman yang kandungan asam lemak rendah dilakukan proses transesterifikasi. Proses esterifikasi dan transesterifikasi bertujuan untuk mengubah asam lemak bebas dan trigliserida dalam minyak menjadi metil ester (biodiesel) dan gliserol.

1. Teori Dasar Pembuatan Biodiesel

Sebagaimana telah diketahui bahwa, bahan baku utama untuk pembuatan biodiesel antara lain: minyak nabati, lemak hewani, lemak bekas lemak daur ulang. Karena mengandung trigliserida, ALB, dan kotoran, maka harus diolah terlebih dahulu melalui proses degumminga, esterifikasi, untuk menurunkan kadar FFA-nya. Selain mengandung ALB, minyak nabati juga mengandung *phospholipid* yang dapat dihilangkan pada proses degumming, sedangkan ALB dapat dihilangkan pada proses *refining*. Apabila kandungan air tinggi akan mempengaruhi hasil biodiesel yakni, kualitasnya rendah, karena banyak mengandung sabun, ALB dan trigliserida yang tinggi. Selain itu, hasil biodiesel juga dipengaruhi oleh tingginya suhu operasi pada proses produksi, lamanya waktu pencampuran atau kecepatan pencampuran alkohol. Setelah reaksi selesai, katalis harus dinetralkan dengan menambahkan asam mineral kuat. Terakhir biodiesel dicuci dengan proses netralisasi dengan menggunakan air pencuci (*aquades*).

Umumnya, terdapat tiga jenis metode proses transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel, yaitu:

- Transesterifikasi dengan Katalis Basa
- Transesterifikasi dengan Katalis Asam Langsung.
- Konversi minyak atau lemak nabati menjadi asam lemak dilanjutkan menjadi biodiesel

Metode transesterifikasi dengan katalisator basa umumnya digunakan, karena lebih ekonomis, dan tidak terlalu membutuhkan suhu tinggi. Selain itu, hasil konversi dengan metode ini bisa diperoleh rendemen sampai 98%.

2. Proses Pengolahan Biodiesel

Berdasarkan kandungan FFA dan kandungan *gum* dalam minyak nabati, maka proses pembuatan biodiesel secara komersial dibedakan menjadi 3, yaitu:

- Degumming, adalah proses pemisahan minyak dari getah atau lendir yang terdiri dari fosfatida, protein, karbohidrat, residu, air dan resin. Proses degumming biasanya digunakan asam fosfat (H_3PO_4).
- Esterifikasi dengan katalis asam (dengan asam sulfat) untuk minyak nabati kandungan FFA tinggi, dilanjutkan dengan transesterifikasi dengan katalis basa.
- Transesterifikasi dengan katalis basa (dengan KOH) untuk bahan baku refined oil atau minyak nabati dengan kandungan FFA rendah.

Proses pembuatan biodiesel dari minyak dengan kandungan FFA rendah secara keseluruhan terdiri dari reaksi transesterifikasi, pemisahan gliserol dari multi tester, pemurnian metil ester (netralisasi, pemisahan metanol, pencucian dan pengeringan dehidrasi) pengambilan gliserol sebagai produk dan pemurnian methanol tak bereaksi secara destilasi / reflection.

(i) Esterifikasi

Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas menjadi ester dengan alkohol rantai pendek (metanol atau etanol) menghasilkan metil ester asam lemak (FAME) dan air. Umumnya katalis yang digunakan untuk reaksi esterifikasi adalah asam sulfat (H_2SO_4) atau asam fosfat (H_3PO_4). Tujuan utama proses esterifikasi adalah untuk menurunkan kandungan FFA di atas 2%. Apabila minyak mempunyai kandungan FFA tinggi (>2%) langsung diproses menjadi biodiesel, maka FFA akan bereaksi dengan katalis dan membentuk sabun. Adanya pembentukan sabun dalam jumlah yang besar dapat menghambat pemisahan gliserol dari metil ester dan berakibat terbentuknya emulsi selama proses pencucian. Reaksi esterifikasi dari asam lemak menjadi metil ester adalah:



Esterifikasi dilakukan untuk menurunkan kadar asam lemak bebas yang tinggi. Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversi menjadi metil ester.

Tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diteruskan ke tahap transesterifikasi, biasanya dilakukan pencucian terlebih dahulu. Ada beberapa yang mempengaruhi reaksi esterifikasi, antara lain:

- **Waktu Reaksi**

Semakin lama waktu reaksi terjadi akan memungkinkan kontak antar zat semakin besar dimana kondisi ini memungkinkan dapat menghasilkan konversi yang besar. Jika kesetimbangan reaksi sudah tercapai, maka dengan bertambahnya waktu reaksi tidak akan berpengaruh dan tidak menambah hasil konversi.

- **Pengadukan**

Pengadukan juga akan berpengaruh terhadap kualitas biodiesel, karena dapat menambah frekuensi tumbukan antara molekul zat pereaksi. Sesuai dengan persamaan Arrhenius:

$$k = Ae^{(-E_a/RT)}$$

Dimana:

T = Suhu absolut (°C)

R = Konstanta gas umum (cal/gmol °K)

E = Tenaga aktivasi (can/gmol)

Semakin besar tumbukan, maka semakin besar pula harga konstanta kecepatan reaksi. Oleh karena itu, pengadukan menjadi sangat penting dalam melakukan pelautan antara minyak dan katalis agar menjadi larutan yang bercampur (*immiscible*).

- **Katalisator**

Tujuan katalisator untuk mengurangi tenaga aktivasi pada suatu reaksi sehingga pada suhu tertentu harga konstanta kecepatan reaksi semakin besar.

Pada reaksi esterifikasi yang biasa dilakukan adalah dengan konsentrasi katalis antara 1 – 4% dengan berat 9 – 10% berat campuran pereaksi (Ketta, 1978).

- **Suhu Reaksi**

Semakin tinggi suhu yang dioperasikan, maka semakin banyak konversi yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius. Bila suhu mengalami kenaikan, maka harga k semakin besar sehingga proses reaksi dapat berjalan lebih cepat dengan hasil konversi semakin besar.

- (ii) **Transesterifikasi**

Transesterifikasi merupakan suatu proses pengolahan biodiesel yang menggunakan alkohol dengan pencampuran katalis untuk memutuskan molekul-molekul minyak nabati menjadi *metil* atau *etil* ester dan menghasilkan gliserol sebagai produk sampingnya. Secara kimia, transesterifikasi merupakan pengubahan molekul-molekul trigliserida, atau asam lemak kompleks, menetralkan asam lemak bebas, menghilangkan gliserin dan membentuk alkohol ester (Helzamy, 2004). Menurut Fessenden (1986), transesterifikasi merupakan proses pertukaran bagian alkohol dari suatu ester yang dapat dilakukan dengan larutan asam atau basa oleh suatu reaksi dapat balik antara ester dan alkohol.

Ditinjau dari penggunaan katalis, proses transesterifikasi dapat dibedakan atas tiga metode, yaitu:

- **Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis asam**

Proses ini menggunakan katalis asam kuat seperti *asam sulfonat* dan *asam sulfat*. Jenis katalis ini menghasilkan hasil alkil ester yang tinggi, tetapi reaksinya lambat dan juga memerlukan temperatur operasi yang tinggi, diatas 100°C dan dapat mencapai waktu operasi selama 3 jam.

- **Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa**

Proses transesterifikasi ini berjalan lebih cepat bila dibandingkan dengan menggunakan katalis asam, dan juga tidak membutuhkan suhu operasi yang tinggi, karena dapat dioperasikan pada temperatur kurang dari 100°C .

- **Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis enzim**

Proses transesterifikasi ini belum dikembangkan secara komersial, tetapi para peneliti telah banyak menggunakan jenis katalis enzim ini. Aspek utama dari reaksi ini adalah mengoptimalkan, pelarut, temperatur, pH, jenis mikroorganisme yang mampu menghasilkan enzim, dan lain sebagainya. Keuntungan dari katalis

enzim adalah biaya prosesnya lebih rendah bila dibandingkan dengan proses dengan menggunakan katalis basa.

Selanjutnya, dalam tahapan reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel selalu menginginkan agar diperoleh produk biodiesel dengan jumlah yang maksimum. Ada beberapa kondisi reaksi yang mempengaruhi konversi dalam pengolahan biodiesel, yakni:

(a) Pengaruh Air dan Asam Lemak Bebas

Minyak nabati harus memiliki angka asam yang lebih kecil dari 1. Dalam biodiesel disyaratkan mempunyai kandungan ALB lebih kecil dari 0,5%. Selain itu, semua bahan yang akan digunakan tidak boleh mengandung air. Apabila air akan bereaksi dengan katalis, maka jumlah katalis menjadi berkurang.

(b) Pengaruh Perbandingan Molar Alkohol dengan Bahan Mentah

Secara stokiometri, jumlah alkohol yang dibutuhkan untuk reaksi adalah 3 mol untuk setiap 1 mol trigliserida untuk memperoleh 3 mol alkil ester dan 1 mol gliserol. Pada perbandingan molar 6:1, diperoleh metal ester sebesar 98-99%, sedangkan pada rasio 3:1 adalah 74-89%. Oleh karena itu, perbandingan 6:1 adalah merupakan konversi yang maksimum.

(c) Pengaruh Jenis Alkohol

Pada perbandingan molar 6:1, akan memberikan perolehan ester yang tertinggi.

(d) Pengaruh Jenis Katalis

Alkali katalis (katalis basa) akan mempercepat reaksi transesterifikasi bila dibandingkan dengan katalis asam. Katalis basa yang umum digunakan adalah *natrium hidroksida* (NaOH), *kalium hidroksida* (KOH), *natrium metoksida* (NaOCH₃), dan *kalium metoksida* (KOCH₃). Jumlah katalis yang efektif untuk reaksi adalah 0,5 % (b/b) minyak nabati untuk natrium metoksida dan 1% (b/b) minyak nabati untuk *natriumhidroksida*.

(e) Metanolisis *Crude* dan *Refined* Minyak Nabati

Perolehan *metil ester* akan lebih tinggi jika menggunakan minyak nabati *refined*. Namun, apabila produk metil ester akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel cukup digunakan bahan baku berupa minyak yang telah dihilangkan getahnya.

(f) Pengaruh Temperatur

Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan pada temperature 30 – 65°C (titik didih methanol sekitar 65°). Semakin tinggi temperatur, maka konversi yang diperoleh semakin tinggi dengan waktu yang lebih singkat.

2.4.6 Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) adalah merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Termodinamika adalah salah satu cabang ilmu yang mempelajari sistem dalam keseimbangan. Dimana ilmu ini dapat digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan untuk mengubah sistem dari suatu keadaan seimbang ke keadaan seimbang. Hal ini disebabkan karena pada waktu proses perpindahan itu berlangsung, sistem tidak berada dalam keadaan seimbang.

Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi, merupakan perpindahan panas dari partikel yang lebih berenergi ke partikel yang kurang berenergi yang saling berdekatan dari sebuah bahan karena interaksi antara partikel tersebut. Sistem konveksi, merupakan metode perpindahan panas antara permukaan padat dan berdekatan dengan cairan yang bergerak atau mengalir, dan itu melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida. Selanjutnya, metode radiasi, adalah perpindahan energi karena emisi gelombang elektromagnet.

1. Perpindahan Kalor Konduksi

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan tenaga sebagai kalor melalui sebuah proses medium stasioner, seperti tembaga, air, atau udara. Konduksi terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara dua permukaan yang satu dengan permukaan yang lain pada media tersebut. Perpindahan kalor terjadi secara merambat, yakni kalor yang berasal dari tempat yang memiliki suhu yang tinggi merambat ke tempat lebih rendah akibat adanya kontak atau sentuhan antara atom. Kondisi ini dapat berlangsung pada media gas, cairan dan padat.

Di dalam benda-benda padat, maka perpindahan tenaga timbul karena adanya getaran atom-atom yang timbul pada temperatur yang lebih tinggi. Di dalam sebuah cairan atau gas, molekul - molekul juga akan mengalir dan bergerak,

dengan energi yang dihantarkan oleh tumbukan - tumbukan dari molekul. (Reynold dan Perkins, 1983). Perpindahan kalor konduksi satu dimensi berdasarkan dengan diatur Hukum Fourier, sebagai berikut:

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

di mana:

q = arus panas,

k = konduktivitas termal medium,

A = penampang luas untuk aliran panas, dan

dT / dx = gradien suhu, membutuhkan penyisipan tanda (-) di persamaan

(2.1) untuk menjamin panas + aliran q .

Perbedaan suhu panas yang dihasilkan dari *diffusi steady state* adalah panas yang berhubungan dengan konduktivitas termal dari material, maka luas penampang A , dan Panjang jalur L , menjadi:

$$(T_1 - T_2)cd = q \frac{L}{kA} \quad (2.2)$$

Bentuk persamaan (2.2), menunjukkan k dan A adalah konstan, artinya bahwa dengan cara analog menggunakan hukum Ohm yang mengatur aliran arus listrik melalui hambatan, memungkinkan untuk menentukan hambatan konduktivitas termal.

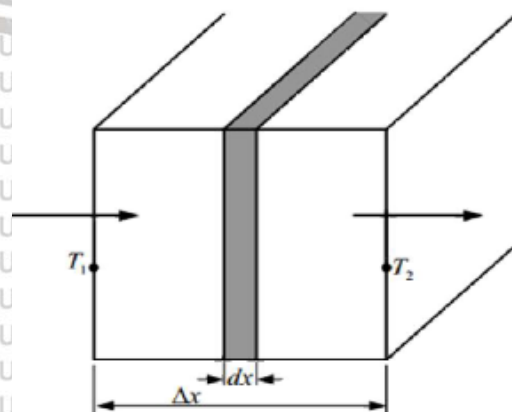
$$R_{cd} = \frac{T_1 - T_2}{kA} \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Untuk gas-gas pada suhu agak rendah, pengolahan analitis teori kinetik gas dapat dipergunakan dalam percobaan. Rumus ini merupakan nilai konduktivitas termal suatu bahan menunjukkan laju perpindahan panas yang mengalir dalam suatu bahan. Jika nilai konduktivitas termal suatu bahan makin besar, maka makin besar juga panas yang mengalir melalui benda tersebut. Oleh karena itu, bahan yang memiliki harga k besar adalah merupakan bahan penghantar panas yang baik, sebaliknya bila k -nya kecil maka bahan tersebut kurang menghantar atau merupakan isolator.

Tabel 2.13 Nilai Konduktivitas Bahan

Bahan Logam	K(W/m.C)	Bahan Non Logam	K(W/m.C)
Perak	410	Kuarsa	41,6
Tembaga	385	Magnesit	4,15
Aluminium	202	Marmar	2,08 – 2,94
Nikel	93	Batu Pasir	1,83
Besi	73	Kaca, Jendela	0,78
Baja Karbon	43	Kayu	0,08
Timbal	35	Serbuk Gergaji	0,059
Baja krom – Nikel	16,3	Wol Kaca	0,038
Emas	314	Karet	0,2
		Polystyrene	0,157
		Polyethylene	0,33
		Polypropylene	0,16
		Polyvinyl Chlorida	0,09
		Kertas	0,166
Zat Cair		Gas	
Air Raksa	8,21	Hidrogen	0,175
Air	0,556	Helium	0,141
Amonia	0,540	Udara	0,024
Minyak- Lumas SAE 50	0,147	Uap Air (Jenuh)	0,0206
Freon 12	0,073	Karbondioksida	0,0146

Gambar 2.7 memperlihatkan perpindahan panas pada suatu dinding datar, dan dapat diturunkan dengan menggunakan Persamaan 2.1.



Gambar 2.7 Konduksi pada Bidang Datar

Jika Persamaan 2.1 diintegrasikan:

$$\int q dx = - \int k A dx \quad (2.4)$$

Maka akan diperoleh:

$$Q \Delta x = -k A \Delta T \quad (2.5)$$

$$Q = -\frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1)$$

Dimana:

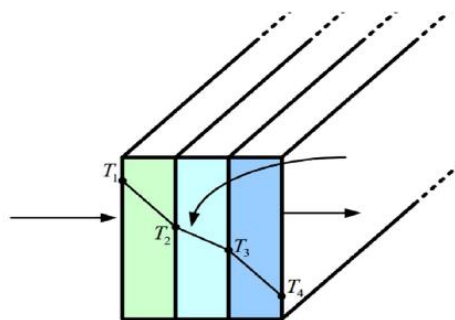
T_1 = Suhu Dinding Sebelah Kiri ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Suhu Dinding Sebelah Kanan ($^{\circ}\text{C}$)

Δx = Tebal Dinding (m)

Apabila dalam suatu sistem terdapat lebih dari satu jenis bahan, misalnya dinding berlapis-lapis (Gambar 2.8), maka aliran kalor dapat digambarkan sebagai berikut:

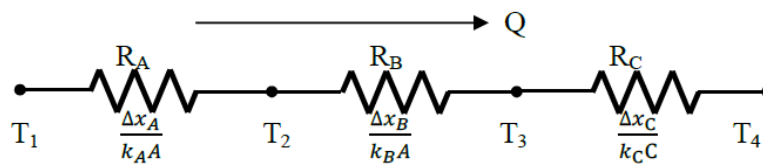
$$Q = -\frac{k_A A}{\Delta x} (T_2 - T_1) = -\frac{k_B A}{\Delta x_B} (T_3 - T_2) = -\frac{k_C A}{\Delta x_C} (T_4 - T_3) \quad (2.6)$$



Gambar 2.8 Konduksi pada Dinding Berlapis (Lebih dari satu Bahan)

Persamaan 2.2 merupakan analogi dengan Hukum Ohm dalam aliran listrik.

Artinya, perpindahan panas dapat disamakan dengan saluran aliran arus listrik seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Analogi Perpindahan Panas Dalam Aliran Listrik

Menurut analogi perpindahan panas sama dapat dirumuskan sebagai:

$$Q = \frac{\Delta T_{\text{menyeturuh}}}{\sum R_{th}} \quad 2.7$$

Kemudian dapat diturunkan menjadi persamaan 2.8 d, maka aliran panas menjadi:

$$Q = \frac{(T_1 - T_4)}{\frac{\Delta x_A}{k_A A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A} + \frac{\Delta x_C}{k_C A}} \quad 2.8$$

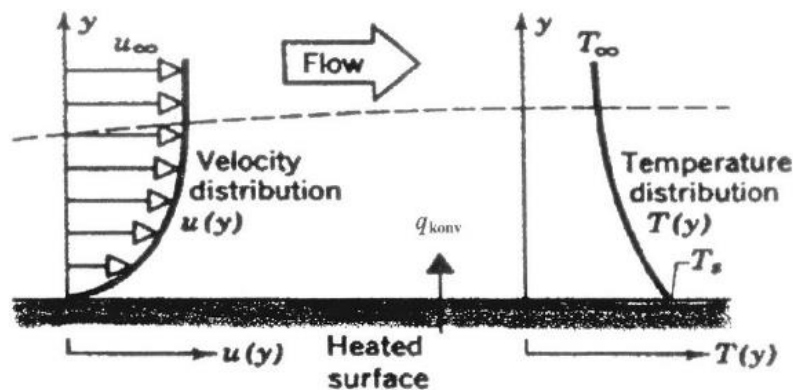
Selanjutnya, persamaan Fourier dapat dituliskan menjadi:

$$\text{Aliran Panas} = \frac{\text{Beda Potensial Panas}}{\text{Tahanan Termal}} \quad (2.9)$$

Dimana harga tahanan termal total R_{th} tergantung pada susunan dinding penyusunnya, apakah bersusun secara seri atau paralel atau gabungan.

2. Perpindahan Kalor Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi adalah suatu proses perpindahan panas yang terjadi dari suatu permukaan media padat atau fluida yang diam menuju fluida yang mengalir atau bergerak. Demikian sebaliknya, perpindahan panas terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Suatu cairan atau fluida memiliki temperatur (T) akan bergerak dengan kecepatan (V) diatas permukaan benda padat. Ketika suhu media benda padat lebih tinggi dari temperatur fluida, maka akan terjadi perpindahan panas secara konveksi dari benda padat ke fluida yang mengalir.



Gambar 2.10 Perpindahan panas konveksi dari permukaan media padat ke fluida yang mengalir

Persamaan dasar untuk menghitung laju perpindahan panas sistem konveksi, yaitu:

$$q = hA(T_w - T_f) \quad (2.10)$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas (W)

h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.K$)

A = Luas penampang (m^2)

T_w = Temperatur dinding ($^{\circ}C$)

T_f = Temperatur fluida ($^{\circ}C$)

Terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi perpindahan kalor konveksi diantaranya, skala panjang sistem (L), konduktivitas termal fluida (k), kecepatan fluida (V), kerapatan (ρ), viskositas (μ), panas jenis (C_p), dan faktor lain yang berhubungan sistem pemanasan.

Menurut perpindahan panas konveksi, aliran fluida dapat diklasifikasikan menjadi:

a. Konveksi paksa. Terjadi apabila aliran fluida disebabkan oleh gaya luar.

Seperti: blower, pompa, dan kipas angin.

b. Konveksi alamiah. Terjadi apabila aliran fluida disebabkan oleh pengaruh gaya apungnya. Dalam fluida, temperatur berbanding terbalik dengan massa jenis. Artinya, semakin tinggi temperatur suatu fluida maka massa jenisnya akan semakin rendah, begitu pula sebaliknya.

3. Perpindahan Kalor Radiasi

Sistem ini merupakan proses perpindahan panas dari satu media ke media lain akibat perbedaan temperatur atau suhu tanpa memerlukan media perantara.

Peristiwa radiasi akan menjadi lebih efektif jika terjadi pada ruang hampa.

Perpindahan kalor yang terjadi secara radiasi, mengalir dari benda (padat, cair, gas) yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah, tanpa memerlukan media. Kalor radiasi dipancarkan oleh suatu benda dalam bentuk kumpulan energi terbatas.

Bila foton-foton yang diradiasikan mencapai permukaan lain, maka foton-foton tersebut baik diserap, direfleksikan, maupun diteruskan melalui permukaan tersebut. Ada tiga sifat-sifat permukaan yang mengukur kuantitas-kuantitas sesuai dengan persamaan 2.11 adalah:

- α absorptivitas, bagian radiasi yang masuk yang diserap
- ρ reflektivitas, bagian radiasi yang masuk yang direfleksikan
- τ transmittivitas, bagian radiasi yang masuk yang ditransmisikan

Sedangkan fluks radiasi energi dari sebuah permukaan yang didefinisikan sebagai daya pancar (E). Nilai E sebanding dengan pangkat 4 dari temperatur absolut.

Untuk sebuah benda dengan $\alpha = 1$, $\rho = \tau = 0$ (sebuah benda hitam),

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2.11)$$

Di mana σ adalah konstanta Stefan Boltzmann,

$$\begin{aligned} \sigma &= 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4 \\ &= 0,1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/(h.kaki}^2 \cdot \text{R}^4) \end{aligned}$$

Perbandingan antara daya pancar nyata terhadap daya pancar benda hitam dinyatakan dengan *emisivitas* ϵ , di mana,

$$\epsilon = \frac{E}{E_b} \quad (2.12)$$

Dimana:

ϵ = Daya pancar benda nyata

ϵ_b = Daya pancar benda hitam

Beberapa bahan nilai emisivitas dan absorbtivitas dapat dianggap sama, dimana bahan ini dikelompokkan ke dalam benda kelabu, dan

$$\epsilon = \alpha \quad (2.13)$$

Selanjutnya, persamaan 2.11 memperlihatkan hubungan geometri dengan memperhatikan faktor bentuk untuk berbagai perbedaan tempaeratur FA. (Reynold dan Perkins, 1983):

$$q_r = h_r S (T_1 - T_2) \quad (2.14)$$

di mana h_r ($W/m^2.K$) adalah koefisien perpindahan panas radiasi. (Bejan dan Kraus, 1948).

2.4.7 Topologi Sistem Pemanas Induksi atau *Induction Heating* (IH)

1. Umum

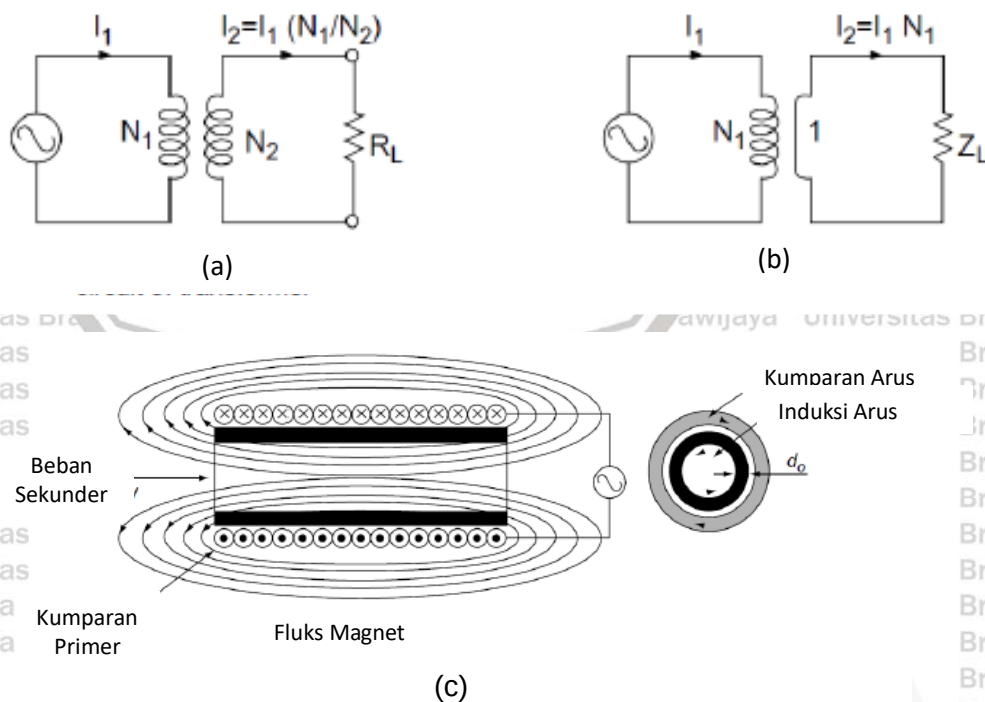
Semua aplikasi sistem pemanasan induksi (IH) yang telah dikembangkan menggunakan teori induksi elektromagnetik, yang pertama kali ditemukan oleh Michael Faraday pada tahun 1831. Induksi elektromagnetik mengacu pada fenomena dimana arus listrik yang dihasilkan dalam sirkuit tertutup oleh fluktuasi arus dalam rangkaian lainnya. Prinsip dasar dari pemanasan induksi yang diterapkan dalam penemuan Faraday, menyatakan bahwa arus AC yang mengalir melalui rangkaian magnetik mempengaruhi gerakan sirkuit sekunder yang terletak didekatnya. Fluktuasi arus dalam sirkuit utama memberikan induksi arus yang dihasilkan di sirkuit sekunder. Penemuan Faraday ini menghasilkan pengembangan motor listrik, generator, transformator, dan perangkat komunikasi nirkabel. Akan tetapi, aplikasinya belum sempurna. Rugi-rugi panas, yang terjadi selama proses pemanasan induksi, telah menjadi persoalan besar, dan merusak fungsi secara keseluruhan dari sistem. Para peneliti berusaha untuk meminimalkan rugi-rugi panas dengan membuat lapisan-lapisan rangka (frame) magnet yang ditempatkan di dalam motor atau transformer. Hukum Faraday telah diikuti oleh penemuan lainnya seperti Hukum Lentz. Hukum ini menjelaskan bahwa arus induktif mengalir berlawanan dengan arah perubahan gerakan induksi magnetik.

Rugi-rugi panas yang terjadi dalam proses elektromagnetik induksi, dapat diubah menjadi energi panas produktif dalam bentuk pemanas listrik dengan

menerapkan hukum ini. Banyak industri telah memperoleh manfaat dari terobosan ini dengan mengimplementasikan pemanasan induksi seperti *furnacing* (peleburan), pendinginan, dan pengelasan. Dalam aplikasi ini, pemanasan induksi memiliki kemudahan untuk mengatur parameter pemanasan tanpa diperlukan sumber daya eksternal tambahan. Tidak adanya kontak fisik dengan alat pemanas mengurangi tingkat kecelakaan listrik. Kerapatan energi yang tinggi dapat dicapai dengan menghasilkan cukup energi panas dalam waktu yang relatif singkat.

2. Dasar-Dasar Pemanasan Induksi (IH)

Pemanas induksi terdiri dari tiga unsur/faktor dasar, yaitu induksi elektromagnetik, efek kulit, dan transfer panas. Teori dasar IH, sebenarnya mirip dengan teori transformator. Gambar 2.11 memperlihatkan konsep dasar dari teori induksi, yang terdiri dari kumparan, induksi elektromagnetik dan efek kulit. Gambar 2.11(a) menunjukkan bentuk sederhana dari sebuah transformator, di mana arus sekunder berbanding lurus dengan arus primer sesuai dengan perbandingan belitan. Rugi-rugi primer dan sekunder disebabkan oleh hambatan dari gulungan dan koefisien hubungan antara kedua sirkuit.



Gambar 2.11 Dasar – Dasar Teori Induksi: (a) Rangkaian dari Transformator; (b) Rangkaian Sekunder Terhubung Singkat; (c) Konsep Pemanasan Induksi

Ketika kumparan sekunder diaktifkan dan dihubungkan singkat, ada rugi-rugi panas terjadi yang cukup besar karena adanya peningkatan arus beban (arus sekunder). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.11(b). Gambar 2.11(c) memperlihatkan konsep pemanasan induksi dimana energi disuplai dari sumber yang sama dari sejumlah rugi-rugi yang merupakan gabungan dari primer dan sekunder. Dalam gambar ini, kumparan induktif primer mempunyai banyak belitan, sedangkan sekunder hanya satu belitan dan dihubungkan singkat.

Tujuan utama dari pemanasan induksi adalah untuk memaksimalkan energi panas yang dihasilkan oleh sekunder, celah dari koil pemanas induktif harus dirancang sekecil mungkin dan sekunder dibuat harus mempunyai resistansi yang rendah dan permeabilitas yang tinggi.

a. Induksi Elektromagnetik

Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.11, ketika arus AC mengalir sebuah kumparan, maka medan magnet terbentuk di sekitar kumparan, dihitung menurut Hukum Ampere:

$$\oint H di = Ni = f$$

$$\Phi = \mu HA \quad (2.15)$$

Sebuah benda dimasukkan ke dalam medan magnet menyebabkan perubahan dalam kecepatan gerakan magnetik.

Menurut Hukum Faraday, arus yang dihasilkan pada permukaan sebuah objek konduktif memiliki hubungan berlawanan arah dengan arus pada rangkaian induktif seperti yang dijelaskan dalam Persamaan (2.16). Arus pada permukaan objek menghasilkan arus eddy, dihitung dengan persamaan:

$$E \frac{d\lambda}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.16)$$

Akibatnya, energi listrik yang disebabkan oleh arus induksi dan arus eddy diubah menjadi energi panas, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.17).

$$P = \frac{E^2}{R} = i^2 R \quad (2.17)$$

Resistansi ditentukan oleh resistivitas (ρ) dan permeabilitas (μ) dari objek konduktif.

Arus ditentukan oleh intensitas medan magnet.

b. Efek Kulit

Semakin tinggi frekuensi arus diberikan kepada kumparan, semakin banyak arus induksi yang mengalir di sekitar permukaan beban. Kerapatan arus induksi akan berkurang ketika mengalir lebih dekat ke pusat, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.18) dan (2.19). Hal ini disebut "**Efek Kelvin**" atau "efek kulit". Dari efek ini, kita dapat menyimpulkan bahwa energi panas dari energi listrik terkonsentrasi pada kedalaman kulit (permukaan objek):

$$i_x = i_0 e^{-x/d_0} \quad (2.18)$$

Dimana:

i_x = jarak dari kulit (permukaan) pada obyek, kerapatan arus pada x ;

i_0 = kerapatan arus pada kedalaman kulit ($x = 0$);

d_0 = konstanta yang ditentukan oleh frekuensi (kedalaman arus penetrasi atau kedalaman kulit), dan:

$$d_0 = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad (2.19)$$

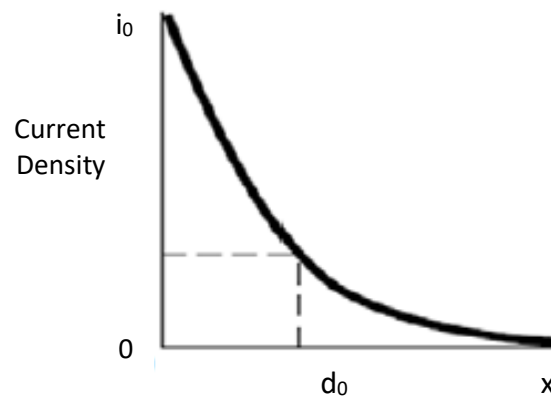
dimana:

ρ = resistivitas;

μ = permeabilitas dari objek; dan

ω = frekuensi arus yang mengalir melalui obyek

Persamaan (2.19) menyatakan bahwa ketebalan kulit ditentukan oleh resistivitas, permeabilitas, dan frekuensi objek. Gambar 2.12 adalah grafik distribusi kerapatan arus yang berhubungan dengan ketebalan kulit.



Gambar 2.12 Distribusi Bagan Kerapatan Arus dan Ketebalan Kulit

3. Topologi Sistem Daya

Umumnya, peralatan *switching* semikonduktor dioperasikan dengan menggunakan *Hard Switch Mode* dengan berbagai tipe seperti topologi konverter DC-DC Modulasi Lebar Pulsa atau *Pulse Width Modulation* (PWM) dan topologi inverter DC-AC yang digunakan dalam sistem tenaga. Dalam mode ini, arus dihidupkan atau dimatikan pada tegangan tertentu ketika *switching* terjadi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13. Proses ini menghasilkan rugi-rugi *switching*. Semakin tinggi frekuensi, semakin besar rugi-rugi *switching*. Rugi-rugi *switching* dapat dihitung seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.20. *Switching* juga menyebabkan masalah EMI, akibat besarnya jumlah di/dt dan dv/dt yang dihasilkan.

$$P_{sw} = \frac{1}{2} V_{sw} I_{sw} f_s (t_{on} + t_{off}) \quad (2.20)$$

dimana:

P_{sw} = rugi-rugi *switching* [W];

V_{sw} = tegangan *switching* [V];

I_{sw} = arus *switching* [A];

f_s = frekuensi *switching* [kHz];

t_{on} = waktu switch turn-on [s]; dan

t_{off} = waktu switch turn-off [s].



Dalam topologi ZCS, induktansi dipasang dalam rangkaian resonansi untuk menghilangkan lonjakan tegangan dalam kondisi mati (turn-off). Hal ini dilakukan, karena pada saat rangkaian *switching* dinyalakan, maka akan menimbulkan suatu

lonjakan tegangan yang dihasilkan dari pelepasan listrik dari kapasitansi *junction*.

Metode ini menyebabkan rugi-rugi *switching* ($0.5CV^2 f$). Oleh karena itu, rangkaian

ZCS dipasang induktansi dan kapasitansi yang berfungsi sebagai rangkaian resonansi untuk menghilangkan cacat dari lonjakan arus dan tegangan.

Sebaliknya, rangkaian ZVS dapat menurunkan rugi-rugi pada saat *switching* dihidupkan. Dalam hal ini, rugi-rugi lonjakan arus pada saat padam (*turn-off*) yang disebabkan oleh induktansi atau kondisi turn-on yang disebabkan oleh kapasitansi.

Sebagai konverter resonansi yang memberikan sebagian besar efisiensi konversi energi dalam sistem daya dengan meminimalisir rugi-rugi *switching*, maka rangkaian ZVS secara luas digunakan dalam berbagai industri dibanding dengan ZCS. Kondisi ini, juga merupakan salah satu alasan konverter diadopsi dalam topologi sistem daya IH.

a. Inverter resonansi

Rangkaian resonansi dari inverter resonansi terdiri dari kapasitor, induktor, dan resistor / sumber resistansi. Dua jenis inverter resonansi umumnya digunakan, yakni: rangkaian resonansi seri dan rangkaian resonansi paralel. Gambar 2.14 menunjukkan dua tipe yang umum dipakai. Ketika sumber daya tersambung seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.21), maka energi listrik disimpan dalam induktor dan ditransfer ke kapasitor. Persamaan (2.22) menyederhanakan perhitungan jumlah energi yang tersimpan dalam kapasitor yang dikirim ke induktor. Dengan demikian, resonansi terjadi antara induktor dan kapasitor sehingga terjadi pertukaran energi. Jumlah total energi yang tersimpan di sirkuit selama resonansi tetap tidak berubah. Jumlah total ini adalah sama dengan jumlah energi yang tersimpan dalam konduktor atau kapasitor.

$$i = \sqrt{2I} \sin \omega t [A] \quad (2.21)$$

$$V_c = \frac{1}{C} \int i dt = -\frac{\sqrt{2I}}{\omega C} \cos \omega t [V] \quad (2.22)$$

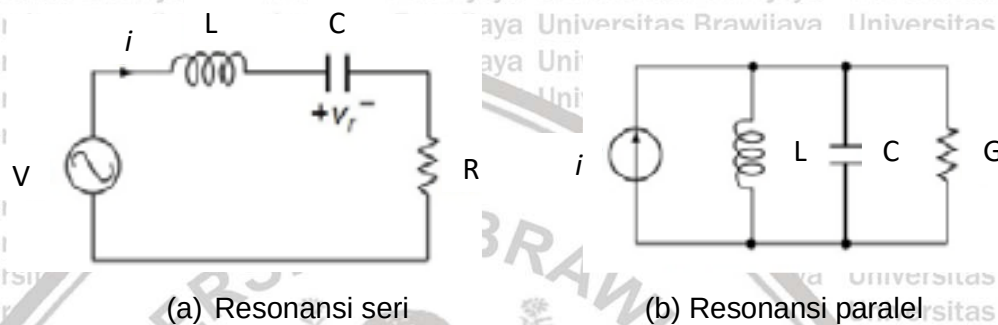
$$E_L = \frac{1}{2} Li^2 = LI^2 \sin^2 \omega t [J] \quad (2.23)$$

$$E_c = \frac{1}{2} CV_c^2 = \frac{I^2}{\omega^2 C} \cos^2 \omega t = LI^2 \cos^2 \omega t [J] \quad (2.24)$$

$$E_L + E_c = LI^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) = LI^2 \frac{1}{\omega^2 C} [J] \quad (2.25)$$

Seperti telah diketahui, bahwa beberapa energi yang hilang akibat resistansi dalam proses resonansi, sehingga jumlah total energi yang tersimpan berkurang dalam

induktor pada saat terjadinya pertukaran resonansi. Frekuensi resonansi merupakan kecepatan transfer energi yang ditentukan oleh kapasitansi (C) dan induktansi (L), seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.25). Reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif masing-masing dirangkum dalam persamaan (2.26) dan (2.27). Sedangkan ukuran impedansi dalam rangkaian resonan seri ditentukan dalam persamaan (2.31).



Gambar 2.14 Rangkaian Resonansi

$$X_L = j\omega L = j2\pi fL \text{ } [\Omega] \quad (2.26)$$

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{j2\pi fC} \text{ } [\Omega] \quad (2.27)$$

$$|z| = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \text{ } [\Omega] \quad (2.29)$$

Pada frekuensi resonansi, reaktansi induktif dari persamaan (2.26) dan reaktansi kapasitif dari persamaan (2.30) menjadi sama, sehingga tegangan dan arus dari sumber listrik dalam rangkaian berada pada level yang sama. Arus dalam rangkaian mencapai puncaknya, ketika frekuensi sumber menjadi sama dengan frekuensi resonansi. Perubahan frekuensi sumber menjadi tinggi atau menjadi lebih rendah dari frekuensi resonansi mengikuti persamaan (2.30):

$$2\pi fL = \frac{1}{j2\pi fC} \rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ } [Hz] \quad (2.30)$$

Sifat dari reaktansi dalam rangkaian disebut impedansi "khusus", yang dapat digambarkan seperti terlihat pada persamaan berikut:

$$Z_o = X_L = X_C = \omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (2.31)$$

$$X_o^2 = X_L \times X_C = \frac{L}{C} \quad (2.31)$$

Sedangkan rasio pemilihan rangkaian resonansi seri setengah-jembatan (*Half-Bridge*) ditunjukkan dalam persamaan berikut:

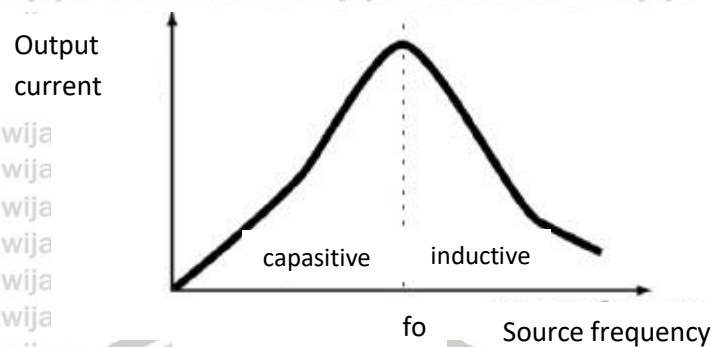
$$Q = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{1}{\omega_o CR} = \frac{Z_o}{R} \quad (2.32)$$

Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.32), resistansi menjadi lebih kecil dibanding dengan induktansi, yaitu ketika frekuensi sumber mendekati frekuensi resonansi, ketajaman frekuensi dan nilai Q yang lebih besar diperlihatkan dalam Gambar 2.20. Pembilang adalah energi terakumulasi dalam induktor selama resonansi dan penyebut adalah jumlah rata-rata dari energi yang dikonsumsi oleh resistansi dalam setiap siklus. Kurva frekuensi menunjukkan hubungan antara output arus / energi dan frekuensi sumber ketika sumber tegangan dari rangkaian resonan ditetapkan sama. Output energi dan arus mencapai nilai maksimum pada frekuensi resonansi.

Daerah dimana frekuensi *switching* lebih rendah dari frekuensi resonansi, maka reaktansi induktif memiliki hubungan langsung dengan frekuensi *switching*. Dengan kata lain, semakin rendah frekuensi semakin kecil reaktansi induktif. Menurut persamaan (2.27), reaktansi kapasitif berbanding terbalik dengan frekuensi. Ketika reaktansi menjadi lebih kapasitif, maka arus menjadi lebih tinggi dibanding tegangan. Ketika frekuensi *switching* meningkat (dalam persamaan (2.28), maka impedansi juga ikut meningkat, sehingga memperbesar jumlah energi output, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15. Sebaliknya, frekuensi *switching* yang lebih rendah menyebabkan impedansi lebih kecil yang menyebabkan output energi menjadi berkurang.

Selanjutnya, daerah di mana frekuensi *switching* menjadi lebih tinggi dibanding dengan frekuensi resonansi, maka nilai reaktansi induktif juga menjadi lebih besar. Dengan demikian, nilai reaktansi kapasitif menjadi lebih kecil sesuai dengan persamaan (2.27). Reaktansi induktif yang lebih tinggi menyebabkan arus menjadi lebih rendah dibanding dengan tegangan. Dalam situasi ini, frekuensi *switching* yang lebih tinggi disertai dengan peningkatan impedansi (persamaan (2.28), menyebabkan output energi lebih rendah. Ketika frekuensi *switching* turun,

impedansi berkurang, dan meningkatkan energi output (seperti dalam persamaan (2.32)).

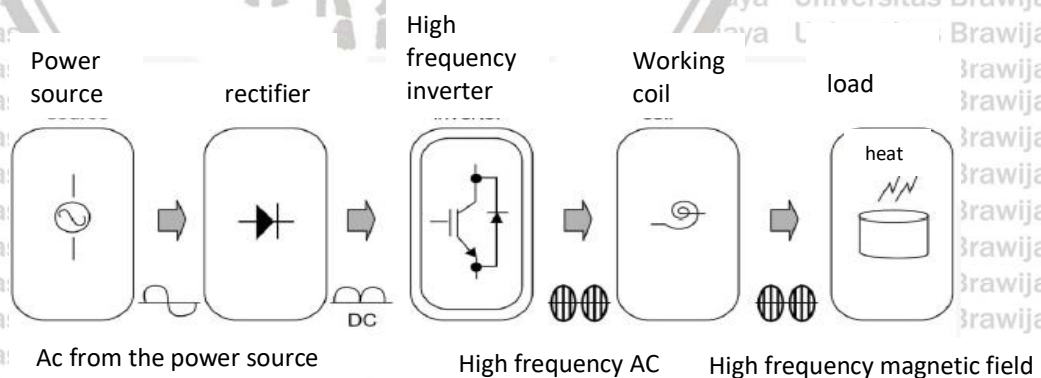


Gambar 2.15 Kurva Frekuensi

4. Aplikasi Pemanas Induksi

a. Teori dasar sistem operasi induksi elektromagnetik

Konsep induksi pemanas yaitu: pertama, mengubah arus AC yang berasal dari sumber daya menjadi DC dengan menggunakan penyearah. Kemudian, menghubungkan arus DC ke rangkaian *switching* frekuensi tinggi untuk mengatur arus frekuensi tinggi ke koil pemanas. Menurut Hukum Ampere, medan magnet frekuensi tinggi akan menimbulkan panas di sekitar kumparan. Jika sebuah benda konduktif, misalnya wadah logam besi diletakkan di dalam medan magnet, maka tegangan induksi dan arus eddy timbul pada kedalaman kulit dari wadah sebagai akibat dari efek kulit dan Hukum Faraday.



Gambar 2.16 Teori Operasi Pemanas IH

b. Power System dari *IH*

Ada dua jenis topologi yang digunakan dalam sistem power *IH* yaitu: inverter resonansi seri setengah-jembatan dan inverter resonansi kuasi. Kedua topologi ini memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri - sendiri. Kelebihan inverter resonansi seri setengah jembatan adalah:

- mempunyai *switching* yang stabil
- biaya rendah, dan rangkaiannya sederhana
- tegangan dari rangkaian dibatasi pada level tegangan input
- rangkaian *switching* memiliki tekanan internal yang rendah, sehingga membantu mengurangi biaya
- memungkinkan desain komponen kontrol *switching* dalam sirkuit bisa menjadi efisien.

Sedangkan kekurangannya, adalah:

- membutuhkan dua sirkuit *switching*, yang menjadikan proses kerja secara keseluruhan menjadi lebih rumit dan ukuran *heat sink* dan PCB yang lebih besar.
- rangkaian operasi gerbang harus terisolasi.

Selanjutnya, kelebihan dari Inverter resonansi kuasi adalah:

- membutuhkan hanya satu rangkaian *switching*, yang memungkinkan desain PCB dan penggunaan *heat sink* yang relatif kecil, sehingga membuat proses kerja menjadi lebih sederhana.
- titik yang berhubungan dengan sistem ground / pentanahan bisa dibagi.

Kekurangannya adalah:

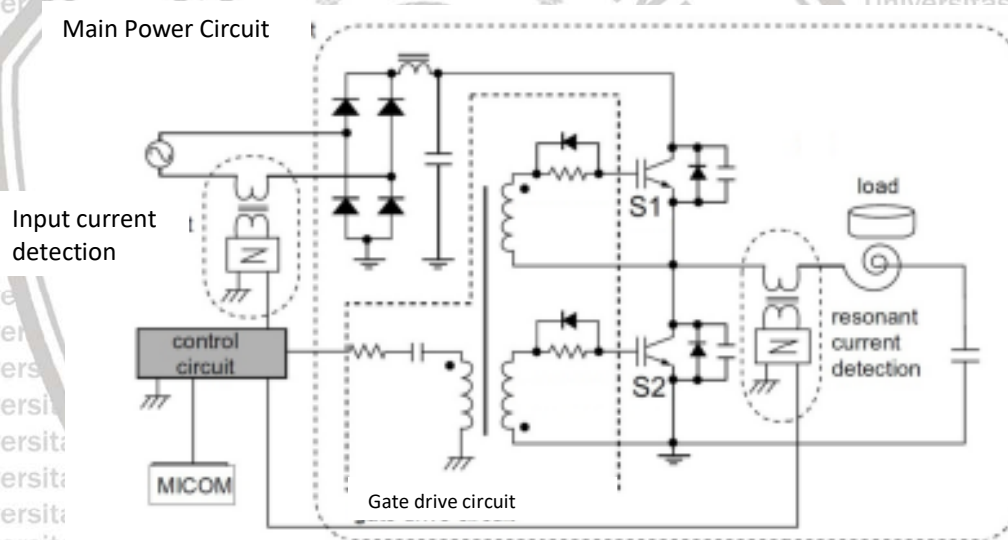
- seringkali gelombangnya cacat yang disebabkan oleh *switching* relatif tidak stabil,
- adanya tekanan tinggi internal yang disebabkan oleh tegangan resonansi yang diberikan kepada kedua sisi sirkuit, sehingga mendorong naiknya biaya sirkuit.
- desain / rancangan sistem kontrolnya menjadi lebih rumit.

Akan tetapi, seperti yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa peningkatan teknologi dalam perangkat semikonduktor *switching* frekuensi tinggi telah menyebabkan beberapa hal, diantaranya: adanya inovasi sehingga harga yang lebih rendah, kinerja yang lebih tinggi, dan kehandalan yang tinggi. Dengan mempertimbangkan kelebihan yang dimiliki oleh inverter resonansi-kuasi, maka

saat ini umumnya lebih banyak dalam aplikasi industri. Berikut ini menjelaskan pengoperasian inverter resonansi seri setengah-jembatan dan inverter resonansi-kuasi.

(i) Inverter Resonansi Seri Setengah Jembatan (*Half-Bridge Seri Resonant Inverter*)

Berbagai metode desain yang telah dibuat untuk sistem power yang menggunakan inverter resonansi seri setengah-jembatan. Gambar 2.17 memperlihatkan diagram blok dari sistem daya dalam bentuk yang disederhanakan dengan memperhitungkan keandalan dan ekonomi. Sistem ini terdiri dari sebuah power supply AC, rangkaian daya utama, rangkaian kontrol, rangkaian deteksi input arus, rangkaian deteksi arus resonansi, dan rangkaian operasi gerbang (*gate*).



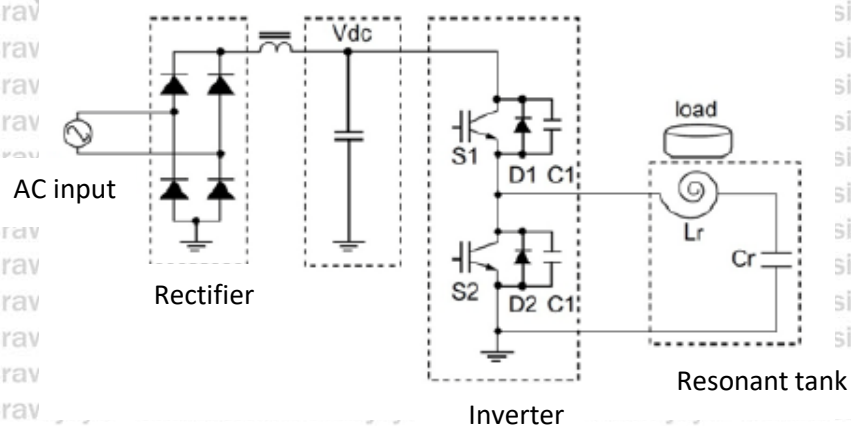
Gambar 2.17 Inverter resonansi Seri Setengah Jembatan

Tegangan listrik AC (220 V / 50 Hz) melewati penyearah yang akan dikirim ke kapasitor. Kapasitor yang terpasang dalam rangkaian mempunyai muatan / kapasitas yang sangat kecil untuk melakukan fungsi sebagai leveling mengarah pada timbulnya arus penyearah dalam frekuensi 120 Hz, yang tidak biasa pada level untuk operasi DC. Oleh karena itu, sistem power untuk IH, tidak memerlukan kapasitor besar untuk membuat DC lebih diratakan, sebagaimana tujuan utama dari sistem ini adalah untuk menghasilkan energi panas. Hal ini berbanding terbalik dalam sistem penyearah DC, dimana pemasangan kapasitor dimaksudkan untuk membantu meningkatkan sistem faktor daya. Dalam sistem ini, level kapasitor

berfungsi sebagai filter untuk mencegah arus frekuensi tinggi mengalir menuju inverter dan memasuki bagian input. Input arus menjadi arus inverter rata-rata dan riak mengalir ke level kapasitor.

Ketika tegangan melewati level kapasitor gelombang DC berubah menjadi gelombang persegi dalam proses *switching* frekuensi tinggi dalam inverter. Harmonik frekuensi tinggi dalam gelombang persegi dieliminasi oleh filter L_r , C_r . Gelombang persegi memungkinkan resonansi dalam sirkuit resonansi, yang pada gilirannya, menimbulkan medan magnet di sekitar induktor resonansi yang mempengaruhi beban (wadah pemanas). Dengan demikian, timbul arus eddy sekitar permukaan obyek, dan menghasilkan energi panas. Dalam kondisi yang bersamaan, arus mengalir melalui bagian input AC ke *rectifier*, kemudian arus resonansi mengalir melalui inverter ke dalam rangkaian resonansi yang merupakan input rangkaian kontrol. Untuk mengontrol tingkat maksimum arus input dan arus resonansi, maka rangkaian kontrol menetapkan frekuensi *switching* inverter, dengan mengontrol gerbang (*gate*) inverter *switching* melalui operasi sirkuit gerbang.

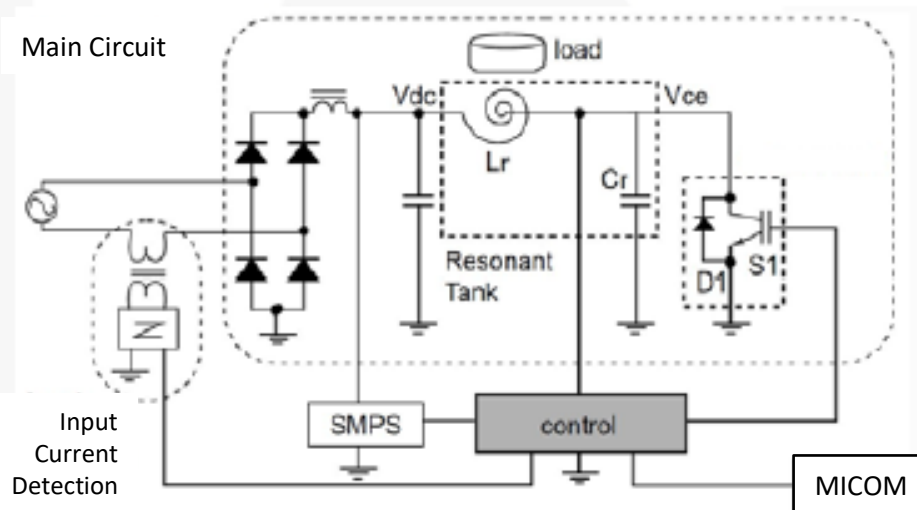
Gambar 2.18 memperlihatkan rangkaian daya utama *switching* frekuensi tinggi dari inverter setengah jembatan. Rangkaian *switching* menggunakan komponen *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT). Tegangan nol/*turn-on* saat *switching* diaktifkan dengan mengatur penyalaan (*turn-on*) IGBT sampai diode hidup sesuai dengan siklusnya. Rangkaian resonansi terdiri dari induktansi resonansi (L_r) dan kapasitansi resonansi (C_r). Kapasitor, C_1 dan C_2 , berfungsi sebagai snubber ketika S_1 dan S_2 dimatikan (*turn-off*).



Gambar 2.18 Rangkaian Power Utama Inverter ½ Jembatan

(ii) Inverter Resonansi- Kuasi

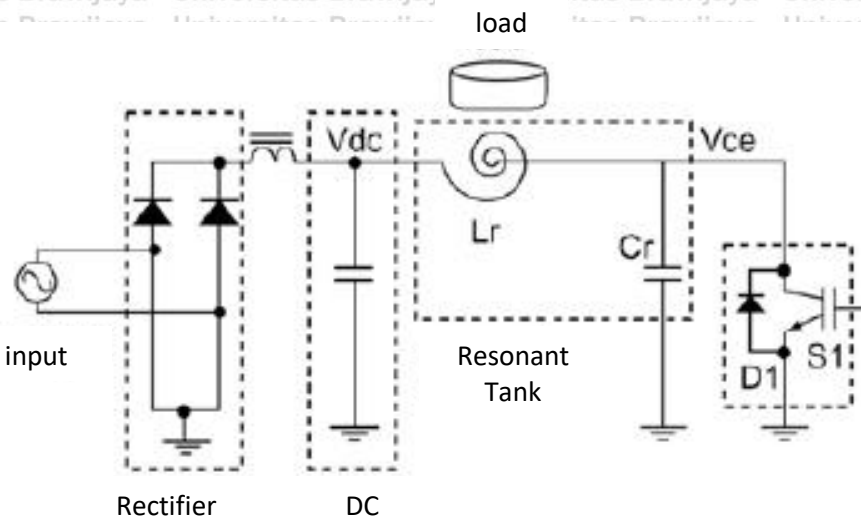
Ada beberapa metode desain untuk sistem power yang menggunakan inverter resonansi-kuasi. Gambar 2.19 memperlihatkan diagram blok sistem inverter resonansi – kuasi.



Gambar 2.19 Inverter Resonansi Kuasi

Konsep operasi dasar rangkaian resonansi-kuasi mirip dengan inverter resonansi seri setengah-jembatan yang menghasilkan energi panas. Akan tetapi, metode kontrol gerbang dalam rangkaian *switching* sama sekali berbeda. fungsi utama dari setiap blok adalah sebagai berikut:

Rangkaian utama inverter resonansi-kuasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Rangkaian ini terdiri dari *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT) dan dioda terhubung secara paralel. Rangkaian mengeksekusi *switching* frekuensi tinggi. Dengan menghidupkan IGBT bersamaan dioda akan menghidupkan *switching* pada kondisi arus dan tegangan nol. Rangkaian resonansi terdiri dari induktansi resonan (L_r) dan kapasitansi resonansi (C_r).

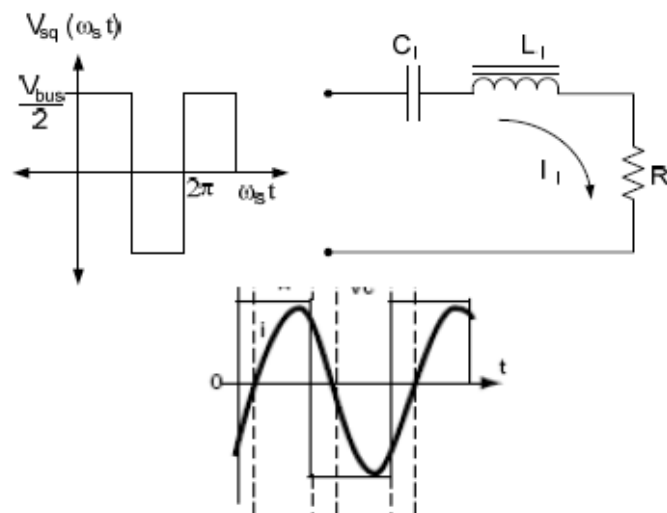


Gambar 2.20 Rangkaian Utama

2.4.8 Komponen yang Digunakan dalam Rangkaian Induksi Elektromagnetik

1. Rangkaian Zero Voltage Switching (ZVS)

ZVS adalah merupakan rangkaian *switching* dimana frekuensi dasarnya bekerja di atas frekuensi resonansi ($f > f_0$). Tegangan keluaran inverter setengah gelombang adalah setengah dari VDC dengan bentuk gelombang kotak.

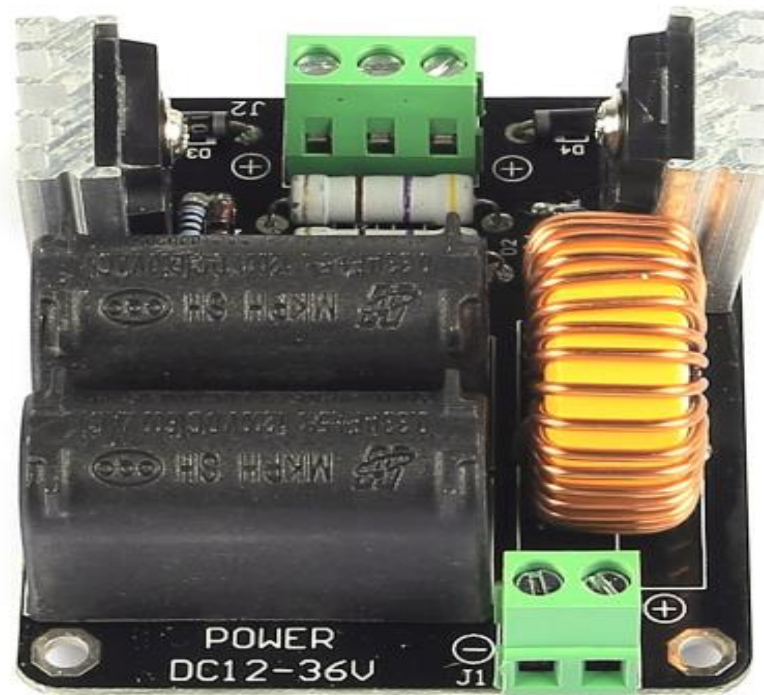


Gambar 2.21 Rangkaian Resonansi Seri dengan Input Gelombang Kotak dari Inverter

Gelombang kotak yang dihasilkan oleh inverter dikopling langsung ke beban/tahanan dengan melalui blocking C_1 dan induktor L_1 untuk mengatur arus yang melalui beban (R_1). Daya yang disalurkan ke beban (R) pada Gambar 2.21 dapat dihitung dengan:

$$P_1 = \frac{2V_{bus}^2 R_1}{\pi^2 \left[\left(\omega_s L_1 - \frac{1}{\omega_s C_1} \right)^2 + R_1^2 \right]} \quad (2.33)$$

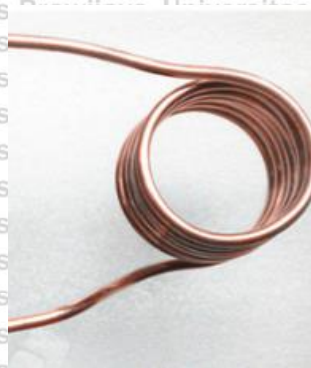
Jika $\omega_s = 2\pi f_s$ dimana f_s adalah frekuensi *switching*, maka untuk mengatur daya dapat dilakukan dengan bervariasikan besaran frekuensi pensaklaran. Semakin besar frekuensi, maka daya keluaran akan semakin kecil. Demikian sebaliknya, semakin kecil frekuensi pensaklaran, maka daya output semakin besar. Gambar 2.22 memperlihatkan prototype dari rangkaian ZVS.



2.22 Rangkaian Zero Switching Voltage

2. Koil Kumparan Induksi

Kumparan induksi menggunakan kawat tembaga ukuran 2 mm sebanyak 12 lilitan dengan ukuran diameter disesuaikan dengan lebar wadah tempat minyak nyamplung (Gambar 2.23).



Gambar 2.23 Kumparan Induksi

3. Mikrokontroler Arduino

Mikrokontroler adalah sebuah komponen berbasis komputer yang dibuat dalam bentuk chip. Di dalam mikrokontroler berisi sebuah *processor*, memori (RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output (I/O). Dengan kata lain, mikrokontroler adalah sebuah perangkat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran yang dilengkapi kendali dengan program dan program ini bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Mikrokontroler merupakan komputer yang berbentuk chip yang dapat digunakan untuk mengontrol peralatan elektronik. Secara harfiahnya, microcontroller bisa disebut “pengendali/pengontrol” dimana sebuah sistem elektronik yang sebelumnya banyak memerlukan komponen-komponen pendukung seperti IC TTL dan CMOS dapat direduksi/diperkecil dan akhirnya terpusat serta dikendalikan oleh mikrokontroler ini. (<http://www.kelas-mikrokontrol>).

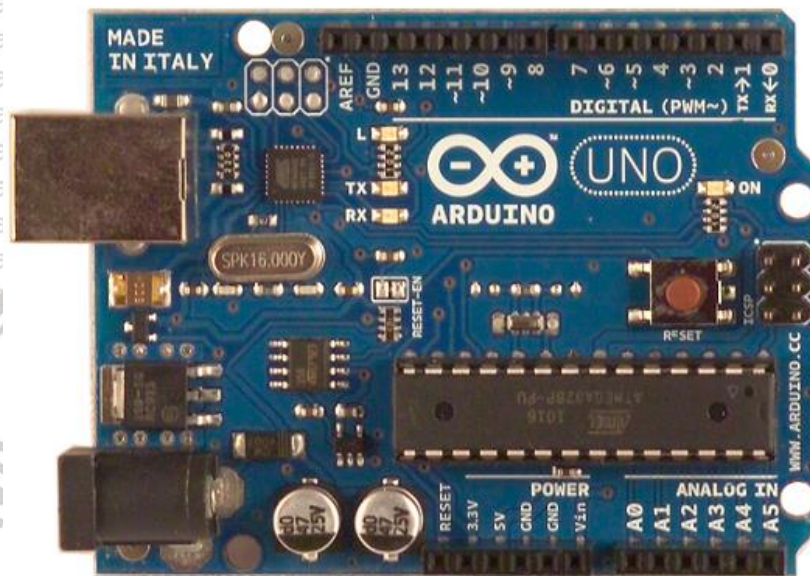
Arduino

Arduino merupakan rangkaian elektronik yang bersifat *open source*, serta memiliki perangkat keras dan lunak yang mudah untuk digunakan. Arduino dapat mengenali lingkungan sekitarnya melalui berbagai jenis sensor dan dapat mengendalikan lampu, motor, dan berbagai jenis aktuator lainnya. Arduino mempunyai banyak jenis, di antaranya Arduino Uno, Arduino Mega 2560, Arduino Fio, dan lainnya. (www.arduino.cc).

Arduino Uno

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin input/output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power,

kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu men-support mikrokontroller, dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. (Feri Djuandi, 2011). Gambar 2.24 memperlihatkan gambar Board Arduino Uno (<http://www.arduino.cc>).



Gambar 2.24 Mikrokontroller Alduino Uno

Menurut Djuandi (2011), Arduino adalah merupakan sebuah board minimum system mikrokontroller yang bersifat open source. Didalam rangkaian board arduino terdapat mikrokontroller AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding board mikrokontroller yang lain selain bersifat open source, arduino juga mempunyai bahasa pemrogramanya sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam board arduino sendiri sudah terdapat loader yang berupa USB sehingga memudahkan kita ketika kita memprogram mikrokontroller didalam arduino. Sedangkan pada kebanyakan board mikrokontroller yang lain yang masih membutuhkan rangkaian loader terpisah untuk memasukkan program ketika akan memprogram mikrokontroller. Port USB tersebut selain untuk loader ketika memprogram, bisa juga difungsikan sebagai port komunikasi serial.

Arduino menyediakan 20 pin I/O, yang terdiri dari 6 pin input analog dan 14 pin digital input/output. Untuk 6 pin analog sendiri bisa juga difungsikan sebagai output digital jika diperlukan output digital tambahan selain 14 pin yang sudah tersedia. Untuk mengubah pin analog menjadi digital cukup mengubah konfigurasi

pin pada program. Dalam *board* kita bisa lihat pin digital diberi keterangan 0-13, jadi untuk menggunakan pin analog menjadi output digital, pin analog yang pada keterangan board 0-5 kita ubah menjadi pin 14-19. dengan kata lain pin analog 0-5 berfungsi juga sebagai pin output digital 14-16. Sifat *open source* arduino juga banyak memberikan keuntungan tersendiri untuk kita dalam menggunakan *board* ini, karena dengan sifat *open source* komponen yang kita pakai tidak hanya tergantung pada satu merek, namun memungkinkan kita bisa memakai semua komponen yang ada dipasaran.

Deskripsi Arduio UNO

• Power

Arduino dapat diberikan *power* melalui koneksi USB atau *power supply*. *Power*nya diselek secara otomatis. *Power supply* dapat menggunakan adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dikoneksikan dengan mencolok *jack* adaptor pada koneksi port input *supply*. *Board* arduino dapat dioperasikan menggunakan *supply* dari luar sebesar 6–20 volt. Jika *supply* kurang dari 7V, kadangkala pin 5V akan menyuplai kurang dari 5 volt dan *board* bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12 V, tegangan di regulator bisa menjadi sangat panas dan menyebabkan kerusakan pada *board*. Rekomendasi tegangan ada pada 7 sampai 12 volt. Adapun penjelasan pada pin power sebagai berikut:

• Vin

Tegangan input ke board arduino ketika menggunakan tegangan dari luar (seperti yang disebutkan 5 volt dari koneksi USB atau tegangan yang diregulasikan). Pengguna dapat memberikan tegangan melalui pin ini, atau jika tegangan suplai menggunakan *power jack*, aksesnya menggunakan pin ini.

• 5V

Regulasi *power supply* digunakan untuk *power* mikrokontroler dan komponen lainnya pada board. 5V dapat melalui Vin menggunakan regulator pada board, atau *supply* oleh USB atau *supply* regulasi 5V lainnya.

• 3V3

Suplai 3,3 volt didapat oleh FTDI chip yang ada di board. Arus maksimumnya adalah 50mA

• Pin Ground

Berfungsi sebagai jalur ground pada arduino

Memori

ATmega 328 memiliki 32 KB flash memori untuk menyimpan kode, juga 2 KB yang digunakan untuk bootloader. ATmega328 memiliki 2 KB untuk SRAM dan 1 KB untuk EEPROM.

Input & Output

Setiap 14 pin digital pada arduino dapat digunakan sebagai input atau output, menggunakan fungsi pin Mode (), digital Write (), dan digital Read (). Input/output dioperasikan pada 5 volt. Setiap pin dapat menghasilkan atau menerima maximum 40 mA dan memiliki internal pull-up resistor (disconnected oleh default) 20-50K Ohm.

Beberapa pin memiliki fungsi sebagai berikut:

- Serial: 0 (RX) dan 1 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirim (TX) TTL data serial. Pin ini terhubung pada pin yang koresponding dari USB ke TTL chip serial.
- Interrupt eksternal: 2 dan 3. Pin ini dapat dikonfigurasi untuk trigger sebuah interap pada low value, rising atau falling edge, atau perubahan nilai.
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11. Mendukung 8-bit output PWM dengan fungsi analog Write.
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Pin ini mensupport komunikasi SPI, yang mana masih mendukung hardware, yang tidak termasuk pada bahasa arduino.
- LED: 13. Ini adalah dibuat untuk koneksi LED ke digital pin 13. Ketika pin bernilai HIGH, LED hidup, ketika pin LOW, LED mati.

Komunikasi

Uno Arduino memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lain. ATmega328 ini menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial, yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). *Firmware* Arduino menggunakan USB driver standar COM, dan tidak ada driver eksternal yang dibutuhkan. Namun, pada Windows, file. Ini diperlukan. Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data sederhana yang akan dikirim ke *board* Arduino. RX dan TX LED di *board* akan

berkedip ketika data sedang dikirim melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB ke komputer.

Software Arduino

Arduino Uno dapat diprogram dengan perangkat lunak Arduino. Pada ATmega328 di Arduino terdapat *bootloader* yang memungkinkan Anda untuk meng-upload kode baru untuk itu tanpa menggunakan *programmer hardware eksternal*. IDE Arduino adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan Java. IDE Arduino terdiri dari (<http://www.arduino.cc>):

1. Editor program, sebuah window yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *Processing*.
2. *Compiler*, sebuah modul yang mengubah kode program (bahasa *Processing*) menjadi kode biner. Bagaimanapun sebuah mikrokontroler tidak akan bisa memahami bahasa *Processing*. Yang bisa dipahami oleh mikrokontroler adalah kode biner. Itulah sebabnya *compiler* diperlukan dalam hal ini.
3. *Uploader*, sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memory didalam papan Arduino.

4. Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi membaca nilai tegangan suatu rangkaian. Arduino dapat membaca nilai tegangan dengan memanfaatkan pin analog. Jika range tegangan yang dibaca diantara 0-5 V bisa langsung menggunakan pin analog, sedangkan jika range tegangan yang dibaca >5V harus menggunakan rangkaian tambahan yakni pembagi tegangan karena pin arduino bekerja pada max 5 v.



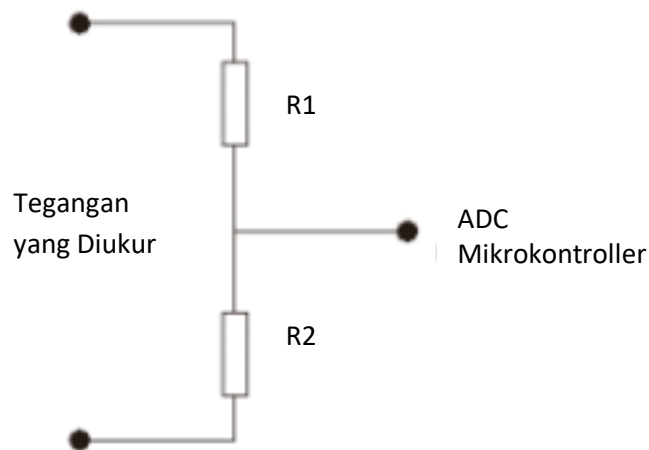
Gambar 2.25 Sensor Tegangan

Data yang diterima arduino berupa nilai ADC, untuk mengkonversi menjadi nilai tegangan menggunakan rumus:

$$\text{Tegangan} = \text{ADC}/1023 \times 5\text{V} \quad (2.34)$$

Dimana:

- ADC : Nilai ADC yang terbaca
- 1023 : Nilai ADC maksimal (10 bit)
- 5V : Tegangan referensi ADC arduino (default)



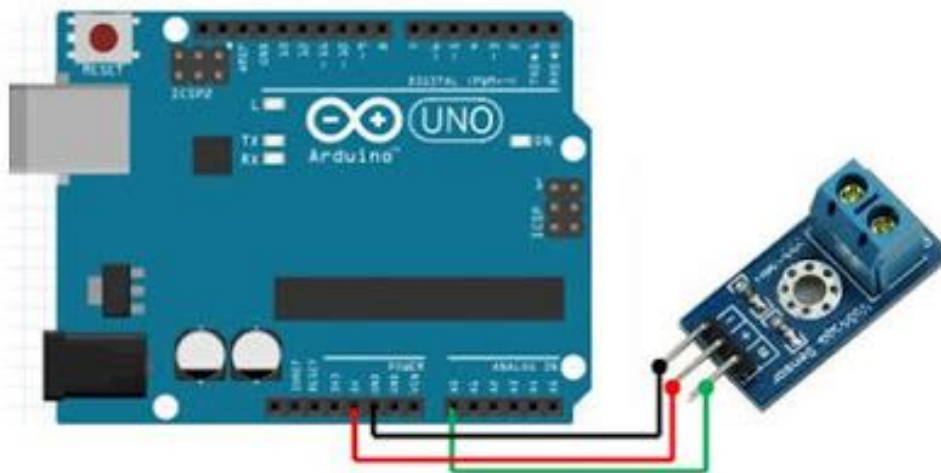
Gambar 2.26 Rangkaian Pembagi Tegangan

Prinsip kerjanya adalah membuat perbandingan antara tegangan asli dengan tegangan yang terbaca oleh arduino. Untuk membuat rangkaian pembagi tegangan kita harus menentukan beberapa parameter, misalnya:

- Tegangan maksimal yang diukur (V_i) = 24 Volt
- Tegangan maksimal ADC (V_o) = 4 Volt (atur max 5 Volt)
- $R_1 = 1000 \Omega$ (bebas menyesuaikan)
- Dari ketentuan diatas dapat disimpulkan ketika arduino membaca tegangan sebesar 4 Volt itu artinya tegangan sebenarnya adalah 24 Volt atau $V_i:V_o = 6:1$
- Berikut cara menentukan nilai R_2 :
 - $R_2 = V_o/V_i * (R_1+R_2)$
 - $R_2 = 4/24 * (1000+R_2)$
 - $R_2 = 200 \Omega$

Rangkaian koneksi Arduino dengan Sensor Tegangan

Cara merangkai modul sensor tegangan yang di koneksi dengan arduino yaitu kabel merah dihubungkan dengan sumber tegangan 5V, kabel hitam dihubungkan dengan ground (GND) dan kabel hijau dihubungkan dengan analog read 0 (A0) pada arduino. Untuk lebih jelasnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.27.



Gambar 2.27 Rangkaian Koneksi Arduino dengan Modul Sensor Tegangan

Source Code Sensor tegangan untuk Arduino

Salah satu contoh program arduino untuk dapat menjalankan sensor tegangan dengan tegangan maksimum 25V. Memasukkan rumus kalibrasinya ke dalam program seperti berikut:

```
#include <Wire.h>
int Volt1;
int Volt;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Voltage: ");
}
void loop()
{
  Volt1=analogRead(0);
  Volt=((Volt1*0.00489)*5);
  Serial.print(Volt);
```



```
Serial.println("V");
delay(1000);
```

```
}
```

Berikut contoh sederhana source code sensor tegangan:

```
1 float vin;
2 float vout;
3 float adc;
4 #define pin_sensorT A0
5
6
7 void setup() {
8   pinMode (pin_sensorT, INPUT);
9 }
10
11 void loop() {
12   adc = analogRead(pin_sensorT);
13   vin = adc/1023 * 5;
14   vout = vin*6;
15 }
```

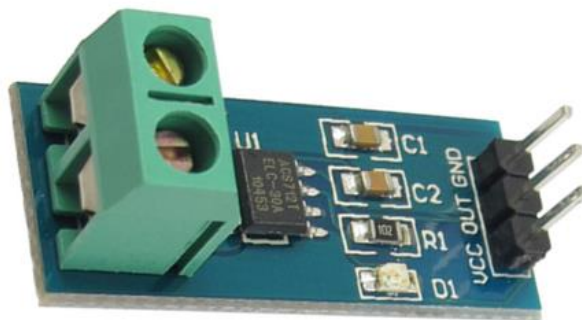
5. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan berupa modul sensor arus ACS712 yang memiliki kegunaan untuk mendeteksi besar arus yang mengalir lewat blok terminal. Fitur dan kegunaan yang diberikan oleh sensor arus ACS712 seperti berikut:

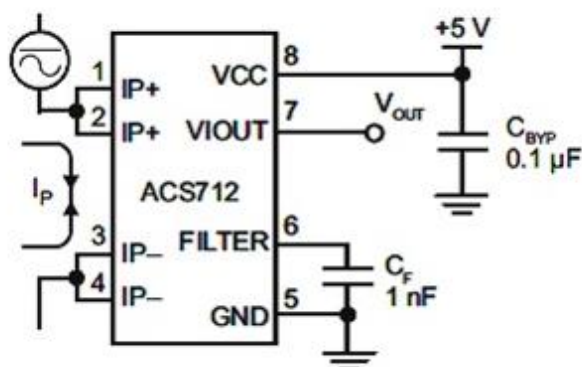
- Rendah *noise*
- Bandwidth Perangkat diatur melalui FILTER pin baru waktu naik
- 5 mikrodetik keluaran dalam menanggapi arus masukan
- Bandwith 80 kHz
- Total output error 1,5% pada TA = 25 ° C
- Tampak Kecil, low-profile paket SOIC8
- 1,2 MW resistansi konduktor internal
- Isolasi tegangan 2,1 kVRMS minimum dari pin 1-4 ke pin 5-8
- 5.0 V, operasi catu daya tunggal
- 66-185 mV / A sensitivitas keluaran

Modul Sensor Arus ACS712 seperti pada Gambar 2.28, dapat mendeteksi arus hingga 30A dan sinyal arus ini dapat dibaca melalui analog IO port Arduino, Produk tersedia dipasaran untuk modul ini adalah 30A, 20A, 5A. Sensor arus ACS712 dapat mengukur arus positif dan negatif dengan kisaran -5A sampai 5A. Sensor ini

memerlukan suplai daya sebesar 5V. Untuk membaca nilai tengah (nol Ampere) tegangan sensor diset pada 2.5V yaitu, setengah kali tegangan sumber daya VCC = 5V. Pada polaritas negatif pembacaan arus -5A terjadi pada tegangan 0,5V. Tingkat perubahan tegangan berkorelasi linear terhadap besar arus sebesar 400 mV/Ampere.



Gambar 2.28 Sensor Arus



Gambar 2.29 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712

Pada Gambar 2.29 menunjukkan rangkaian sensor arus ACS712. Hasil pembacaan dari modul sensor arus perlu disesuaikan kembali dengan pembacaan nilai arus sebenarnya yang dihasilkan. Konfigurasi Pin dari sensor arus ini dapat dilihat pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Konfigurasi Pin ACS712

Nomor	Nama	Keterangan
1 dan 2	IP+	Pin mendeteksi arus
3 dan 4	IP-	Pin mendeteksi arus
5	GND	Pin <i>Ground</i>
6	Filter	Pin untuk kapasitor eksternal yang digunakan menentukan <i>bandwidth</i>
7	Vout	Arus keluaran yang dihitung
8	VCC	Tegangan Power Supply 5V

Modul ACS712 memiliki sensitifitas tegangan sebesar 66-185 mV/A. Sama halnya dengan sensor tegangan yang telah kita bahas lalu, sensor arus memiliki jangkauan pembacaan mulai dari 0 (pada input 0V input) sampai 1023 (pada input 5V) dengan resolusi sebesar 0,0049V. Pembacaan sensor arus, I pada analogread dirumuskan pada persamaan (2.35) berikut:

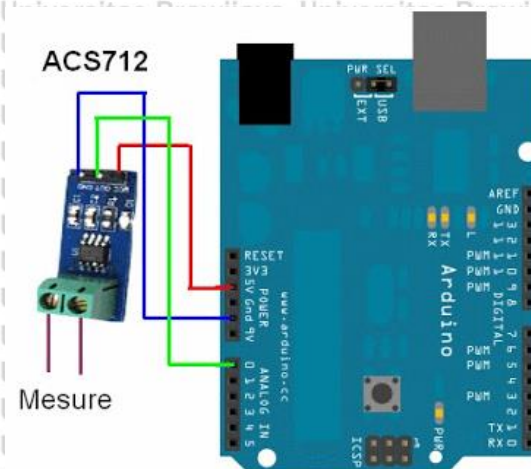
$$I = (0,0049 \times V_{out} - 2,5) / 0,185$$

Atau disederhanakan:

$$I = (0.0264 \times V_{out} - 13.51) \quad (2.35)$$

Rangkaian koneksi Aduino dengan Sensor Arus ACS712

Mengkoneksikan sensor arus ACS712 dengan arduino yaitu dimana tegangan 5V arduino dihubungkan melalui kabel merah ke Pin Vcc sensor arus ACS712, kemudian Ground arduino dihubungkan melalui kabel biru ke Pin GND sensor arus ACS712 dan Analog Read (A0) arduino dihungkan ke pada pin sinyal output sensor arus ACS712, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.30.



Gambar 2.30 Rangkaian Koneksi Arduino dengan Modul Sensor Tegangan

Contoh memprogram arduino untuk dapat menjalankan sensor arus ACS712 untuk 5A dengan memasukkan rumus kalibrasinya persamaan (1.1), seperti:

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  //Sensor Arus max 5A
  float average = 0;
  for(int i = 0; i < 1000; i++) {
    average = average + (0.0264 * analogRead(A0) - 13.51);
    delay(1000);
  }
  Serial.print(average);
  Serial.println("mA");
}
```

6. Sensor Suhu Termocouple

Termokopel (*Thermocouple*) adalah salah satu jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek "Thermo-electric". Efek *Thermo-electric* pada termokopel ini ditemukan oleh seorang fisikawan Estonia bernama *Thomas Johann Seebeck* pada Tahun 1821, dimana sebuah logam konduktor yang diberi perbedaan panas secara gradient akan menghasilkan tegangan listrik. Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan elektronika yang berkaitan dengan suhu (temperatur).

Beberapa kelebihan Termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu

operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C . Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.

Fungsi dari termokopel adalah untuk mengetahui perbedaan temperatur di bagian ujung dari dua bagian metal yang berbeda dan disatukan. Termokopel tipe *hot junction* dapat mengukur mulai dari 0°C sampai $+1023,75^{\circ}\text{C}$. MAX6675 memiliki bagian ujung *cold end* yang hanya dapat mengukur -20°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$.

Pada saat bagian *cold end* MAX6675 mengalami fluktuasi suhu maka MAX6675 akan tetap dapat mengukur secara akurat perbedaan temperatur pada bagian yang lain. MAX6675 dapat melakukan koreksi atas perubahan pada temperature ambient dengan kompensasi *cold-junction*. Device mengkonversi temperatur ambient yang terjadi ke bentuk tegangan menggunakan sensor temperature diode. Untuk dapat melakukan pengukuran aktual, MAX6675 mengukur tegangan dari output termokopel dan tegangan dari sensing diode.

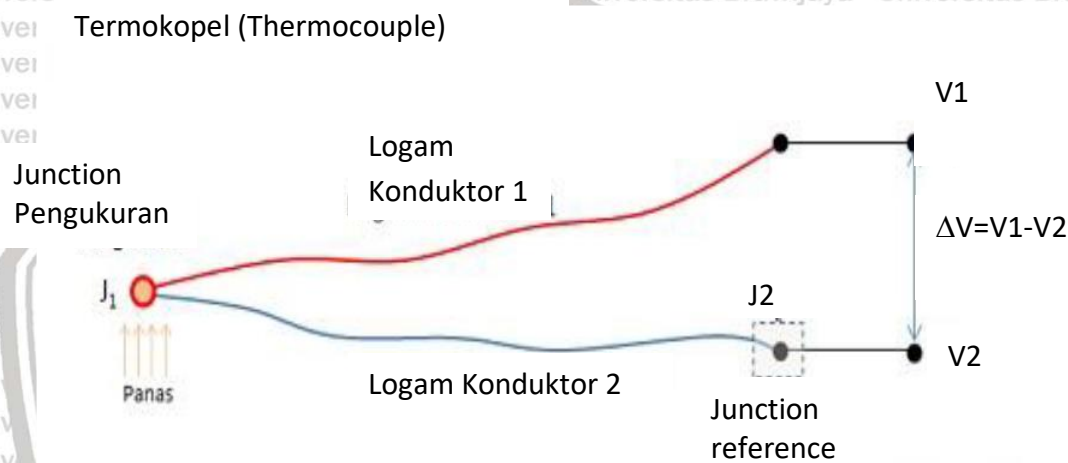


Gambar 2.31 Sensor Suhu Termokopel

Performans optimal MAX6675 dapat tercapai pada waktu termokopel bagian *cold-junction* dan MAX6675 memiliki temperatur yang sama. Hal ini untuk menghindari penempatan komponen lain yang menghasilkan panas didekat MAX6675.

Prinsip Kerja Termokopel

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas. Untuk lebih jelas mengenai prinsip kerja termokopel, dapat dilihat pada Gambar 2.32.



Gambar 2.32 Prinsip Kerja Termokopel

Berdasarkan Gambar 2.32, ketika kedua persimpangan atau *junction* memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V1 = V2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V1 - V2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu V - 70 \mu V$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti. Adapun program alduino untuk menjalankan termokopel sebagai berikut:


```

#include <max6675.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>

int relay1 = A0;
int relay2 = A1;
int led = 7;

int thermoDO = 4; //bisa juga S0
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6; //bisa juga SCK

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int vccPin = 3;
int gndPin = 2;

//RS, E, D4, D5, D6, D7
LiquidCrystal lcd(8, 9, 10, 11, 12, 13);

// make a cute degree symbol
uint8_t degree[8] = {140,146,146,140,128,128,128,128};

void setup() {
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);

  Serial.begin(9600);
  // use Arduino pins
  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);

  lcd.begin(16, 2);
  lcd.createChar(0, degree);

  // wait for MAX chip to stabilize
  delay(500);
}

void loop() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("SUHU = ");

  int dataku = thermocouple.readCelsius();

  lcd.print(thermocouple.readCelsius());

  #if ARDUINO >= 100
    lcd.write((byte)0);
  #else
    lcd.print(0, BYTE);
  #endif
  lcd.print("C ");
  delay(1000);
}

```

```

if (thermocouple.readCelsius() >= 60) {
    digitalWrite(relay1, HIGH);
    digitalWrite(relay2, LOW);
    digitalWrite(led, HIGH);
}
else {
    digitalWrite(relay1, LOW);
    digitalWrite(relay2, HIGH);
    digitalWrite(led, LOW);
}
}
}

```

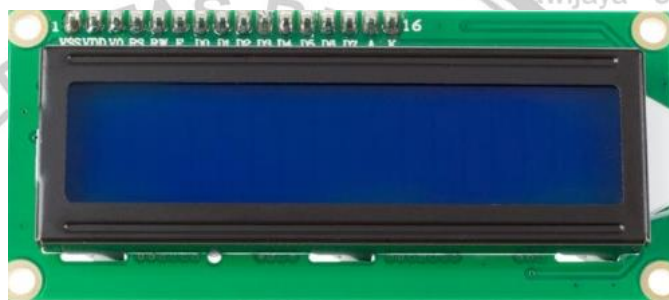
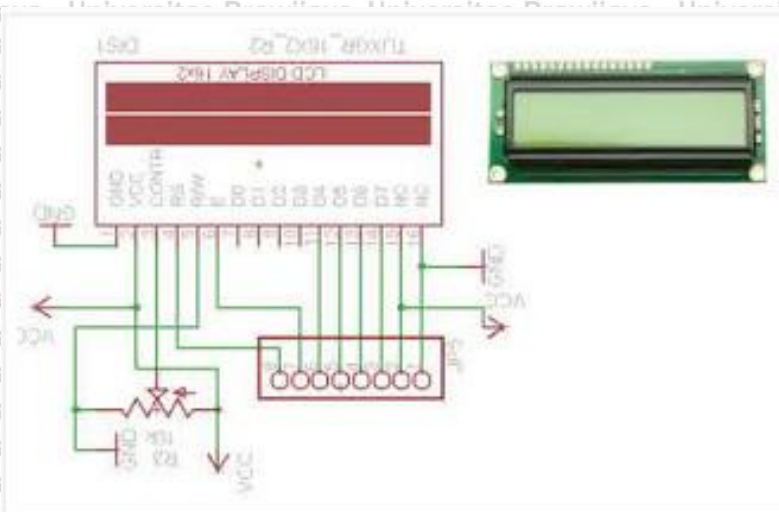
7. Display LCD

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja tanpa menghasilkan cahaya, tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari back-lit. LCD menampilkan data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.

Pengendali atau kontroler LCD

Dalam modul LCD terdapat *micro-controller* yang berperan sebagai pengatur tampilan karakter LCD. Microntroller yang dipasang dalam LCD dilengkapi dengan memori dan register. Memori yang digunakan dalam mikrokontroler adalah:

- DDRAM (*Display Data Random Access Memory*) merupakan memori tempat dimana karakter akan ditampilkan.
- CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*) adalah memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter ini dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
- CGROM (*Character Generator Read Only Memory*), adalah memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD, sehingga *user* tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya, dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM.



Gambar 2.32 Display LCD

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Pikir

Pengolahan biji nyamplung menjadi biodiesel memiliki prinsip yang hampir sama dengan proses pembuatan biodiesel minyak jarak. Prosedur untuk menghasilkan kedua produk tersebut diawali dengan pengepresan biji nyamplung yang sudah dikeringkan kemudian di press menggunakan alat mekanis menjadi minyak mentah nyamplung (*Crude Calophyllum Oil*/CCO). Melalui proses degumming akan dihasilkan *Refined Crude Calophyllum Oil* (RCCO) dilanjutkan dengan proses esterifikasi akan dihasilkan minyak *Ester* dan dengan proses transesterifikasi akan dihasilkan *Crude Biodiesel* untuk selanjutnya dengan proses washing dan drying akan dihasilkan biodiesel. Tujuan degumming adalah untuk memisahkan minyak dari getah/lendir yang terdiri dari *fostatida*, protein, karbohidrat, residu, air dan resin. Proses degumming dilakukan dengan cara menambahkan asam fosfat (H_3PO_4) 20% sebesar 0,3-0,5% (b/b) minyak sehingga akan terbentuk senyawa fosfasida yang mudah terpisah dari minyak. Hasil akhir dari proses ini akan memperlihatkan perbedaan warna dengan minyak asalnya, yaitu jernih kemerah-merahan.

Proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati mempunyai kasus yang berbeda-beda, tergantung dari kandungan asam lemak bebasnya. Apabila minyak tanaman nyamplung yang akan dioleh mempunyai kandungan ALB tinggi, maka dapat dilakukan dua proses, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi, sedangkan untuk minyak tanaman yang mempunyai kandungan asam lemak rendah, maka proses transesterifikasi dapat dilakukan.

Selanjutnya, ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses transesterifikasi, di antaranya waktu reaksi (Yuniawati dan Karim, 2009; Aziz, 2011), suhu (Kwartiningsih, dkk, 2007; Aziz, 2011), jenis katalis, dan perbandingan rasio molar trigliserida dengan alkohol (Jagadale dan Jugulkar, 2012; Satriana dkk, 2012). Teknologi pembuatan biodiesel dari berbagai bahan bakar nabati, pada umumnya mempunyai langkah-langkah yang sama, yakni melalui pemanasan. Namun, untuk mendapatkan pengolahan biodiesel yang maksimum dapat dilakukan *treatment* atau perlakuan yang berbeda-beda.

Penelitian sebelumnya telah menjelaskan terdapat dua metode pemanasan dalam pengolahan biodiesel, yakni hotplate dan microwave. Masalah utama yang timbul pada proses pengolahan biodiesel konvensional yakni, membutuhkan waktu yang lama dan tidak efisien, serta memerlukan pemanasan yang berulang-ulang, mulai dari tahap degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi. Umumnya, produksi biodiesel dengan sistem konvensional dilakukan pada suhu tinggi dengan sumber panas dari luar (eksternal). Kekurangan dari sistem konvensional adalah, transfer panas berlangsung kurang efektif, karena proses ini terjadi secara konduksi (konduktif) dan konveksi. Hal ini telah ditegaskan oleh Motasemi dan Ani (2012) bahwa pemanasan sistem konvensional memerlukan energi yang cukup besar dan waktu yang lama. Dengan demikian, implementasi proses produksi yang berlangsung lama dan memerlukan pemanasan suhu tinggi pada setiap tahapannya, secara operasional menjadi tidak efisien. Kondisi ini sudah diperbaiki dengan menggunakan metode microwave yang dapat mempercepat proses pemanasan. Tetapi, penggunaan microwave membutuhkan energi yang tinggi pada pengolahan biodiesel yang berdampak pada biaya produksi.

Selanjutnya, untuk mendapatkan konversi biodiesel yang lebih besar, maka laju reaksi dalam reaksi transesterifikasi sebanding dengan konsentrasi reaktan yang diberikan. Semakin besar konsentrasi reaktan yang diberikan, maka laju reaksi akan semakin bertambah cepat. Dalam teori kinetik gas telah dijelaskan bahwa molekul-molekul dalam satu wadah tidak mempunyai energi yang sama, tetapi bervariasi. Jika temperatur naik, maka akan meningkatkan energi rata-rata molekul, hal ini akan mengakibatkan jumlah atau fraksi molekul akan menambah energi aktivasi sehingga laju reaksi akan meningkat. Energi aktivasi adalah jumlah energi minimum yang dibutuhkan oleh suatu reaksi kimia agar dapat berlangsung. Umumnya energi aktivasi diberi simbol E_a (kJ mol), dimana E adalah energi, dan a adalah aktivasi. Sedangkan menurut Vogel (1994) aktivasi memiliki makna bahwa suatu reaksi kimia membutuhkan tambahan energi untuk dapat berlangsung. Menurut Arrhenius, tetapan laju bergantung pada suhu dan energi aktivasi berdasarkan persamaan berikut.

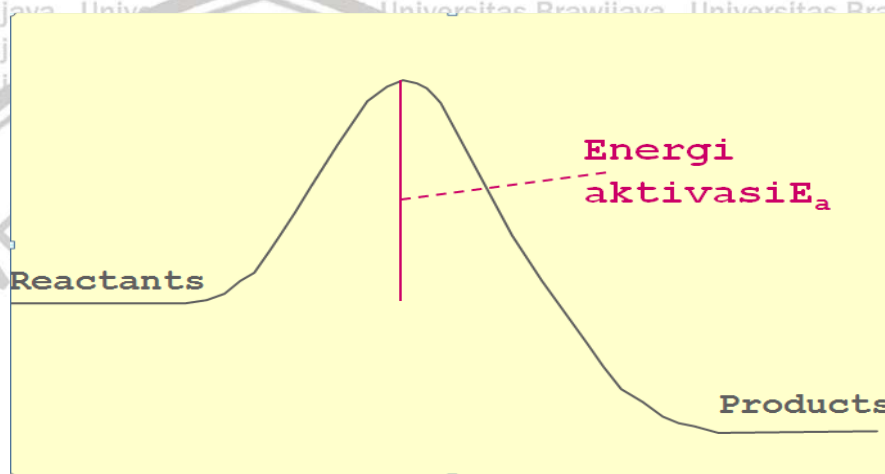
$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

Dimana:

K = konstanta laju reaksi

A = faktor frekuensi

E_a = energi aktivasi



Gambar 3.1 Diagram Laju Reaksi

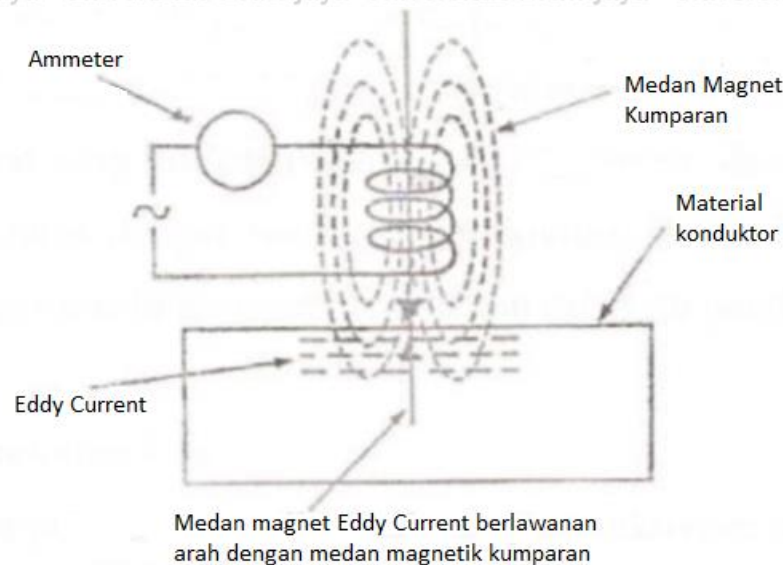
Salah satu metode pemanasan agar reaksi dapat berjalan lebih cepat adalah dengan melakukan reaksi transesterifikasi menggunakan radiasi panas induksi elektromagnet. Radiasi panas induksi elektromagnet yang ditimbulkan oleh logam yang dipasang di dalam kumparan diserap oleh sampel, sehingga dapat menimbulkan munculnya pemanasan pada sampel tersebut. Pemanasan dengan radiasi induksi medan magnet ini lebih cepat dan merata di sepanjang logam yang dipasang di dalam kumparan tersebut, bukan mentransfer panas dari luar. Lama pemberian induksi yang diberikan pada logam, berpengaruh terhadap naiknya suhu / panas logam yang berdampak pada berjalannya reaksi transesterifikasi.

Getaran pada molekul akibat radiasi panas induksi akan menghasilkan panas yang merata pada molekul tersebut, dimana panas induksi yang dihasilkan menembus molekul dan mengeksitasi molekul-molekul tersebut secara merata, tidak hanya permukaannya saja. Radiasi panas induksi mampu mempercepat reaksi dengan cara menggetarkan molekul reaktan dengan cepat. Semakin lama waktu radiasi yang

diberikan pada reaksi transesterifikasi, maka panas yang dihasilkan akibat getaran molekul reaktan tersebut akan semakin besar, sehingga pada waktu tertentu reaksi transesterifikasi akan mencapai kondisi optimumnya.

Dalam proses pemanasan induksi, arus eddy (*eddy current*) memiliki peranan yang paling dominan. Panas yang dihasilkan pada material/logam sangat bergantung kepada besarnya arus eddy yang terjadi pada belitan induksi. Ketika koil dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Selanjutnya, medan magnet tersebut besarnya akan berubah-ubah sesuai dengan arus yang mengalir pada lilitan/koil tersebut. Jika terdapat material konduktif disekitar medan magnet yang berubah-ubah, maka akan mengalir arus eddy. (Rezon, 2013).

Eddy Current merupakan induksi arus listrik didalam material konduktif akibat adanya medan magnetik bolak-balik (AC) dengan frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut. Prinsip arus induksi berdasarkan pada hukum Faraday yang menyatakan bahwa ketika sebuah batang konduktor memotong garis-garis gaya dari medan magnet yang biasa disebut gaya elektromotif (EMF) akan terinduksi ke dalam konduktor. Besarnya EMF tergantung: (i) ukuran, kekuatan, dan kerapatan medan magnet; (ii) kecepatan pada saat garis-garis gaya magnet dipotong; dan (iii) kualitas konduktor. Dalam Hukum Lenz menyatakan bahwa suatu medan magnetik dari arus terinduksi memiliki arah yang berlawanan dengan penyebab arus terinduksi. Medan magnetik *Eddy Current* berlawanan arah terhadap hasil medan magnetik kumparan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Arah Medan Magnet Eddy Current Berlawanan dengan Arah Medan Magnet Kumparan

Menurut Lozinski (1969), hal yang dapat menentukan banyaknya arus eddy pada logam adalah:

1. Besar medan magnet yang menginduksi logam
2. Bahan logam yang digunakan untuk menghasilkan panas. Semakin kecil hambatan atau resistansi jenis logam, semakin baik untuk dijadikan obyek panas logam.
3. Luas permukaan logam berupa besi atau jenis logam lainnya, makin-luas permukaan logam sehingga arus eddy yang terjadi semakin banyak pada permukaan logam tersebut.
4. Semakin besar frekuensi yang dihasilkan, maka makin banyak medan magnet yang dihasilkan.

Selain itu, *Induction Heater* (Pemanas Induksi) mempunyai karakteristik sebagai berikut:

a. Secara teknis:

- Mempunyai kemampuan melepaskan panas dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini dikarenakan sifat – sifat pemanas induksi mempunyai kerapatan energi yang tinggi.
- Penggunaan induksi memungkinkan mencapai suhu yang sangat tinggi.
- Pemanasan dapat dilakukan pada lokasi tertentu.
- Sistem dapat dibuat bekerja secara otomatis.

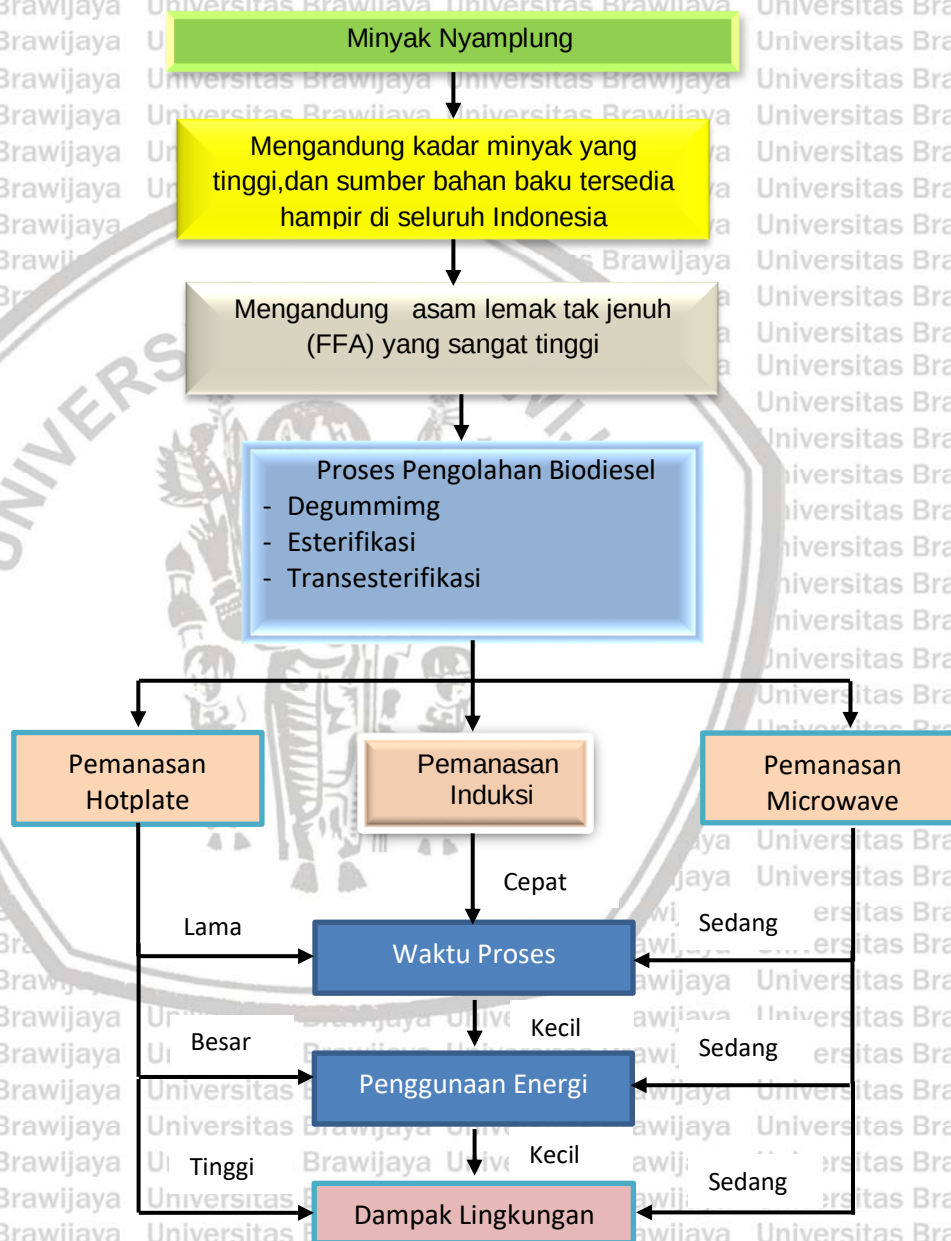
b. Pemakaian energi:

- Secara umum pemanas induksi menggunakan energi dengan efisiensi tinggi, akan tetapi hal ini bergantung pada karakteristik material yang dipanaskan.
- Rugi-rugi pemanasan dapat ditekan seminimal mungkin.

c. Keuntungan Pemakaian *Induction Heater*

- Panas dihasilkan secara langsung didalam dinding barrel.
- Panas dapat diterapkan seragam di seluruh barrel.
- Pengoperasiannya pada elemen dingin, sehingga tidak memiliki batas waktu.
- Waktu start up cepat.
- Hemat energi

Berdasarkan referensi tersebut, maka disusun kerangka konsep penelitian sebagai berikut:



Gambar 3.3 Bagan Alir Kerangka Konsep Penelitian

3.2 Kerangka Operasional Penelitian

3.2.1 Penelitian Tahap I

Penelitian ini diawali dengan tahap I yang terdiri atas 2 proses, yakni: proses perancangan alat dan proses pembuatan program kontrol suhu

a. Proses Pertama

Proses pertama dilakukan perancangan alat pemanas induksi dengan pemilihan komponen elektronika yang sesuai spesifikasi alat yang direncanakan. Kemudian langkah selanjutnya, dilakukan perakitan, pengujian dan pengukuran tegangan, daya, dan frekuensi pada output rangkaian. Selanjutnya, dilakukan pembuatan koil atau kumparan tembaga yang sesuai dengan luasan dari wadah / tempat pengolahan minyak. Terakhir, dilakukan pengujian suhu dan waktu yang dibutuhkan dalam wadah sampai pada suhu 80°C.

b. Proses Kedua

Proses kedua dilakukan perancangan dan pembuatan program kontrol suhu. Dalam perancangan ini dibuat kontrol suhu, waktu, arus, tegangan, dan daya. Hal ini dilakukan agar suhu dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan dalam proses pengolahan (*real time*). Kontrol yang digunakan dalam alat ini menggunakan mikrokontroler Atmega dengan menggunakan program Arduino UNO.

3.2.2 Penelitian Tahap II

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan:

a. Proses Degumming

Proses pertama dilakukan degumming (pemisahan getah). Degumming dilakukan dengan 3 metode pemanasan pada suhu 80°C, yakni metode konvensional (Hotplate) (15 menit), microwave (12 menit), dan metode radiasi panas induksi (3,5 menit), sampai terjadi perubahan warna minyak nyamplung. Selanjutnya, dilakukan pengendapan selama waktu 10-15 menit dimana kondisi ini dapat terlihat pemisahan antara minyak dan getah yang berada dibawah minyak. Degumming bertujuan untuk memisahkan minyak dari getah atau lendir yang terdiri dari *fostatida*, protein, karbohidrat, residu, air dan resin. Proses degumming dilakukan dengan menambahkan asam fosfat sebesar 5% (v/v) dari minyak mentah.

b. Proses Esterifikasi

Proses kedua akan dilakukan esterifikasi minyak nyamplung hasil degumming. Esterifikasi dengan katalis asam sulfat (H_2SO_4) 2% dan HCL sebagai pembanding untuk menurunkan kandungan kadar FFA, dilanjutkan dengan transesterifikasi dengan katalis basa. Esterifikasi adalah proses yang mereaksikan asam lemak bebas untuk menurunkan nilai FFA sampai dibawah 2% sebagai syarat untuk melanjutkan tahap transesterifikasi. Pada proses esterifikasi dilakukan perbandingan rasio molar 1:20 (minyak:metanol) pada suhu $60^{\circ}C$. Waktu yang dibutuhkan untuk proses esterifikasi berbeda-beda, tergantung dari metode pemanasan yang digunakan. Pada pemanasan *hotplate* dan *microwave* dibutuhkan waktu selama 90 menit, sedangkan untuk induksi elektromagnetik dibutuhkan waktu kisaran antara 15-30 menit.

c. Proses Transesterifikasi

Proses ketiga, yaitu proses transesterifikasi yang mereaksikan trigliserida dalam minyak nyamplung dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol menghasilkan asam lemak metil ester atau *Fatty Acids Methyl Esters* (FAME) atau biodiesel dan gliserol (gliserin) sebagai produk samping. Rasio molar yang digunakan adalah 1:6 (minyak:metanol). Dalam proses transesterifikasi ini digunakan katalis KOH 2%. Waktu yang digunakan dalam proses transesterifikasi tergantung dari perubahan warna minyak dan hasil gliserol yang terbentuk pada bagian bawah wadah sebagai produk sampingannya. Pada penggunaan metode induksi elektromagnetik digunakan waktu *try and error*, sedangkan metode *hotplate* dan *microwave* digunakan waktu 10 menit, 15 menit, dan 20 menit.

d. Analisis Kualitas Biodiesel

Ada 3 jenis kualitas biodiesel yang akan dianalisis, yakni: rendemen, densitas, dan viskositas. Rendemen adalah persentase perbandingan minyak awal dan minyak dan minyak akhir, sedangkan densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Massa jenis rata – rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya, dengan satuan ($kg \cdot m^{-3}$). Kemudian viskositas merupakan ukuran kekentalan suatu fluida. Setiap fluida memiliki besar viskositas

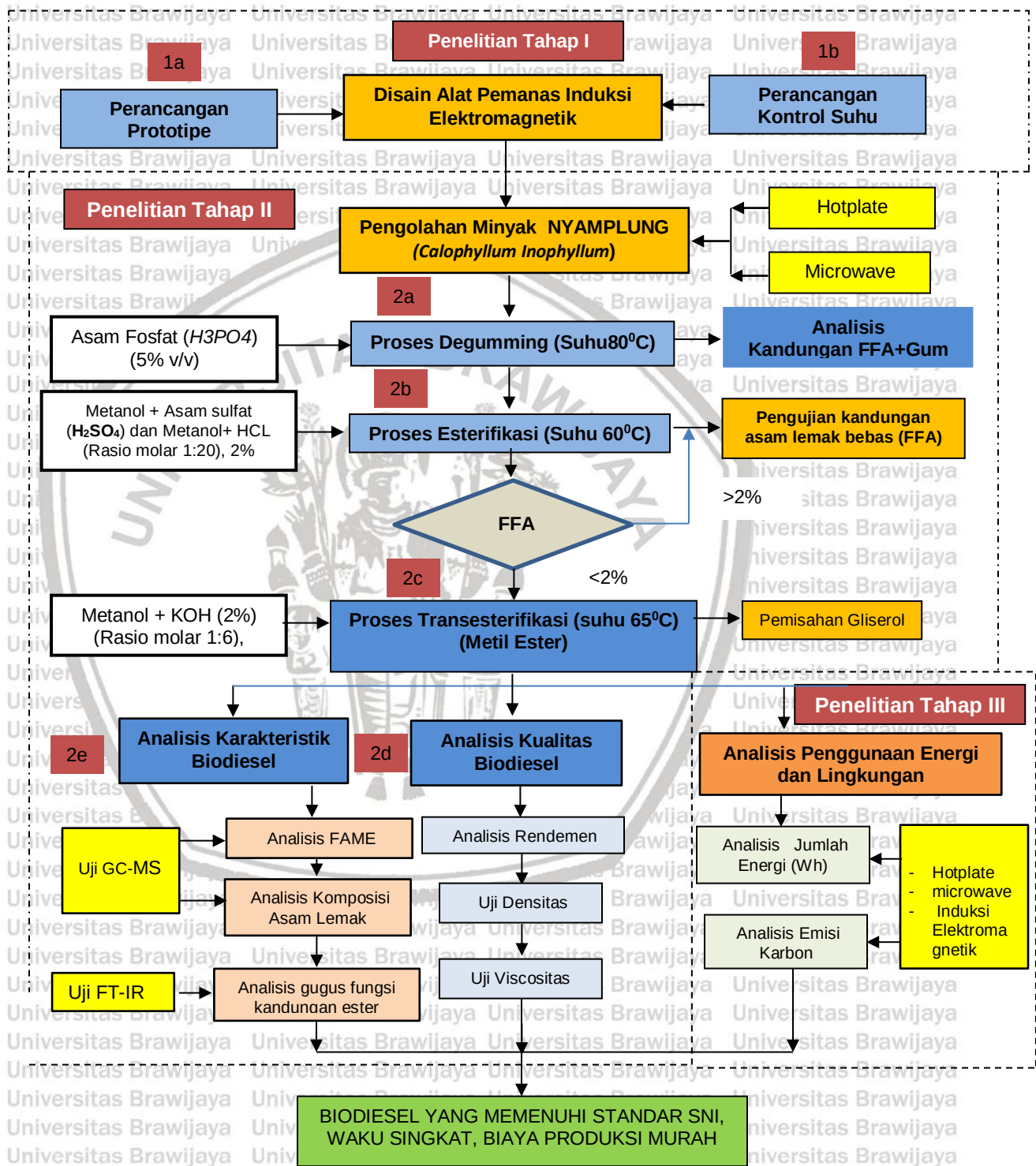
yang berbeda yang dinyatakan dengan η . Viskositas dapat diketahui dengan menggunakan alat viskometer.

e. Analisis Karakteristik Biodiesel

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari biodiesel setelah dilakukan proses transesterifikasi, pencucian, dan pengeringan. Ada 3 jenis karakteristik yang akan diuji dan dianalisis, yakni: nilai kandungan FAME, uji komposisi asam lemak, dan uji gugus fungsi kandungan ester. Nilai kandungan FAME dan uji komposisi asam lemak dilakukan dengan menggunakan alat GCMS. GCMS merupakan suatu instrumen gabungan GC (kromatografi gas) dan MS (spektrofotometri massa). Sedangkan uji kandungan ester dilakukan dengan menggunakan FT-IR. Metode spektroskopi IR (FT-IR) lebih banyak dipakai untuk identifikasi senyawa-senyawa organik khususnya gugus fungsional. Spektrofotometri IR berdasarkan pada interaksi antara vibrasi atom-atom yang berikatan atau gugus fungsi dalam molekul dengan mengabsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik IR.

3.2.3 Penelitian Tahap III

Penelitian tahap III adalah melakukan analisis penggunaan energi dan analisis lingkungan ditinjau dari faktor emisi penggunaan energi dari ketiga peralatan metode pemanasan. Dalam hal tahapan ini akan dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada saat dilakukan proses degumming, esterifikasi dan transesterifikasi minyak nyamplung. Kemudian dilakukan perhitungan jumlah energi yang digunakan dari masing masing ketiga peralatan. Berdasarkan dari penggunaan energi ini kemudian dihitung faktor emisi berdasarkan standar IPCC untuk ketenagalistrikan. Uraian secara lengkap kerangka operasional penelitian disajikan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Bagan Operasional Penelitian

3.3 Hipotesis

Berdasarkan rumusan permasalahan dan tujuan penelitian, dapat dinyatakan hipotesis penelitian sebagai berikut:

1. Penggunaan mikrokontroler dapat digunakan untuk mengontrol suhu pada sistem pemanasan induksi untuk pengolahan biodiesel dengan waktu yang lebih cepat secara *real time*.
2. Terdapat perbedaan waktu proses pengolahan biodiesel antara induksi elektromagnetik dengan microwave dan konvensional, sebaliknya tidak terdapat perbedaan yang signifikan karakteristik dan kualitas biodiesel dari ketiga metode pengolahan.
3. Penggunaan metode induksi elektromagnetik dapat menghemat energi yang berdampak pada pengurangan emisi karbon sehingga dapat menurunkan polusi lingkungan.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Sentral Ilmu Hayati (LSHI) Universitas Brawijaya sebagai tempat pengolahan produksi biodiesel, dan Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang sebagai tempat pengujian FTIR dan GC-MS, sedangkan pengujian sifat-sifat biodiesel dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Malang.

4.2 Waktu Penelitian

Penelitian dan pengumpulan data dilakukan pada bulan Juni 2017 sampai bulan Desember 2018.

4.3 Alat dan Bahan Penelitian

4.3.1 Alat yang digunakan

Dalam penelitian ini digunakan peralatan sebagai berikut:

a. Alat Pemanas

- *Hot plate magnetic stirrer*, dengan spesifikasi tegangan 220 Volt / daya 600 Watt.
- *Microwave oven*, merk SHARP dengan spesifikasi tegangan 220 Volt / daya maksimum 400 watt.
- Peralatan induksi elektromagnetik, tegangan 220Volt / daya 200 Watt.

b. Timbangan digital

Digunakan untuk mengukur massa katalis dan berat minyak.

c. Gelas ukur

Digunakan untuk mengukur volume minyak nyamplung, metanol, dan volume hasil biodiesel.

d. Botol sampel

Digunakan sebagai wadah untuk menampung hasil biodiesel.

e. Erlenmeyer

Digunakan sebagai wadah mencampur reaksi metanol, katalis, dan minyak sampel.

- f. Pipet tetes
Digunakan sebagai alat untuk mengambil sampel minyak hasil proses.
- g. Corong pemisah
Digunakan untuk memisahkan lapisan biodiesel dengan lapisan gliserol.
- h. Beaker glass
Digunakan sebagai wadah untuk mencampurkan katalis dan metanol dan juga sebagai wadah untuk pengujian kadar asam lemak bebas.
- i. Termometer
Digunakan untuk mengukur suhu pada setiap proses pengolahan biodiesel.
- j. Pengaduk
Digunakan untuk mengaduk pada saat proses pengeringan.

4.3.2 Bahan yang Digunakan

- a. Minyak nyamplung
Minyak nyamplung yang digunakan merupakan minyak dari biji buah nyamplung yang dikirim langsung dari Kebumen, Jawa Tengah setelah proses pengeringan dan pengepresan.
- b. Metanol
Metanol yang digunakan adalah metanol teknis dengan kadar 95% yang berguna untuk menjalankan proses transesterifikasi lebih sempurna. Metanol diperoleh dari Toko Kimia Makmur Sejati Kompleks Griya Shanta Blok L/238.
- c. Katalis Asam
Katalis asam yang digunakan adalah asam fosfat (H_3PO_4) dan asam sulfat (H_2SO_4).
- d. Katalis Basa
Katalis basa yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH)
- e. Indikator PP
Indikator PP yang digunakan yaitu sebagai pereaksi pada pengujian kadar asam lemak bebas.

f. Aquades

Aquades yang digunakan sebagai media pencucian (washing) biodiesel setelah dilakukannya setiap proses. Aquades diperoleh dari Toko Makmur Sejati.

4.4 Metodologi Penelitian

Penelitian terdiri dari tiga tahap untuk menjawab perumusan masalah, yaitu:

4.4.1 Penelitian Tahap I

Penelitian tahap I adalah proses perancangan alat pemanas induksi berbasis mikrokontroller. Penelitian tahap ini dimulai dengan pembuatan prototip dan kontrol suhu dengan menggunakan mikrokontroller Atmega, serta pembuatan program kontrol waktu, suhu, arus, tegangan, dan daya dengan menggunakan Arduino-UNO.

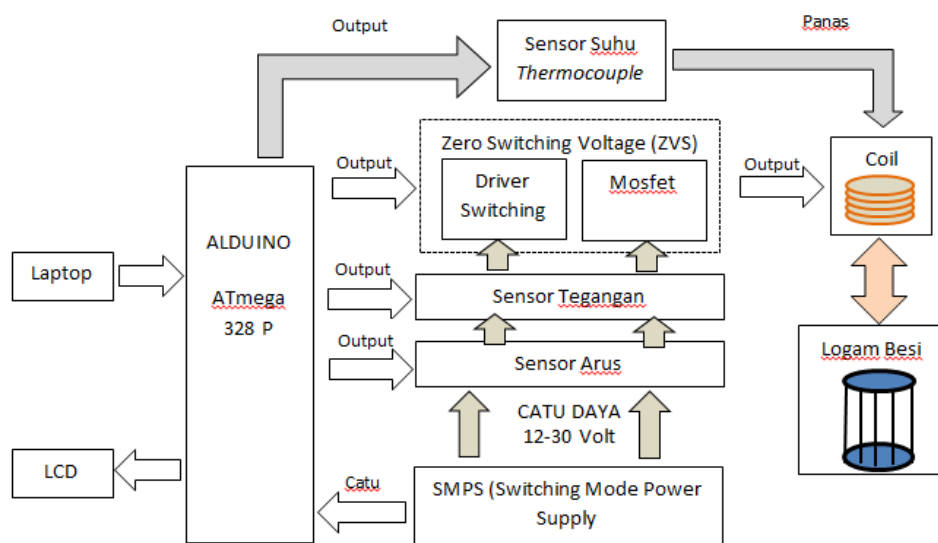
1. Perancangan Disain Induksi Elektromagnetik

Spesifikasi alat secara keseluruhan ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Adapun spesifikasi alat yang direncanakan adalah:

- Wadah tempat pengolahan minyak dari breaker glass dengan volume 200 ml yang terbuat dari bahan kaca dengan ketebalan 0.5 mm dan berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm.
- Penutup wadah yang dilengkapi dengan logam besi dengan panjang 10 cm sebanyak 10 buah yang disusun berbentuk sangkar.
- Coil kumparan dibuat dari kawat tembaga dengan diameter 2 mm. Kumparan dililit sebanyak 12 lilitan dengan diameter kumparan disesuaikan dimensi wadah / tempat pengolahan biodiesel yang terbuat dari gelas kaca (*beaker glass*).
- Frekuensi kerja pemanas induksi pada frekuensi 25 kHz sampai 50 kHz.
- Frekuensi resonansi pada 40 kHz.
- Sensor suhu yang dikontrol menggunakan mikrokontroller Arduino.
- Daya pemanas induksi pada kisaran sampai 200 watt.
- Menggunakan minimum sistem ATmega 8535

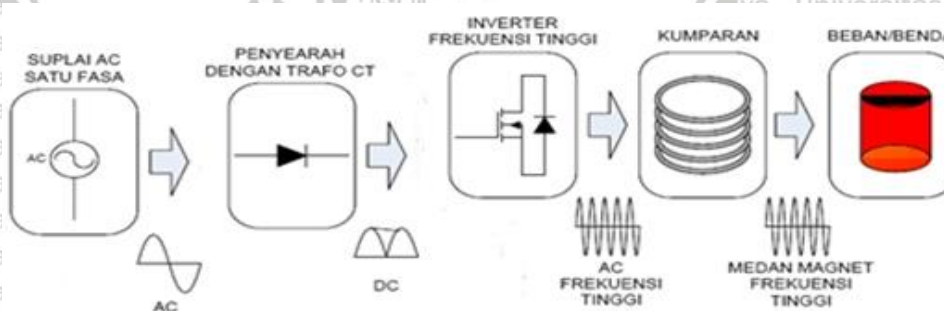
- Menggunakan IR2110 sebagai *driver switching* mosfet dengan *time rise*=35 ns dan *time fall*=25ns dan $V_B \text{ max} = 525V$.
- Menggunakan MOSFET daya IRF3205 dengan $V_{DS}=55 V$ dan $I_D=110 A$.
- Menggunakan LCD modul LMB162AFC untuk menampilkan arus, tegangan, daya, dan waktu

Sementara diagram alir sistem kerja kontrol suhu ditunjukkan dalam Gambar 4.1



Gambar 4.1 Diagram Alir Kerja Kontrol Suhu

2. Pembuatan Alat



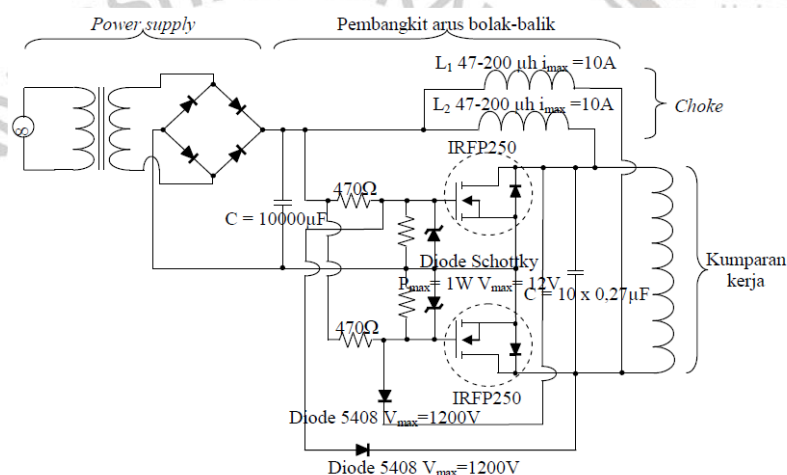
Gambar 4.2 Blok Diagram Pemanas Induksi

Cara Kerja Pemanas Induksi

Gambar 4.2 memperlihatkan blok diagram pemanas induksi yang akan dibuat. Tegangan arus AC yang memiliki frekuensi tinggi dibangkitkan dari modul daya. Frekuensi ini akan memicu sebuah komponen mosfet daya yang dapat

membangkitkan arus AC dengan frekuensi tinggi. Arus AC frekuensi tinggi ini, kemudian dikirimkan ke kumparan/koil untuk menimbulkan fluks. Besar kecilnya fluks yang di bangkitkan bergantung pada luas bidang kumparan induksi yang digunakan. Hal ini dikarenakan *induction heater* memanfaatkan rugi-rugi yang terjadi pada kumparan penginduksi. Arus *Eddy* yang terjadi dalam *induction heating*, akan menghasilkan panas ke material. Besar kecilnya arus eddy sangat bergantung kepada jumlah lilitan penginduksi. Ketika lilitan dialiri oleh arus bolak-balik, maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat penghantar. Medan magnet tersebut besarnya berubah-ubah sesuai dengan jumlah arus yang mengalir pada lilitan tersebut.

Sedangkan Gambar 4.3 memperlihatkan rangkaian dasar dari radiasi panas induksi elektromagnetik.



Gambar 4.3 Skema Rangkaian Pemanas Induksi

3. Pembuatan Program (Software) Mikrokontroler untuk Kontrol Suhu

Salah satu keunggulan sistem pemanasan induksi elektromagnetik adalah waktu pemanasan yang sangat cepat, yakni dapat mencapai suhu sampai 80°C hanya dalam waktu beberapa menit (3 – 5 menit). Oleh karena itu, sistem pemanasan induksi elektromagnetik ini perlu dilakukan pengontrolan suhu. Hal ini dimaksudkan agar pemanasan dapat dikontrol pada saat dilakukan pengolahan biodiesel pada setiap tahapan yang membutuhkan suhu panas tertentu. Misalnya, pada tahap degumming yang memerlukan suhu panas 80°C, tahap esterifikasi dengan suhu 60°C dan transesterifikasi yang membutuhkan pemanasan sampai pada suhu 65°C. Untuk mendapatkan sistem kontrol suhu yang akurat, maka

digunakan mikrokontroler Arduino Uno dengan aliran program (software) seperti di Lampiran I.

4.4.2 Penelitian Tahap II

Penelitian tahap II dilakukan pengolahan minyak nyamplung menjadi biodiesel dengan menggunakan tiga metode pemanasan, yakni: hotplate, microwave, dan induksi elektromagnetik. Dalam pengolahan biodiesel dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Degumming

Proses degumming dilakukan untuk memisahkan minyak nyamplung dengan getah/pengotor dengan menggunakan katalis H_3PO_4 . Pertama-tama minyak nyamplung yang berupa *crude oil* diukur volumenya sebesar 400ml kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer. Setelah itu ditambahkan larutan katalis asam fosfat (H_3PO_4) sebanyak 5% dari volume minyak, lalu dilanjutkan pemanasan sampai suhu mencapai $80^\circ C$. Setelah proses *degumming* selesai dilakukan pengendapan selama 24 jam agar minyak terpisah dari getah dengan sempurna. Selanjutnya, dilakukan pemisahan getah secara gravitasi dan dilakukan pencucian dengan aquades hangat $60^\circ C$, selanjutnya dilakukan pengukuran volume akhir minyak.

2. Esterifikasi

Proses esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kandungan FFA dari metil ester sebelum dilanjutkan ke tahap transesterifikasi. Dalam tahapan ini, digunakan 2 jenis katalis, yakni H_2SO_4 dan HCL sebagai pembanding. Katalis tersebut ditambahkan sebanyak 2% massa minyak dengan cara dilarutkan ke dalam metanol hingga tercampur sempurna. Setelah itu, beaker glass ditutup bagian atasnya agar tidak terjadi oksidasi dengan udara sekitar. Pada proses ini rasio molar minyak-metanol yang digunakan sebesar 1:20. Setelah itu campuran metanol dan katalis H_2SO_4 dimasukkan ke dalam tabung yang berisi minyak. Selanjutnya dilakukan pemanasan pada suhu $60^\circ C$. Apabila asam lemak bebas yang dimiliki $>2\%$, maka perlu dilakukannya esterifikasi kembali. Jika kadar FFA

yang dimiliki sudah $<2\%$ maka dilakukan pencucian dengan aquades hangat 60°C hingga PH air cucian sama dengan PH netral.

3. Transesterifikasi

Proses transesterifikasi bertujuan untuk mengolah metil ester menjadi yield biodiesel. Pada proses transesterifikasi minyak dari hasil esterifikasi 210 ml dibagi menjadi tiga untuk masing-masing pengulangan sampel 1-3 sehingga pada proses transesterifikasi minyak yang digunakan sebanyak 70ml. Setiap sampel ditambahkan metanol ke dalam minyak nyamplung dengan perbandingan molar metanol terhadap minyak sebesar 1:6. Sebelumnya katalis kalium hidroksida (KOH 2%) dari bobot minyak nyamplung dilarutkan dalam metanol. Proses transesterifikasi dilakukan dengan pemanasan sampai 65°C . Hasil reaksi transesterifikasi dipisahkan secara gravitasi dengan corong pisah dan didiamkan. Pada proses pemisahan terbentuk 2 fasa, dimana cairan di atas merupakan biodiesel dan di bawahnya terdapat gliserol dan sisa-sisa hasil reaksi. Selanjutnya, hasil biodiesel murni dicuci dengan air hangat sampai suhu 70°C dan terakhir dilakukan pengeringan. Tujuan pengeringan adalah untuk menghilangkan kadar air dengan memanaskan biodiesel pada suhu 100°C selama 10 menit agar biodiesel dan air terpisah sempurna. Terakhir hasil minyak transesterifikasi diukur dengan menggunakan gelas ukur.

4. Analisis Densitas (*Density*) atau Massa Jenis

Analisi densitas dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil olahan biodiesel sesuai dengan standar SNI. Densitas biodiesel yang baik harus sesuai dengan SNI antara $850 - 890\text{kg/m}^3$. Penurunan densitas dipengaruhi oleh tahap pemurnian karena tahap pemurnian yang kurang baik dapat menyebabkan densitas biodiesel memiliki densitas yang bervariasi.

5. Analisis Viskositas

Viskositas adalah angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu bahan zat cair untuk mengalir, atau ukuran dari besarnya tahanan geser dari cairan. Semakin tinggi viskositasnya semakin kental dan semakin sukar bahan tersebut mengalir. Standar viskositas biodiesel menurut SNI adalah 2,3 – 6,0 cst.

6. Uji Kandungan Senyawa Kimia

Analisis kandungan senyawa kimia dilakukan dengan menggunakan pengujian Gas Chromatographic-Mass Spectrometric (GC-MS). Pengujian

dilakukan dengan memilih sampel hasil pengolahan minyak biodiesel yang terbaik.

Berdasarkan hasil kromatogram GC dan fragmen MS dari masing-masing senyawa, suatu senyawa dikatakan mirip dengan standar jika memiliki berat molekul yang sama dan memiliki pola fragmen yang mirip serta harga SI (indeks kemiripan) yang tinggi.

7. Uji Kandungan Ester

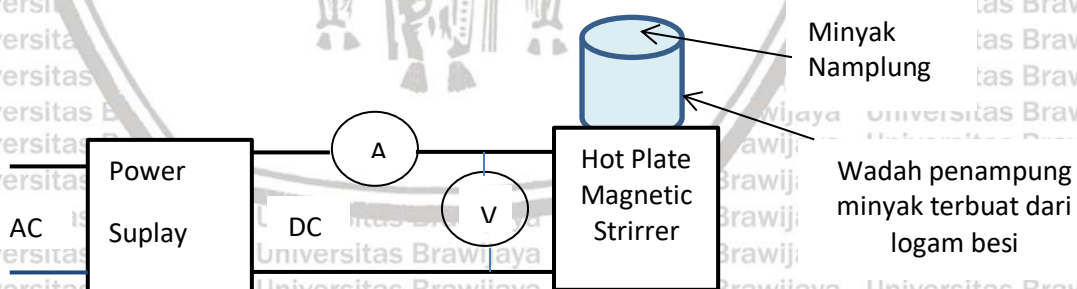
Untuk membuktikan adanya ester (metil ester) pada produk transesterifikasi, dilakukan analisis dengan FT-IR. Adanya ester, dapat dilihat dari serapan khas pada gugus C=O dan C–O.

4.4.3 Penelitian Tahap III

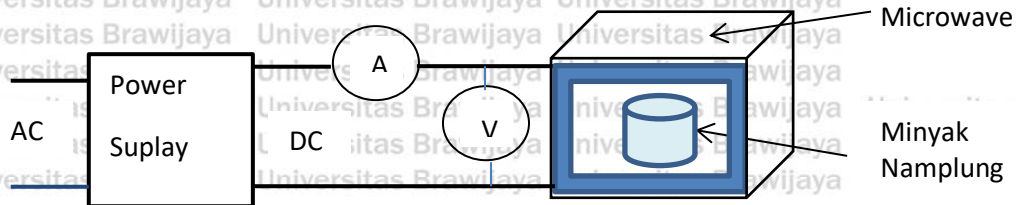
Penelitian tahap III adalah penelitian untuk mendapatkan perbandingan konsumsi energi listrik pada setiap tahapan proses pembuatan biodiesel dari ketiga metode pemanasan, dan hubungannya terhadap dampak lingkungan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan pengaruh terhadap biaya proses produksi dan hubungannya dengan faktor emisi karbon dioksida dari konsumsi energi listrik.

4.5 Disain Penelitian

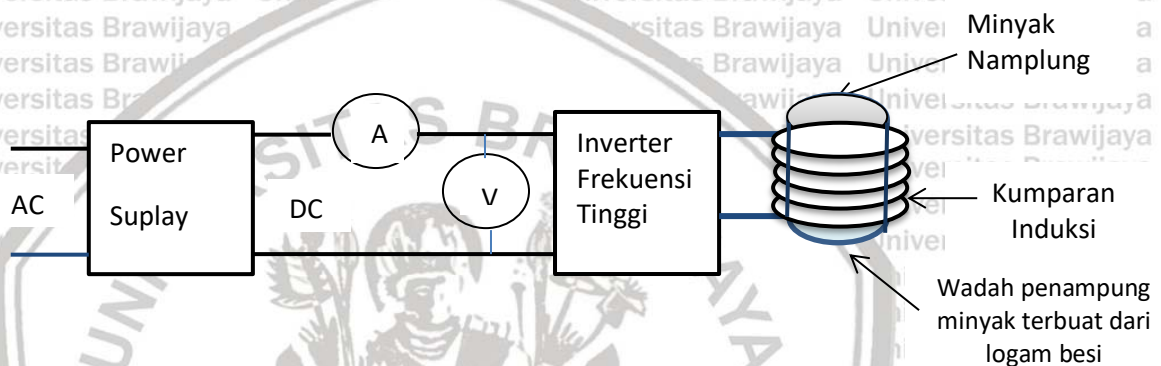
Adapun disain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan 3 metode pemanasan seperti pada Gambar 4.4 - 4.6.



Gambar 4.4 Disain Penelitian Metode Pemanasan Konvensional

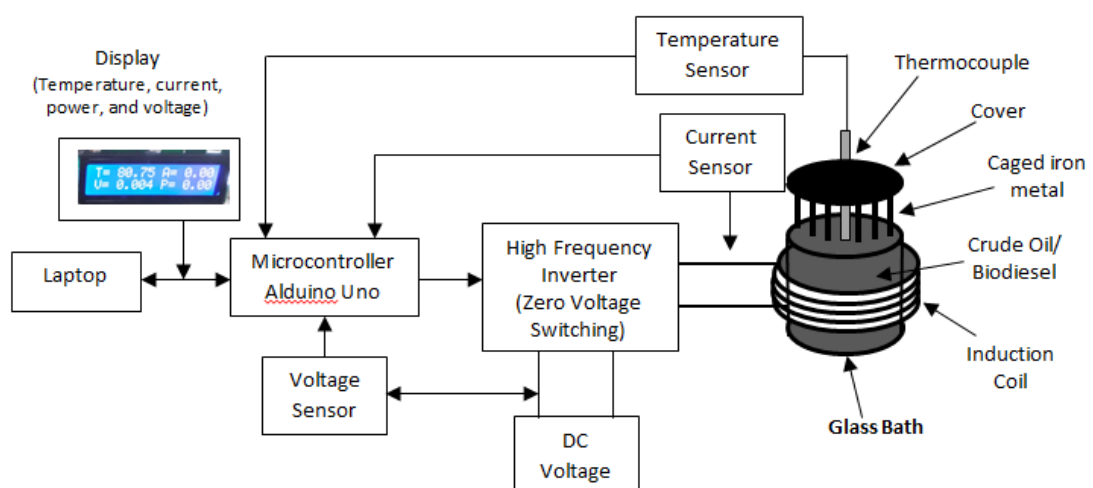


Gambar 4.5 Desain Penelitian metode Pemanasan Mikrowave



Gambar 4.6 Desain Penelitian metode Panas Induksi

Sedangkan Gambar 4.7 memperlihatkan rangkaian lengkap sistem pemanasan induksi dengan menggunakan mikrokontroler.



Gambar 4.7 Blok Diagram Sistem Pemanasan Induksi Elektromagnetik dengan Menggunakan Mikrokontroler

4.6 Rancangan Percobaan

Rancangan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktor tunggal dengan menggunakan tiga (3) jenis perlakuan, sebanyak tiga (3) kali ulangan sehingga terdapat 9 sampel penelitian. Faktor tunggal tersebut adalah variasi waktu yang digunakan dalam proses konversi minyak nyamplung menjadi biodiesel.

4.7 Prosedur Penelitian

- Melakukan proses pengolahan biodiesel sesuai dengan tahapan degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi dengan menggunakan ketiga metode pemanasan.
- Melakukan pengukuran arus dan tegangan pada masing masing proses pembuatan biodiesel mulai dari degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi dari ketiga metode pemanasan (konvensional, microwave, dan radiasi induksi).
- Melakukan pengamatan dan pencatatan waktu treatment dari ketiga metode pemanasan dengan suhu yang digunakan dari setiap tahapan dalam bentuk tabel.
- Melakukan perhitungan daya total dari kedua metode pemanasan.
- Melakukan perhitungan dan analisis penggunaan energi dari kedua metode pemanasan.
- Melakukan perbandingan penggunaan energi dan biaya yang dikonversi dalam bentuk kilo watt jam (KWh) dari kedua metode pemanasan.
- Melakukan perhitungan perbandingan faktor emisi karbon dioksida terhadap konsumsi energi dari ketiga metode pemanasan.
- Membuat grafik perbandingan penggunaan energi dari kedua metode pemanasan.
- Melakukan pengujian laboratorium mengenai kualitas dan karakteristik biodiesel berupa: densitas, viskositas, FAME, GCMS, dan FT-IR dari masing-masing sampel hasil produksi biodiesel dari ketiga metode pemanasan.

4.8 Pengumpulan Data

Dalam melakukan pengujian penelitian ini ditetapkan suatu variabel penelitian, dimana variabel penelitian merupakan parameter utama yang mempengaruhi hasil penelitian yang akan dicapai. Dalam penelitian ini ditetapkan 3 variabel, yakni:

4.8.1 Variabel Bebas

Sesuai dengan tujuan penelitian yang akan dicapai, maka variabel bebas adalah waktu proses.

4.8.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya sangat tergantung pada variabel bebas dan merupakan hasil dari penelitian. Variabel terikat adalah: kualitas biodiesel (viskositas dan densitas), dan energi.

4.8.3 Variabel Kendali

Untuk variabel kendali: FFA.

4.9 Analisis Data

4.9.1 Menghitung Daya

Menghitung daya berdasarkan pada pengukuran tegangan dan arus/ampere dari hasil pencatatan mulai dari proses degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi.

$$P = V.I \quad \text{atau} \quad I = P / V$$

Dimana:

P = Daya yang digunakan (Watt)

I = arus yang mengalir (Ampere)

V = tegangan input (Volt)

4.9.2 Menghitung Energi Listrik

Untuk menghitung energi listrik dapat digunakan persamaan matematis yakni:

$$W = V.I.t$$

Di mana:

W = Energi listrik (Watt)

V = tegangan listrik (Volt)

I = kuat arus listrik (Ampere)
 t = waktu (Menit)

Jika persamaan $W = V.I.t$ di atas dijabarkan lagi dengan menggunakan persamaan **Hukum Ohm** yaitu: $V = I.R.$ atau $I = V/R$

Sehingga dengan menggabungkan rumus hukum ohm ($V = I.R$) dengan persamaan

$W = V.I.t$, maka diperoleh persamaan baru yaitu:

$W = V. I. t$ (Joule)

$W = I. R. I.t$ atau $W = I^2. R.t$ (Joule)

4.9.3 Menghitung Faktor Emisi Karbon Dioksida

Berdasarkan standar ekivalensi CO_2 yang ditetapkan oleh Kementerian no. 3783/21/600.6/2008, nilai emisi karbon adalah nilai emisi karbon dioksida dari konsumsi listrik dengan menggunakan rumus:

Emisi karbon listrik = total kWh/tahun x 0,891 kg CO_2

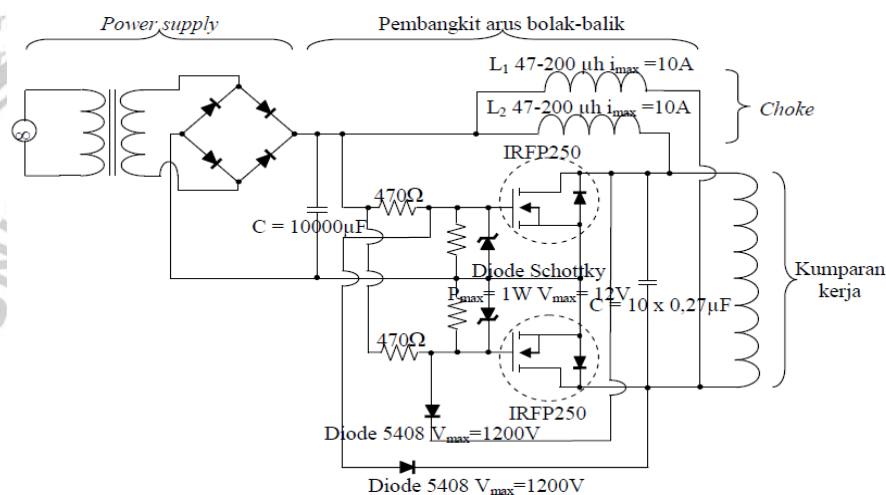
Kemudian, apabila total CO_2 yang dapat tereduksi dengan efisiensi 15% yang disetarakan dengan kemampuan penyerapan rata-rata CO_2 per pohon sesuai dengan standar perhitungan emisi *Energy Information Administarion* (EIA, 2005), yakni *average sequestration per tree* = 3,53 kg CO_2 /tahun.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

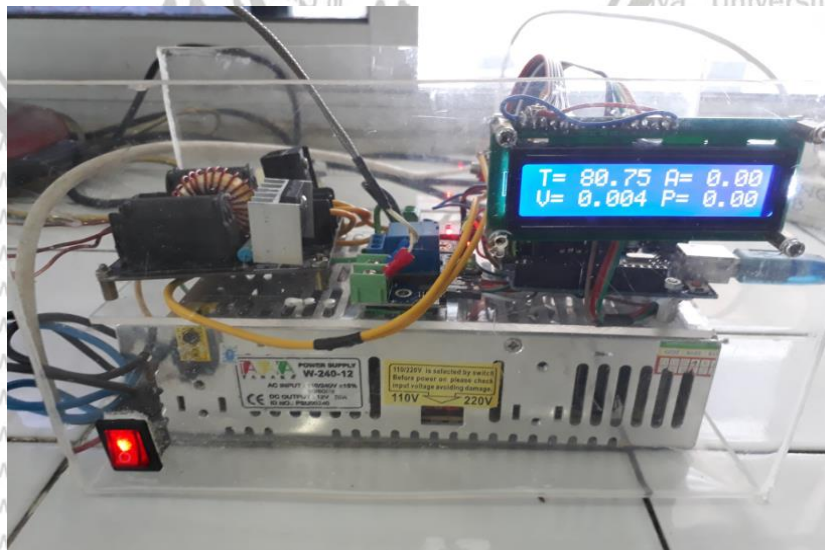
5.1 Disain Alat Pemanas Induksi Elektromagnetik

5.1.1 Pembuatan Prototipe Alat

Gambar 5.1 memperlihatkan skema rangkaian pemanas induksi, sedangkan Gambar 5.2 memperlihatkan prototipe alat pemanas yang sudah dibuat.



Gambar 5.1 Skema Rangkaian Pemanas Induksi



Gambar 5.2 Prototipe Pemanas Induksi

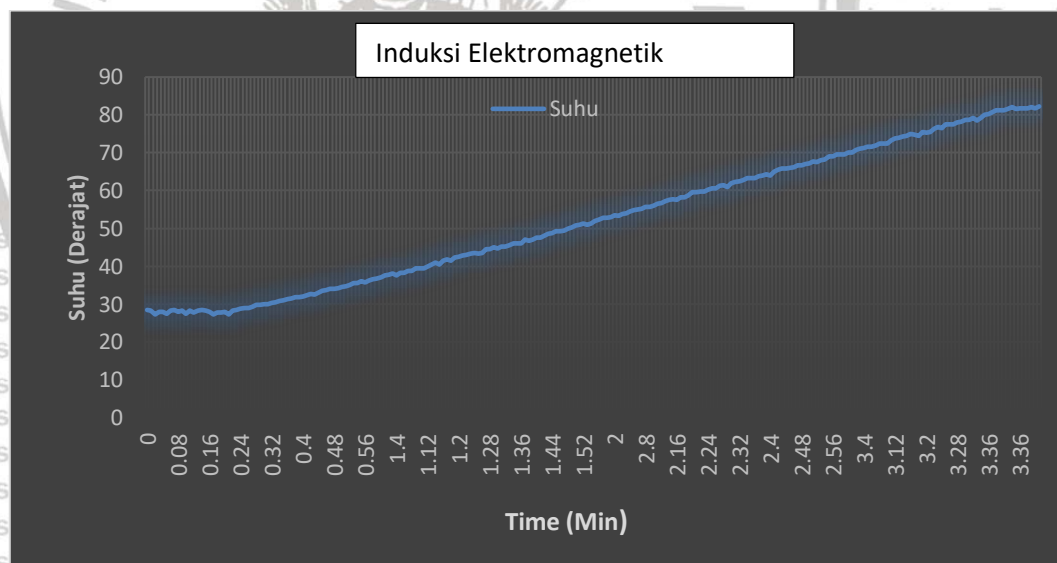
Komponen utama yang digunakan dalam sistem induksi heater terdiri atas *power supply* arus searah, pembangkit frekuensi arus AC dan kumparan/koil kerja.

Bagian *power supply* yang digunakan adalah *power suplay switching* dengan kapasitas 20 Ampere dengan tegangan output 24 Volt. Tahanan R1 dan R2 mempunyai resistansi sebesar 470 ohm dengan daya 2 W. adalah resistor dengan nilai tahanan masing-masing 470 Ohm dan daya 2 W. Nilai resistansi ini menentukan kecepatan switching pada mosfet atau komponen aktif. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kecepatan switching pada mosfet sebaiknya digunakan nilai resistansi yang rendah, tetapi tidak boleh terlalu rendah karena dapat mengakibatkan hilangnya nilai resistansi saat salah satu dioda dalam kondisi hidup. Sebagaimana telah diketahui bahwa fungsi D1 dan D2 adalah mengosongkan nilai resistansi pada gerbang/gate mosfet. Dalam kondisi forward atau kondisi tegangan drop, maka diode berfungsi untuk mengosongkan resistansi gerbang mosfet sampai diode yang lainnya dihidupkan. Dalam rangkaian ini digunakan diode Schotttky dengan kapasitas tegangan 12 Volt dengan switching yang tinggi.

Komponen elektronika daya (T_1 dan T_2) yang digunakan dalam rangkaian ini adalah mosfet type IRFP 250 dengan $i_{max}= 30A$ dan $V_{max}= 200V$ (Gambar 4.3). Untuk menjaga keamanan komponen mosfet dari kenaikan suhu yang tinggi, maka dipasang *heatsink* untuk mencegah kerusakan. Kelebihan dari tipe mosfet ini mempunyai resistansi *drain* yang rendah dengan waktu respons yang tinggi. Untuk mencegah terjadinya osilasi pada frekuensi tinggi, maka dipasang sebuah *choke* yang berupa belitan atau *inductor* (L1 dan L2). Fungsi dari belitan ini dapat mencegah arus yang melewati rangkaian yang dapat menyebabkan kerusakan poser suplay atau rangkaian control. Oleh karena itu, nilai induktansi harus dipilih yang besar dengan menggunakan diameter kawat yang besar agar dapat melewati arus yng tinggi. Pada pemanas induksi ini digunakan *choke* yang berbentuk cincin yang terbuat dari batang ferit dengan diameter dalam 6 mm. Belitan ini menggunakan kawat tembaga dengan diameter 1 mm sebanyak 20 lilit, sedangkan kumparan kerja digunakan kawat tembaga dengan diameter 2 mm, dan diameter koil 60 mm dengan jumlah belitan sebanyak 12 lilit. Fungsi dari kumparan ini adalah membangkitkan arus eddy yang ada disekeliling benda kerja (logam).

5.1.2 Pengujian Prototipe Alat

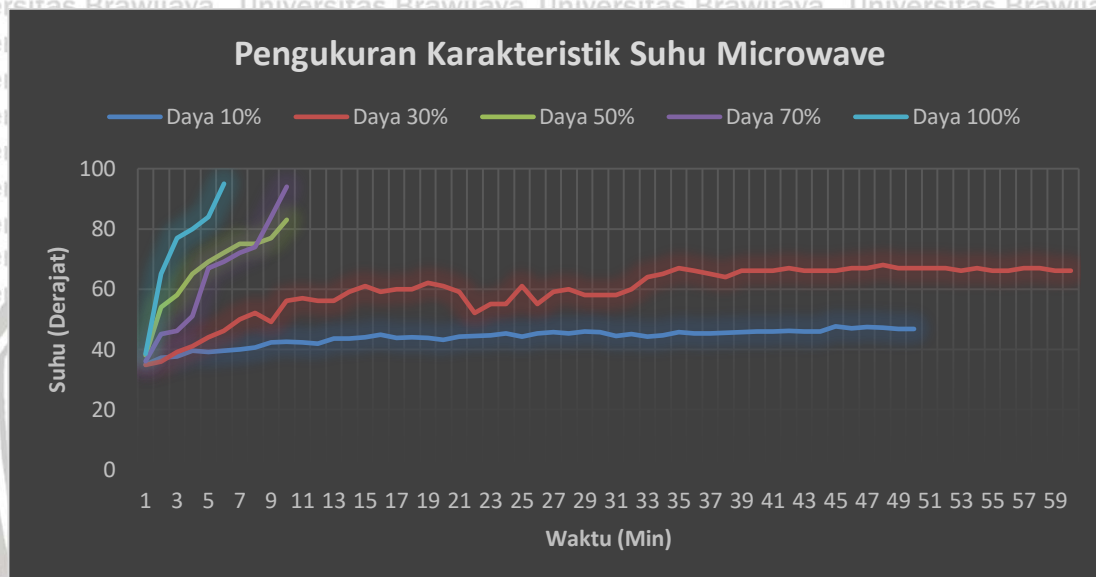
Sebelum diaplikasikan pada sistem pengolahan biodiesel minyak nyamplung, alat pemanas induksi elektromagnetik ini terlebih dahulu dilakukan uji coba alat. Hal ini dimaksudkan untuk menguji keakuratan sensor suhu dalam membaca temperatur suhu yang terjadi pada koil kumparan. Sensor suhu menggunakan termokopel, dan pembacaan suhu yang terukur melalui display LCD dan laptop. Gambar 5.3 memperlihatkan grafik pembacaan sensor suhu sampai pada suhu 80°C dengan waktu sekitar 3 menit. Apabila sudah mencapai suhu tersebut, maka power suplay dari pemanas induksi secara otomatis *off*. Dengan demikian, tidak ada aliran listrik yang masuk ke pemanas induksi dan tidak terjadi induksi dalam koil sehingga suhu panas yang ada didalam koil pelan-pelan turun. Dan apabila suhu sudah turun dibawah 80°C, maka sensor suhu kembali aktif dan menghidupkan power suplay.



Gambar 5.3 Hasil Pengujian Suhu Tanpa Minyak dari Prototipe Induksi elektromagnetik yang Dikontrol dengan Mikrokontroler

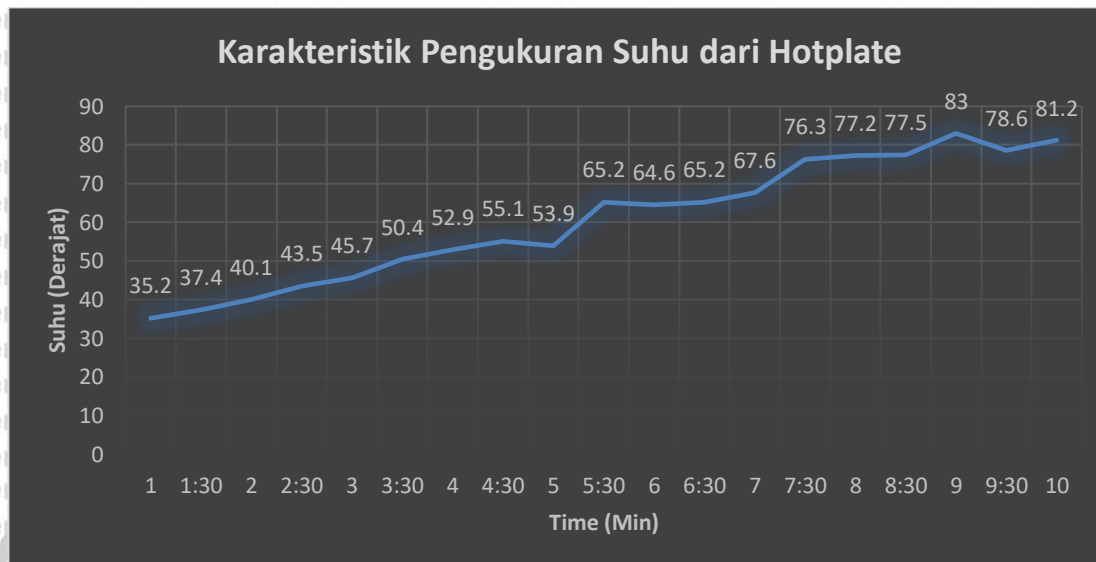
Sebagai bahan perbandingan, juga telah dilakukan pengukuran karakteristik suhu *microwave* dengan daya 400 Watt dan *hotplate* dengan daya 600 Watt. Dalam pengukuran ini telah dilakukan pengukuran suhu *microwave* untuk berbagai variasi daya sesuai dengan sistem pengaturan daya mulai dari daya 10% (40 Watt), 30% (120 Watt), 50% (200 Watt), 70% (280 Watt dan 100% (400 Watt). Gambar 5.4

memperlihatkan hasil pengukuran suhu *microwave*, dan terlihat bahwa pada pengujian 10% memperlihatkan pengujian pengukuran suhu sampai 40°C dengan waktu 50 menit, sedangkan waktu yang tersingkat pada variasi daya 100% (400 watt) pada suhu 95°C yakni, 6 menit.

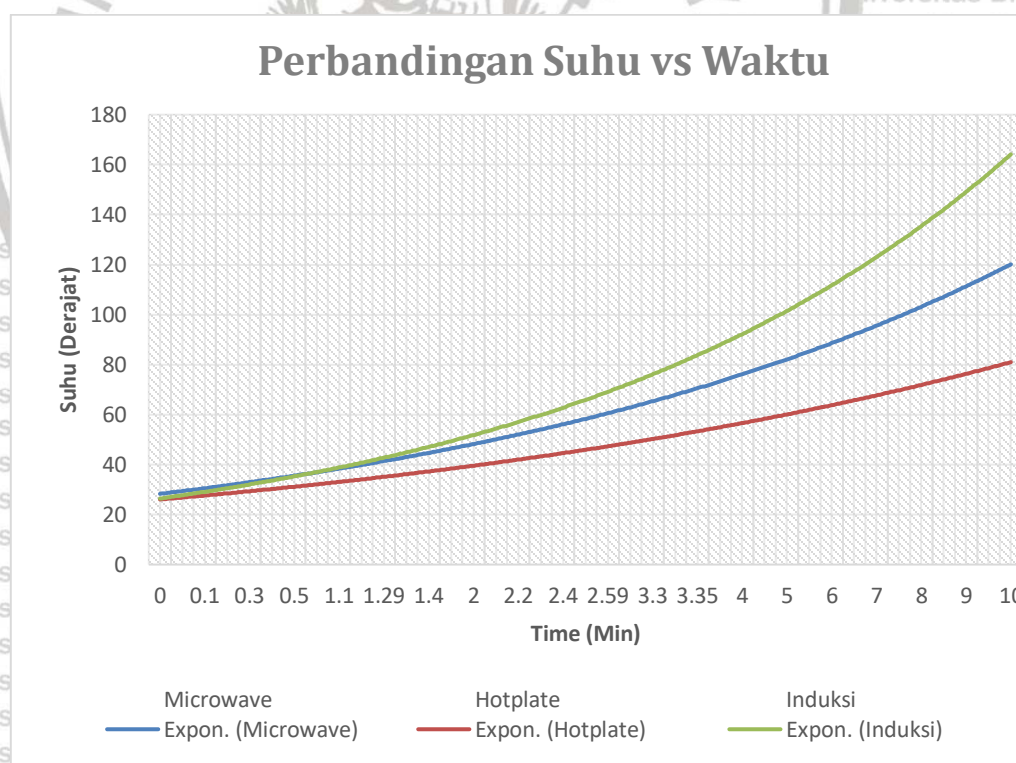


Gambar 5.4 Hasil Pengujian Suhu *Microwave* dengan Daya yang bervariasi

Selanjutnya, Gambar 5.5 memperlihatkan karakteristik pengujian pemanasan *Hotplate* dengan suhu 80° C yang menggunakan waktu selama 10 menit. Sedangkan Gambar 5.6 memperlihatkan perbandingan karakteristik suhu dari ketiga metode pemanasan yang dilakukan pada waktu yang sama, yakni 10 menit dengan daya yang berbeda-beda. Dalam hal ini daya yang digunakan untuk masing-masing metode pemanasan yakni, untuk induksi elektromagnetik sebesar 145 Watt, *microwave* sebesar 400 Watt, dan *hotplate* sebesar 600 Watt. Berdasarkan gambar ini, terlihat bahwa karakteristik dari proses pemanasan induksi elektromagnetik lebih cepat mencapai suhu 80°C dibanding dengan kedua metode pemanasan *microwave* dan *hotplate* dengan daya yang lebih kecil. Mengenai data hasil pengukuran dari ketiga metode pemanasan dapat dilihat pada **Lampiran I**.



Gambar 5.5 Hasil Pengujian Suhu *Hotplate*



Gambar 5.6 Perbandingan Hasil Pengujian Suhu antara Induksi Elektromagnetik, *Microwave*, dan *Hotplate*

5.2 Proses Pengolahan Biodiesel Nyamplung

5.2.1 Proses Degumming

1. Pengujian Awal Bahan Baku

Pada penelitian ini, digunakan bahan baku berupa minyak nyamplung hasil pengepresan biji buah nyamplung dari daerah Kebumen. Sebelum minyak nyamplung diproses menjadi biodiesel, maka terlebih dahulu dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan data kandungan minyak Nyamplung (**Lampiran II**).

Tabel 5.1 Komposisi Kandungan Minyak, Asam Lemak Bebas, dan Gum dari *Calophyllum inophyllum* (Minyak Nyamplung)

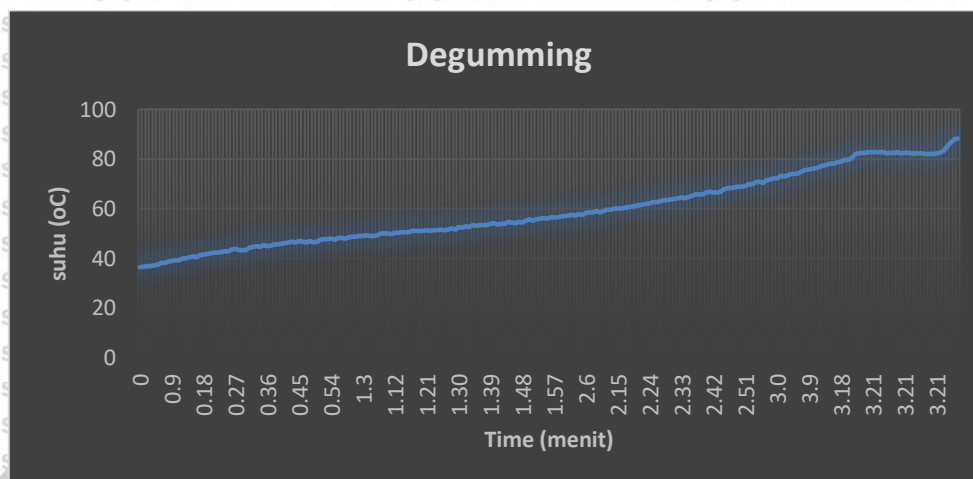
No.	Parameter test	Result	No.	Parameter test	Result
1	Methyl Butyrate	<0.1	20	Methyl Leloneate	3.85
2	Methyl Hexanoate	<0.1	21	Methyl Aracehidate	<0.1
3	Methyo Octanoate	<0.1	22	Gamma-Lenolenic Acid Methyl Ester	<0.1
4	Methyl Decanoate	<0.1	23	Methyl Cis-11 eicocenoate	<0.1
5	Methyl Undecanoate	<0.1	24	Methyl Lenolenate	<0.1
6	Methyl Laurate	<0.1	25	Methyl Heneicosanoate	<0.1
7	Methyl Tridecanoate	<0.1	26	Cis-11-14-eicosedienoic Acid Methyl Ester	<0.1
8	Methyl Tetradecanoate	<0.1	27	Methyl Docosanoate	<0.1
9	Myristoleit Acid Methyl Ester	<0.1	28	Cis-8-11-14-eicosedienoic Acid Methyl Ester	<0.1
10	Methyl Pentadecanoate	<0.1	29	Methyl Ecurate	<0.1
11	Cis-10-Pentadecenoit Acid Methyl Ester	<0.1	30	Cis-11-14-17-eicosedienoic Acid Methyl Ester	<0.1
12	Methyl Palmiate	<0.1	31	Methyl Tricosanoate	<0.1
13	Methyl Palmitoleate	13.92	32	Methyl Cis-5-8-11-14-eicosedienoic	<0.1
14	Methyl Heptadecanoate	<0.1	33	Cis-13-16-Docosadienoic Acid Methyl Ester	<0.1
15	Cis-10-Heptadecanoate Acid Methyl Ester	<0.1	34	Methyl Lignocerate	<0.1
16	Methyl Octadecanoate	<0.1	35	Methyl Cis-5-8-11-14-17-Eicosapentaenoate	<0.1
17	Trans-9-Elaidic Acid Methyl Ester	<0.1	36	Methyl Nervonate	<0.1
18	Cis-9-Oleic Methyl Ester	69.11	37	Cis-4-7-10-13-16-Docosahexaenoate	<0.1
19	Lenolelaidic Acid Methyl Ester	<0.1			

Tabel 5.1 memperlihatkan data hasil pengujian *Gas Chromatographic Mass Spectrometric* (GCMS) kandungan metil, dan asam lemak bebas dari minyak nyamplung di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, Universitas Gajah mada. Dalam tabel ini terlihat bahwa minyak nyamplung sebagai sampel dalam

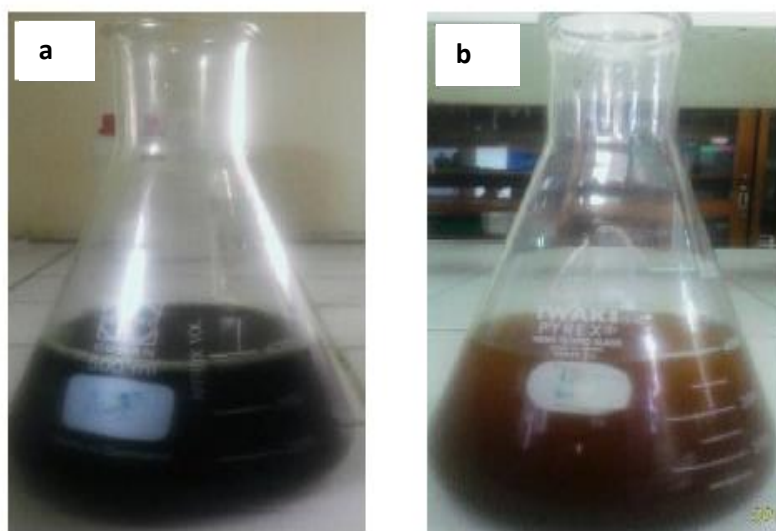
penelitian ini mempunyai kandungan metil ester 69.11%, kandungan asam lemak bebas yang cukup tinggi sebesar 17,77%, dan sisanya adalah kandungan yang dianggap gum sebesar 13,13%. Kandungan asam lemak bebas ini terdiri dari *asam palmitat* 13,92%, dan *asam lenoleat* 3,85%. Sementara hasil penelitian lain dari Puspithati, dkk (2000) diperoleh informasi mengenai karakteristik minyak nyamplung dari sumatera sebelum degumming yakni, kandungan getahnya sebesar 7,72%; FFA sebesar 3,05%; kadar air 4,17%, dan viscositasnya sebesar 132,17%.

2. Hasil Degumming

Proses degumming pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) sebanyak 5% (v/v) dari minyak dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500ml yang telah terisi minyak nyamplung 400ml, kemudian dipanaskan sampai pada suhu 80°C. Lama waktu pemanasan degumming dapat dilakukan sampai terjadi perubahan warna, tergantung dari metode pemanasan yang digunakan. Setelah proses *Degumming* selesai, dilakukan pengendapan selama 24 jam agar minyak terpisah dari getah dengan sempurna. Gambar 5.7 memperlihatkan salah satu sampel hasil rekaman waktu proses degumming dengan menggunakan induksi elektromagnetik berbasis mikrokontroler dengan waktu 3.21 menit. Sedangkan data proses degumming untuk ketiga metode pemanasan dapat dilihat pada **Lampiran III**. Hasil pengujian minyak nyamplung (*cruide oil*) sebelum diproses dan setelah degumming diperlihatkan seperti pada Gambar 5.8. Nilai kandungan FFA ini sama seperti hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Pengujian-Mutu dan Keamanan-Pangan (FTB-UB) dengan kandungan FFA sebesar 17.7% (**Lampiran IV**).



Gambar 5.7 Hasil Rekaman Waktu Proses Degumming



Gambar 5.8 Crude oil Nyamplung (a) Sebelum dan (b) Sesudah Degumming

Hasil proses minyak degumming memperlihatkan adanya endapan di bawah minyak, berupa getah atau lendir yang mengandung senyawa fosfatida, dan memperlihatkan perbedaan warna dari hijau gelap menjadi kuning kemerahan. Kemudian endapan dipisahkan dari minyak secara gravitasi, dicuci dengan air hangat 70°C, lalu dipisahkan air dan minyak menggunakan corong pemisah (Gambar 5.9). Terakhir, minyak dipanaskan pada kompor listrik dengan suhu 100°C yang bertujuan untuk mengeluarkan air yang masih tercampur dengan minyak.



Gambar 5.9 Proses Pemisahan Air dan Minyak dengan Menggunakan Corong Pemisah

3. Analisis Kandungan Kadar Gum

Setelah proses degumming selesai dilakukan, dilanjutkan dengan melakukan uji *Free Fatty Acid* (FFA) dan kandungan kadar gum yang bertujuan untuk mengetahui asam lemak bebas yang terdapat pada hasil minyak degumming. Uji FFA degumming dilakukan dengan mentitrasi larutan KOH 0,1N kedalam sampel minyak nyamplung sebanyak 5 Gram yang sudah dicampur dengan metanol sebanyak 10ml. Tabel 5.2 memperlihatkan perbandingan data kandungan kadar gum dari proses degumming untuk ketiga metode pemanasan.

Tabel 5.2 Data Kandungan Kadar Gum dari Proses Degumming dari 3 Metode Pemanasan pada Suhu 80°C

Metode	Waktu	Daya	Minyak Awal		Minyak Akhir		Selisih Minyak		Degumming (%)		Kadar Gum
	(min)	(W)	ml	G	ml	g	ml	g	Sebelum	Sesudah	%
Hotplate	15	600	400	340	352.67	299.67	47.33	40.33	13,12	11,83	1,29
Microwave	12	120	400	340	350.00	283.33	53.33	56.67	13,12	12,50	0,62
Induksi	3,37	142,63	400	340	352.33	293.33	47.67	46.667	13,12	11,92	1,2

Berdasarkan Tabel 5.2 terlihat 3 hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Terpadu FMIPA sebelum dan sesudah degumming. Kemudian hasil ini diverifikasi dengan pengujian Laboratorium Pengujian Mutu dan Keamanan Pangan, UB (**Lampiran IV**). Berdasarkan hasil pengujian ini menunjukkan kandungan kadar gum minyak nyamplung yang tersisa setelah degumming 1,29% (*hotplate*), 0,62% (*microwave*), 1,2% (*induksi*). Sedangkan untuk nilai FFA sebelum degumming berdasarkan hasil pengujian Laboratorium Pengujian Mutu dan Keamanan Pangan, UB sebesar 17.03%, dan hasil pengujian GCMS Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu, Universitas Gajah Mada sebesar 17.77%. Presentase kandungan FFA minyak Nyamplung ini menunjukkan asam lemak bebas cukup tinggi sehingga sebelum diolah menjadi biodiesel perlu dilakukan esterifikasi.

5.2.2 Proses Esterifikasi

1. Hasil Esterifikasi

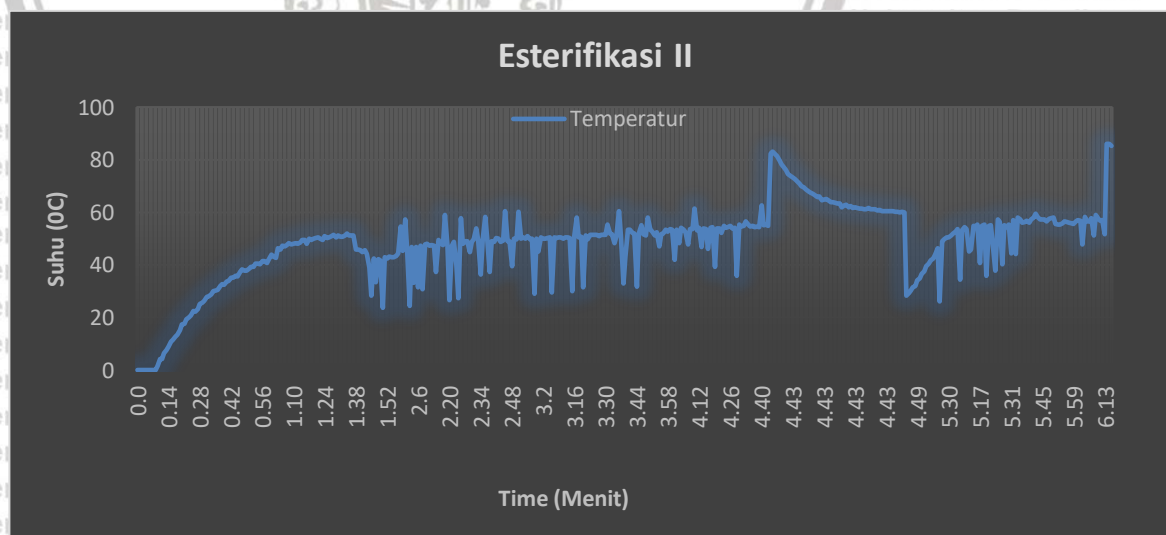
Proses esterifikasi merupakan hasil reaksi antara asam lemak dengan *alcohol* menggunakan katalis asam. Esterifikasi dengan katalis asam mengkonversi FFA menjadi ester alkil. Dalam penelitian ini digunakan katalis asam sulfat (H_2SO_4) 2% (b/b) dan asam klorida (HCl) 2% (b/b) sebagai pembanding. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi reaksi esterifikasi, diantaranya adalah rasio mol metanol dengan minyak, lama waktu reaksi, suhu/temperatur, faktor kemolaran katalis dan kandungan sisa air pada minyak/oil. Semakin tinggi rasio mol metanol dengan minyak yang digunakan, maka semakin tinggi rendemen ester dan semakin kecil kandungan asam lemak bebasnya. Dalam hal ini, proses esterifikasi bertujuan untuk mengurangi kadar asam lemak bebas pada minyak nyamplung hingga mencapai $\leq 2\%$ dengan menambahkan katalis dan metanol dengan rasio molar minyak dengan metanol 1:20.

Dalam penelitian ini dilakukan 2 kali esterifikasi karena pada esterifikasi I kadar FFA nya masih diatas 2% untuk ketiga metode pemanasan. Gambar 5.10 memperlihatkan grafik salah satu sampel hasil rekaman data waktu proses esterifikasi dengan menggunakan mikrokontroller. Berdasarkan gambar ini terlihat bahwa proses esterifikasi I yang dilakukan selama 12 menit diperoleh nilai pengujian FFA sebesar 5.8% untuk katalis H_2SO_4 , sedangkan untuk katalis HCL sebesar 8.4% dengan waktu

pemanasan 20 menit. Oleh karena masih diatas 2%, maka dilakukan esterifikasi II dengan melakukan penggantian katalis baru (1:20) dan menambah waktu pemanasan sehingga diperoleh penurunan FFA sebesar 1.6% untuk katalis H₂SO₄ selama 6,13 menit, sedangkan untuk katalis HCL diperoleh FFA sebesar 1,12 dengan waktu 8,2 menit.



(a)



(b)

Gambar 5.10 Grafik Hasil Rekaman Data Proses Esterifikasi dengan Menggunakan Induksi Elektromagnetik: (a) Ester I; (b) Ester II

Untuk pemanasan dengan menggunakan *microwave* diperoleh nilai FFA sebesar 4,16% (Asam Sulfat) dan 4,2% (HCL) dengan masing-masing waktu pemanasan selama 75 menit. Kemudian dilanjutkan dengan esterifikasi II dengan menambah waktu pemanasan selama 15 menit, sehingga diperoleh penurunan FFA sebesar 1,4% (H₂SO₄) dan 1,31% (HCL). Demikian juga untuk pemanasan *Hotplate* diperoleh nilai FFA sebesar 6,6% (H₂SO₄) dan 11,53 (HCL) dengan waktu 75 menit dan untuk esterifikasi II diperoleh nilai 1,73% (H₂SO₄) dan 1,8% (HCL) dengan lama waktu pemanasan 30 menit. Tabel 5.3 memperlihatkan perbandingan hasil esterifikasi berdasarkan data waktu pemanasan, daya yang digunakan, dan hasil FFA dari ketiga metode pemanasan. Adapun data proses esterifikasi dari ketiga metode pemanasan dapat dilihat pada **Lampiran V**.

Tabel 5.3 Hasil Perbandingan Esterifikasi dari ketiga Metode Pemanasan pada Suhu 60°C

Metode	Sebelum Esterifikasi	Esterifikasi I		Esterifikasi II		Daya (Watt)	Ket.
	FFA (%)	Waktu (Menit)	FFA (I) (%)	Waktu (Menit)	FFA (II) (%)		
<i>Hotplate</i>	17.66	75	6,6	30	1,73	600	Asam Sulfat
		75	11,53	30	1,8	600	HCL
<i>Microwave</i>	17.21	75	4,16	15	1,4	40	Asam Sulfat
		75	4,2	15	1,31	40	HCL
Induksi Elektromagnetik	17.03	9,9	5,87	5,24	1,65	134,98	Asam Sulfat
		18	8,7	7	1,2	137,9	HCL

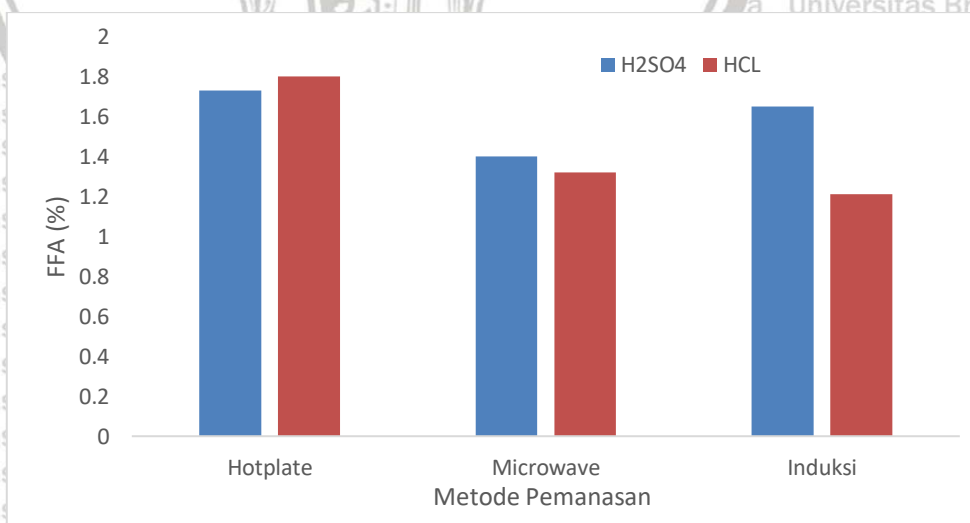
Dari Tabel 5.3 terlihat bahwa kadar FFA pada minyak nyamplung setelah dilakukan esterifikasi II kali menunjukkan penurunan dibawah 2%. Berdasarkan perbandingan lama waktu proses esterifikasi, metode pemanasan induksi dapat mempersingkat waktu pemanasan sekitar 15,14 menit (H₂SO₄) dan 25 menit (HCL) dibandingkan metode *hotplate* dan *microwave* sekitar 105 dan 90 menit. Dengan demikian, hasil esterifikasi ini dapat dilanjutkan ke proses ke transesterifikasi.

2. Analisis Free Fatty Acid (FFA)

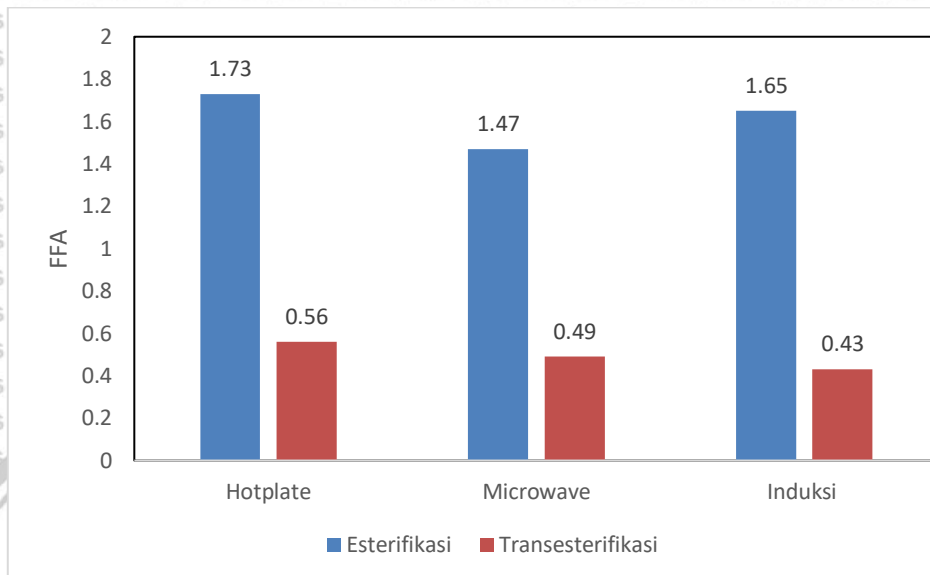
Kadar asam lemak bebas atau FFA adalah konsentrasi kandungan asam lemak bebas yang terdapat pada suatu minyak, konsentrasi yang tinggi yang terdapat pada suatu minyak mengakibatkan rendemen minyak akan turun (Agustina, 2008).

Menurut Christina (2013) kadar asam lemak bebas pada minyak harus dikurangi hingga mencapai $\leq 2\%$. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan asam lemak bebas, dari asam lemak bebas awal yang tinggi yaitu, 17,66% (*hotplate*), 17,21(*microwave*), dan 17,03 (induksi) setelah proses esterifikasi menggunakan katalis kimia H_2SO_4 dan HCL, nilai asam lemak bebas pada minyak nyamplung yang dihasilkan turun dibawah 2%.

Pada Gambar 5.11 terlihat nilai dari asam lemak bebas biodiesel minyak nyamplung menggunakan katalis kimia H_2SO_4 dan HCL sebagai kontrol pembanding. Pada konsentrasi katalis kimia H_2SO_4 2% terjadi penurunan asam lemak bebas menjadi 1,65% (induksi), 1,47% (*microwave*), dan 1.73% (*hotplate*). Sedangkan pada katalis kimia HCL terjadi penurunan lemak menjadi 1,21% (induksi), 1.31% (*microwave*), dan 1.80% (*hotplate*). Selanjutnya, Gambar 5.12 memperlihatkan perbandingan FFA dari ketiga metode untuk tahap degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi.



Gambar 5.11 Hasil Pengujian FFA dari Proses Esterifikasi Menggunakan Asam Sulfat dan HCL



Gambar 5.12 Perbandingan FFA dari Metode *Hotplate*, *Microwave*, dan Induksi Elektromagnetik

Selanjutnya, berdasarkan hasil ANOVA *Single Factor* (Tabel 5.4), diperoleh nilai F hitung yang lebih besar dari F tabel ($12,196 > 5,143$), dan nilai signifikansi yang lebih besar dari α ($0.05 > 0.0077$), sehingga dapat disimpulkan H_0 ditolak (**Lampiran VII.**). Artinya, ada pengaruh perbedaan yang signifikan penggunaan metode pemanasan terhadap waktu pengolahan biodiesel.

Tabel 5.4 Hasil Anova Single Factor dengan Perlakuan Waktu Pemanasan: (a) Data Penggunaan Waktu; (b) Summary; (c) ANOVA

Metode Pemanasan	Waktu (Menit)		
Induksi Elektromagnetik	0.43	0.73	1.03
<i>Microwave</i>	10	15	20
<i>Hotplate</i>	10	15	20

(a)

SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
Row 1	3	2.19	0.73	0.09
Row 2	3	45	15	25
Row 3	3	45	15	25

(b)

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	407.2658	2	203.6329	12.196	0.00769	5.14325
Within Groups	100.18	6	16.69667			
Total	507.4458	8				

(c)

5.2.3 Proses Transesterifikasi

1. Hasil Transesterifikasi

Tahap ini merupakan tahap utama dalam penelitian ini, dimana trigliserida yang merupakan komponen utama minyak dikonversi menjadi biodiesel dan gliserol. Transesterifikasi bertujuan untuk mengetahui hasil analisa karakteristik biodiesel minyak nyamplung dari pengujian berupa FAME, viscositas, densitas, dll. Proses transesterifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan katalis *Kalium Hidroksida* (KOH) 2% (b/b) dari minyak. Pertama-tama minyak nyamplung dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250ml sebanyak 70ml, kemudian disiapkan dengan perbandingan rasio metanol dengan minyak 1:6, kemudian dimasukkan KOH 2%. Setelah itu, diaduk selama 10 menit dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Terakhir dilakukan proses transesterifikasi dengan pemanasan sampai pada suhu 65°C. Hal ini disesuaikan dengan pernyataan Reefat (2008), bahwa suhu optimal pada proses transesterifikasi menggunakan katalis KOH yaitu 65°C. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan 3 metode seperti yang telah dilakukan pada proses degumming dan esterifikasi. Gambar 5.13 memperlihatkan rekaman data waktu proses transesterifikasi dengan menggunakan induksi elektromagnetik.

[illegible][illegible]

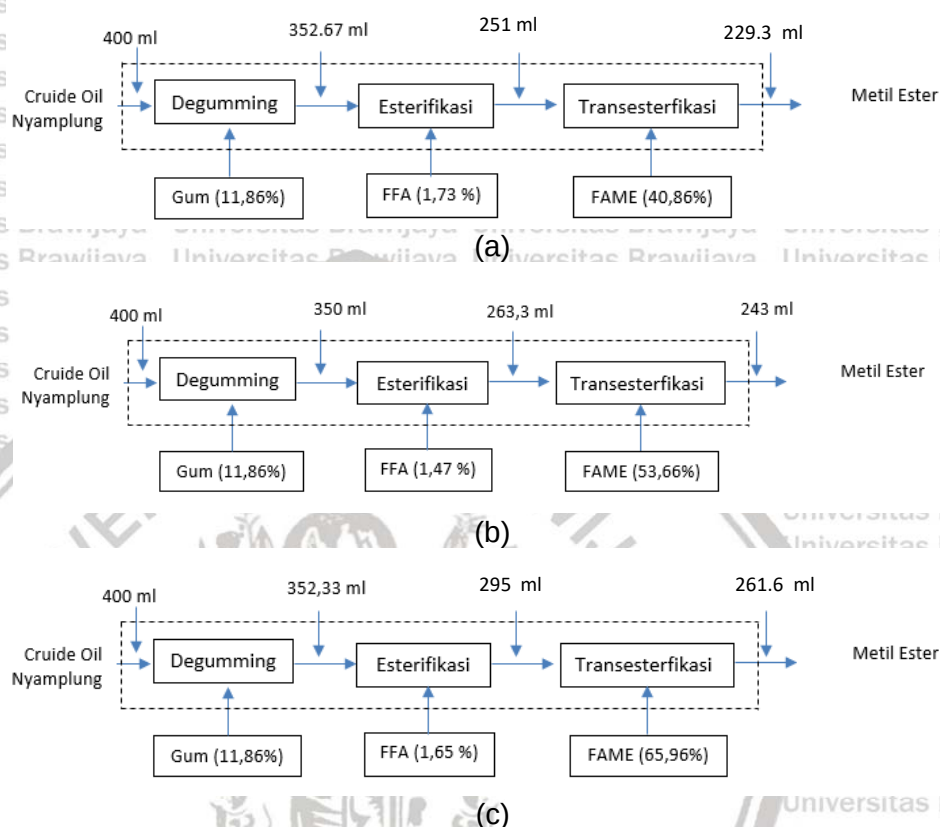


(a) (b)
Gambar 5.14 Hasil Transesterifikasi Minyak Nyamplung: (a) Esterifikasi; (b) Biodiesel

2. Analisis Kualitas Biodiesel

a. Analisis Rendemen

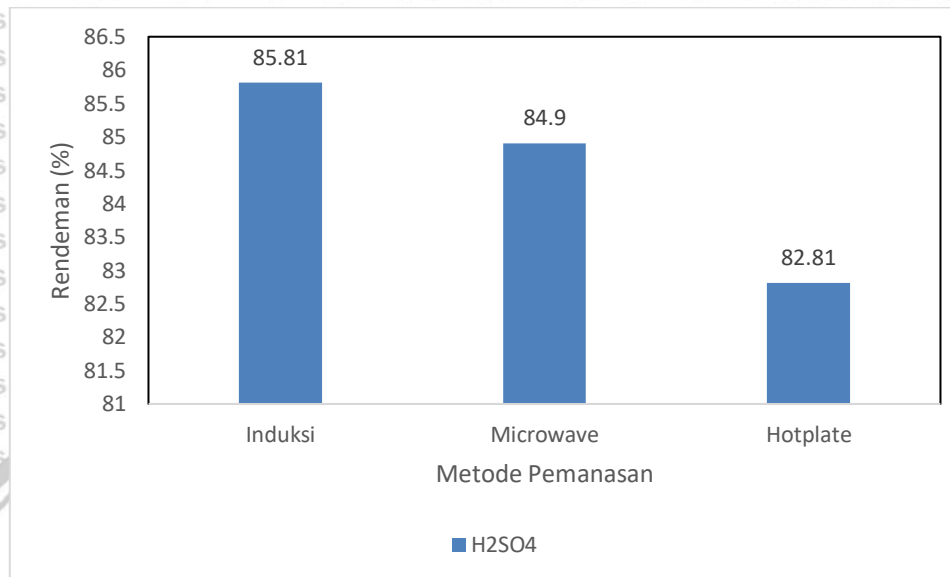
Rendemen adalah presentase produk yang didapatkan dari perbandingan berat awal volume minyak mentah dengan berat akhirnya atau produk akhir setelah menjadi metil ester. Dengan melakukan analisis rendemen, maka dapatlah diketahui adanya kehilangan berat pada saat proses pengolahan produksi mulai dari degumming, esterifikasi, sampai transesterifikasi. Rendemen didapatkan dengan cara mengukur volume minyak akhir yang dihasilkan dari proses dibandingkan dengan volume minyak awal sebelum mengalami proses. Semakin tinggi nilai rendemen yang dihasilkan menandakan semakin banyak minyak yang diperoleh dalam proses. Gambar 5.15 memperlihatkan perbandingan kesetimbangan massa untuk ketiga metode pemanasan.



Gambar 5.15 Perbandingan Kesetimbangan Massa: (a) Hotplate; (b) Microwave; (c) Induksi

Ditinjau dari segi rendemen, terlihat bahwa metode induksi mempunyai rendemen yang lebih tinggi dibanding dengan kedua metode lainnya. Dalam hal ini untuk metode induksi diperoleh rendemen sebesar 65,4%, sedangkan untuk *microwave* diperoleh 60,75%, dan *hotplate* sebesar 57,5%.

Selanjutnya, Gambar 5.16 memperlihatkan rendemen minyak berdasarkan proses transesterifikasi, dimana pada metode induksi diperoleh rendemen sebesar 85,81%, metode *microwave* sebesar 84,9%, dan *hotplate* diperoleh rendemen sebesar 82,81%.



Gambar 5.16 Perbandingan Rendemen Minyak untuk Ketiga Metode Pemanasan berdasarkan Proses Transesterifikasi

b. Analisis Viskositas

Viskositas biodiesel memiliki peranan penting dalam proses penginjeksian bahan bakar. Menurut Christina dkk. (2013) viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar. Sedangkan viskositas yang terlalu tinggi akan mengakibatkan bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang besar dan memiliki momentum yang tinggi dan bertumbukan dengan dinding silinder, sehingga pompa penginjeksian tidak dapat melakukan pengkabutan dengan baik.

Viskositas merupakan ukuran kekentalan suatu fluida. Setiap fluida memiliki besar viskositas yang berbeda yang dinyatakan dengan η . Viskositas dapat diketahui dengan menggunakan alat viskometer. Jika viskositas semakin tinggi, maka tekanan yang mengalir akan menjadi semakin tinggi. karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Pada umumnya, bahanabakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar dapat mudah mengalir dan teratomisasi. Menurut SNI nomor 04-7182-2006 standar viskositas bahan bakar untuk mesin diesel berkisar antara 2,3-6,0 mm²/s pada suhu 40°C.

c. Analisis Densitas

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya, dengan satuan ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Densitas berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat, memiliki densitas yang berbeda-beda. Densitas dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan dan berat molekul minyak. Derajat ketidakjenuhan yang besar menyebabkan densitas semakin kecil. Sedangkan semakin besar rata-rata molekul asam lemak penyusun trigliserida, maka semakin besar densitas minyak tersebut (Rahmani, 2008). Oleh karena itu uji densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis dari minyak yang digunakan. Densitas berhubungan dengan jumlah nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel per satuan volume bahan bakar. Berdasarkan SNI nomor 04-7182-2006, densitas bahan bakar untuk mesin diesel berkisar antara 0,85-0,89 g/ml.

Densitas berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel. Densitas yang rendah akan menghasilkan nilai kalor yang tinggi dan begitu pula sebaliknya. Densitas atau massa jenis merupakan salah satu parameter yang menunjukkan keberhasilan reaksi transesterifikasi. Terpenuhinya parameter densitas, menunjukkan bahwa proses pemurnian biodiesel berhasil. Tidak murninya biodiesel diakibatkan masih terkandungnya pengotor dapat mengakibatkan nilai densitas menjadi tinggi (Prihanto, 2013). Tabel 5.5 memperlihatkan hasil analisis rendemen, pengujian viskositas dan densitas dari ketiga metode pemanasan.

Tabel 5.5 Pengujian Viskositas dan Densitas

Parameter Uji	Hotplate		Microwave		Induksi Elektromagnetik		Syarat Nilai Uji SNI
	HCL	Asam Sulfat	HCL	Asam Sulfat	HCL	Asam Sulfat	
Densitas 40°C (gr/ml)	0,889	0,876	0,887	0,883	0,88	0,882	0,85-0,89
Viskositas 40°C (Cst)	7,31	6,63	7,08	6,353	5,66	5,54	2,3-6,0

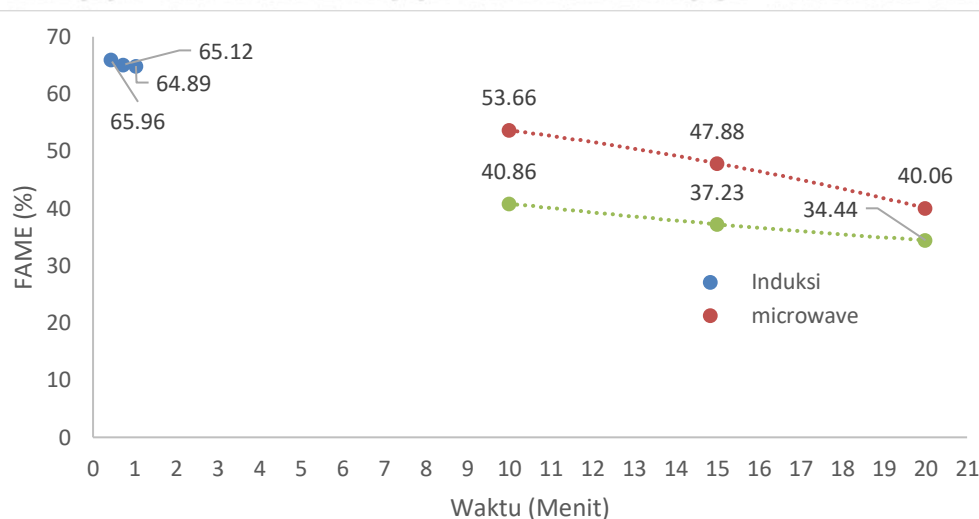
Berdasarkan hasil analisis viskositas diperoleh nilai terendah dari pengolahan biodiesel dengan menggunakan induksi elektromagnetik sebesar 5.54 % (Asam sulfat) dan 5,66% (HCL). Sedangkan untuk pengolahan menggunakan *microwave* masih tinggi nilainya dari syarat nilai uji SNI. Sebagaimana diketahui bahwa standar SNI yaitu, sekitar 2,3 – 6,0. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa biodiesel dari minyak nyamplung pada penelitian yang dilakukan telah memenuhi syarat.

Selanjutnya, berdasarkan hasil analisis densitas, dapat dilihat bahwa nilai densitas pada semua sampel yang diujikan cenderung sama dan masih dibawah batas maksimal SNI yaitu 890 kg/cm³. Semua sampel dapat disimpulkan bahwa sudah memenuhi syarat densitas dari standar yang berlaku.

3. Analisis Karakteristik Biodiesel Nyamplung

a. Analisis *Fatty Acid Methyl Esther* (FAME)

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) adalah hasil dari transesterifikasi trigliserida yang terkandung pada berbagai minyak nabati. Pada hasil penelitian FAME yang dihasilkan dengan menggunakan katalis kimia KOH dan HCL sebagai kontrol pembanding. Gambar 5.17 diperlihatkan hasil akhir FAME terhadap waktu transesterifikasi dari ketiga metode pemanasan. Data proses transesterifikasi untuk ketiga metode pemanasan dapat dilihat pada **Lampiran VI**. Terlihat bahwa, hasil FAME dari metode induksi elektromagnetik sebesar 65,96% untuk waktu proses 0.43 menit, 0.73 menit sebesar 65,12%, dan 1,03 sebesar 64,89%. Selanjutnya, untuk metode *microwave* diperoleh 53,66% dengan waktu 10 menit, 47,88% (15 menit), dan 40,06% (20 menit). Demikian juga, untuk metode *hotplate* diperoleh rendemen sebesar 40,86% (10 menit), 37,23% (15 menit), dan 34,44% (20 menit).



Gambar 5.17 Hasil FAME terhadap waktu transesterifikasi dari ketiga metode pemanasan.

Berdasarkan data ini dapat dikatakan bahwa lama waktu proses transesterifikasi berpengaruh terhadap FAME. Sebagaimana telah diketahui, bahwa titik didih metanol berada pada kisaran 65°C . Proses transesterifikasi yang berlangsung di atas 65°C tidak berlangsung efektif karena sebagian besar massa methanol akan menguap. Berkurangnya methanol akan menurunkan konversi minyak menjadi metal ester dan juga menurunkan laju reaksi transesterifikasi karena hasil reaksi merupakan fungsi dari konsentrasi reaktan (Susilo, B., 2017). Selanjutnya, suhu tinggi akan memicu kenaikan konstanta laju reaksi, dengan demikian juga menyebabkan peningkatan laju reaksi, akan tetapi dengan hilangnya sebagian massa alkohol akibat kenaikan suhu tersebut menyebabkan konsentrasi methanol didalam sistem menjadi rendah. Turunnya konsentrasi methanol akan menurunkan konsentrasi reaktan ke arah produk.

Selanjutnya, dalam teori tumbukan digambarkan pertemuan partikel-partikel reaktan sebagai suatu tumbukan. Pada proses tumbukan yang terjadi, disamping ada yang menghasilkan reaksi juga ada yang tidak menghasilkan reaksi. Tumbukan yang terjadi dan bisa menghasilkan partikel-partikel hasil reaksi disebut sebagai tumbukan efektif. Efektifnya tumbukan ditentukan oleh faktor energi kinetik partikel (molekul) dan arah partikel. Untuk mengetahui berapa energi kinetik yang digunakan dalam proses

transesterifikasi untuk ketiga metode pemanasan, maka akan diuraikan sebagai berikut:

Berdasarkan Hukum Newton II diketahui: $F = m \cdot a$

Dimana:

F = Gaya (Newton)

m = massa (kg)

a = percepatan (gaya gravitasi = 9.8 m/dt^2)

Dalam pengujian metode pemanasan induksi digunakan minyak nyamplung dengan volume 295 ml atau $295 \times$ berat jenis minyak nyamplung ($0,942 \text{ gr/ml}$), yakni $295 \times 0,942 = 277,89 \text{ g}$ atau $0,2779 \text{ kg}$. Sedangkan waktu yang digunakan dalam proses pengolahan transesterifikasi adalah $0,43 \text{ menit} = 25,8 \text{ dt}$. Dengan menggunakan percepatan gravitasi, maka diperoleh kecepatan:

$$V = 9,8 \text{ m/dt}^2 \times 25,8 \text{ dt} = 252,84 \text{ m/dt}.$$

Dengan demikian dapat diperoleh energi kinetik sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,2779 \cdot (252,84)^2$$

$$= 8.882,48 \text{ Joule}$$

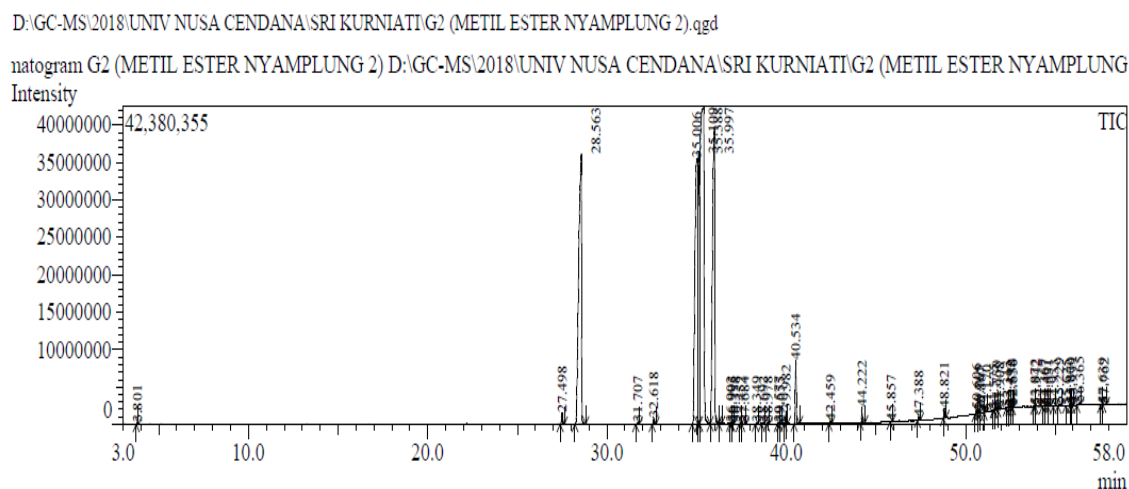
Dengan cara yang sama, untuk metode *microwave*, maka energi yang digunakan untuk melakukan tumbukan molekul pada saat proses transesterifikasi dengan volume minyak $263,3 \text{ ml}$ dengan waktu 10 menit adalah $4.282,04 \text{ Joule}$, sedangkan untuk metode *hotplate* dengan volume minyak 251 ml dengan waktu 10 menit dibutuhkan energi kinetik sebesar $4.255,95 \text{ Joule}$. Berdasarkan dari analisis energi kinetik, maka terlihat bahwa metode induksi mempunyai energi kinetik yang lebih besar pada proses transesterifikasi dibanding dengan kedua metode lain.

b. Pengujian Komposisi Asam Lemak (Pengujian GCMS)

GCMS merupakan suatu instrumen gabungan GC (kromatografi gas) dan MS (spektrofotometri massa). GCMS digunakan untuk memisahkan suatu senyawa menjadi komponen penyusunnya menggunakan fase gerak berupa gas (Sutar dkk, 2013). Kromatografi gas dan spektrometer masa mempunyai keunikan masing-masing dan memiliki kelebihan dan kekurangan. Dengan menggabungkan kedua

teknik tersebut diharapkan mampu meningkatkan kemampuan dalam menganalisis sampel dengan mengambil kelebihan masing-masing teknik dan meminimalisir kekurangannya.

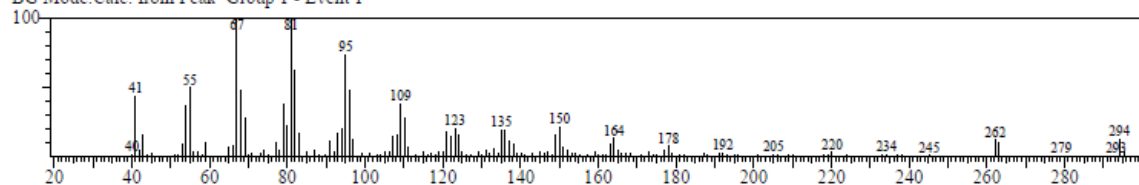
Analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui komponen asam lemak dan kadar asam lemak tersebut dalam biodiesel minyak biji nyamplung yang direaksikan dengan menggunakan radiasi induksi elektromagnetik. Dalam hal ini dilakukan pengujian GCMS di Laboratorium Universitas Negeri Malang. Adapun grafik GCMS nya dapat dilihat pada Gambar 5.18, dan data pengujian lainnya dapat dilihat pada Lampiran IX.



Komponen mayor yang paling banyak terdapat pada biodiesel minyak nyamplung seperti terlihat pada grafik fragmen-fragmen adalah metal ester Linoleat sebesar 33,94% yang memiliki massa molekul 294, dengan rumus molekul $C_{19}H_{34}O_2$ (Gambar 5.19). Persentase komponen mayor terbanyak kedua metil ester oleat sebesar 20,06% yang memiliki massa molekul 296, dengan rumus molekul $C_{19}H_{36}O_2$ (Gambar 5.20). Selanjutnya, metil ester stearate ($C_{19}H_{38}O_2$), yang menghasilkan puncak m/z 298 dan metil ester palmitat ($C_{17}H_{34}O_2$) yang menghasilkan puncak m/z 2970 merupakan komponen terbanyak ketiga dan keempat masing-masing sebesar 18,62% dan 17,12%. Gambar 5.21 dan 5.22 memperlihatkan fragmentasi metil ester dari stearate dan palmitat.

<< Target >>

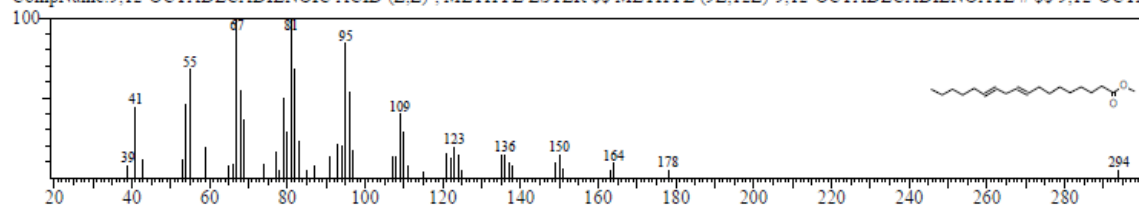
Line#6 R.Time:35.008(Scan#:3842) MassPeaks:192
RawMode:Averaged 35.000-35.017(3841-3843) BasePeak:81.05(569584)
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#1 Entry:232840 Library:WILEY8.LIB

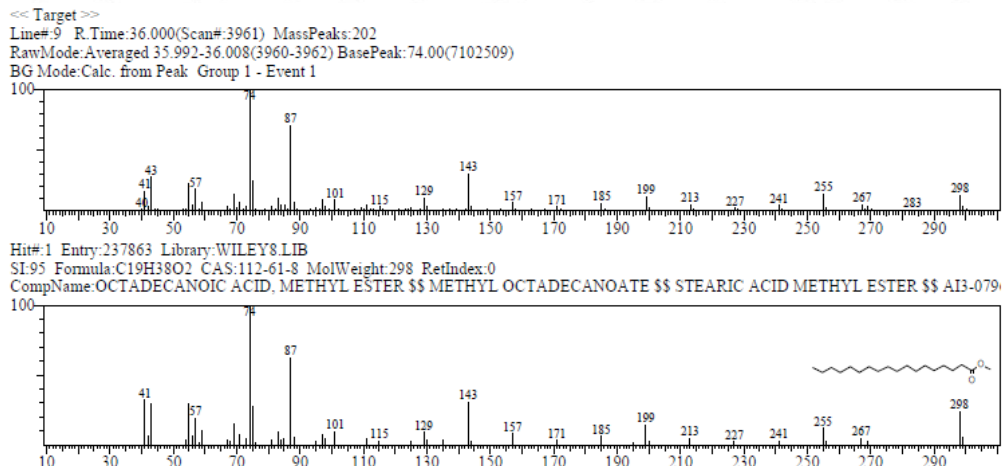
SI:94 Formula:C19H34O2 CAS:112-63-0 MolWeight:294 RetIndex:0

CompName:9,12-OCTADECADIENOIC ACID (Z,Z)-, METHYL ESTER \$S METHYL (9Z,12Z)-9,12-OCTADECADIENOATE # \$S 9,12-OCTA

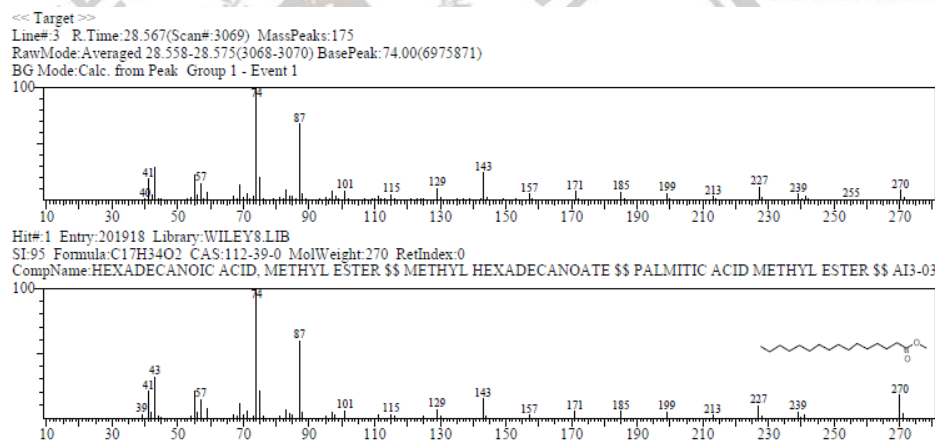


(a)





Gambar 5.21 Fragmentasi Metil Ester Stearat



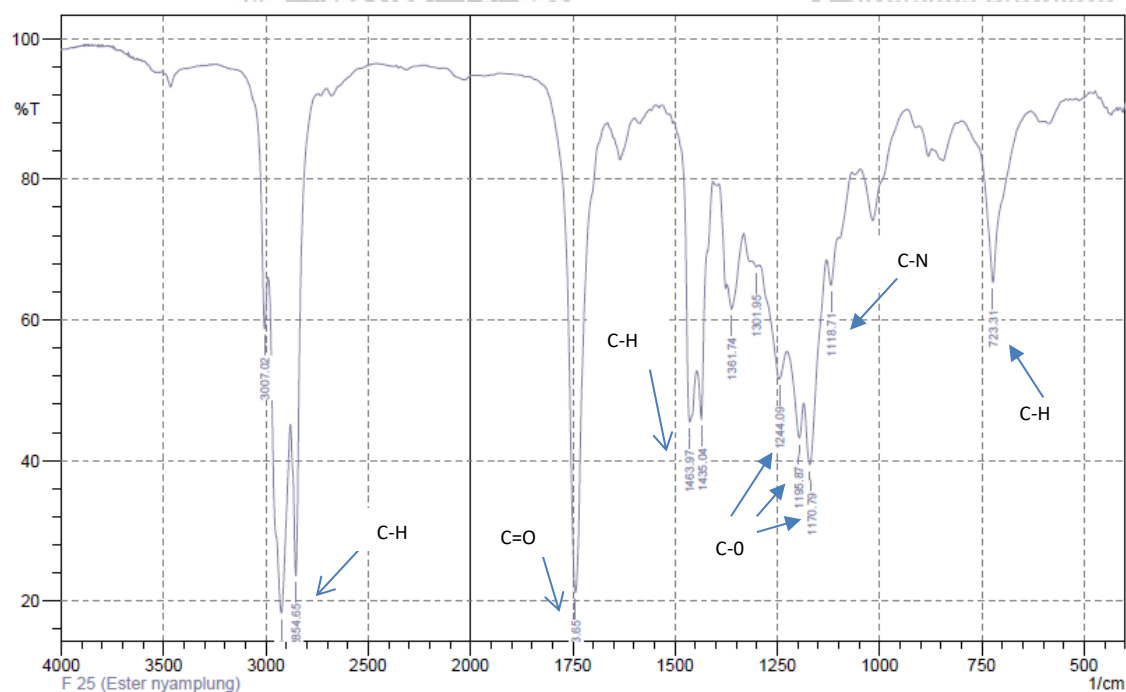
Gambar 5.22 Fragmentasi Metil Ester Palmitat

c. Pengujian Gugus Fungsi Kandungan Ester (Pengujian FT-IR)

Metode spektroskopi IR (FT-IR) lebih banyak dipakai untuk identifikasi senyawa-senyawa organik khususnya gugus fungsional. Spektrofotometri IR berdasarkan pada interaksi antara vibrasi atom-atom yang berikatan atau gugus fungsi dalam molekul dengan mengabsorpsi radiasi gelombang elektromagnetik IR. Absorpsi terhadap radiasi inframerah dapat menyebabkan eksitasi energi vibrasi molekul ke tingkat energi vibrasi yang lebih tinggi dan besarnya absorpsi adalah terkuantitasi dan spesifik. Vibrasi yang normal mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi radiasi elektromagnetik yang diserap sehingga bersifat spesifik terhadap atom-atom yang berikatan atau gugus fungsi tertentu. Proses absorpsi (spektra IR) hanya dapat

terjadi apabila terdapat perubahan baik nilai maupun arah dari momen dwikutub ikatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi bilangan gelombang pada Spektrofotometri IR yaitu: perubahan massa atom-atom yang ada dalam ikatan, dan gaya ikatan.

Untuk membuktikan bahwa yang dihasilkan dalam proses transesterifikasi adalah metil ester, maka dilakukan uji menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terbentuk. Biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini dianalisa menggunakan alat instrumen FTIR untuk membuktikan dan meyakinkan bahwa hasil penelitian ini memiliki gugus fungsi metil ester yang merupakan gugus fungsi utama dari biodiesel. Pengujian FTIR dilakukan untuk membuktikan adanya ester (metil ester) pada produk transesterifikasi, dilakukan analisa dengan FT-IR. Adanya ester, dapat dilihat dari serapan gugus C=O dan C-O. Adapun hasil pengujian Ester dari minyak nyamplung hasil transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 5.23. Grafik hasil pengujian FT-IR lainnya dapat dilihat pada Lampiran VIII.



Gambar 5.23 Grafik FTIR dari Metil Ester Nyamplung

Berdasarkan analisis FTIR, gugus fungsi dari biodiesel dapat diidentifikasi seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 5.7 dan dibandingkan dengan salah satu hasil pengujian FTIR minyak nyamplung dengan menggunakan metode ultrasonokimia.

Data spektrum yang dihasilkan menunjukkan reaksi tersebut memiliki gugus khas metil ester. Pita-pita serapan khas dari asam lemak rantai panjang diantaranya vibrasi regang C=O pada daerah frekuensi sekitar $1170,09\text{ cm}^{-1}$, $1195,87\text{ cm}^{-1}$, dan $1244,09\text{ cm}^{-1}$; pita serapan regangan C-H alkana pada frekuensi $1435,04\text{ cm}^{-1}$, $1463,97\text{ cm}^{-1}$, $2854,65\text{ cm}^{-1}$, dan $2924,09\text{ cm}^{-1}$. Pita serapan regang C=O terdeteksi pada frekuensi $1743,65$ yang tampak jelas terlihat sebagai pita kuat di area pertengahan spektrum.

Tabel 5.7 Gugus Fungsi Biodiesel Nyamplung berdasarkan Grafik FTIR

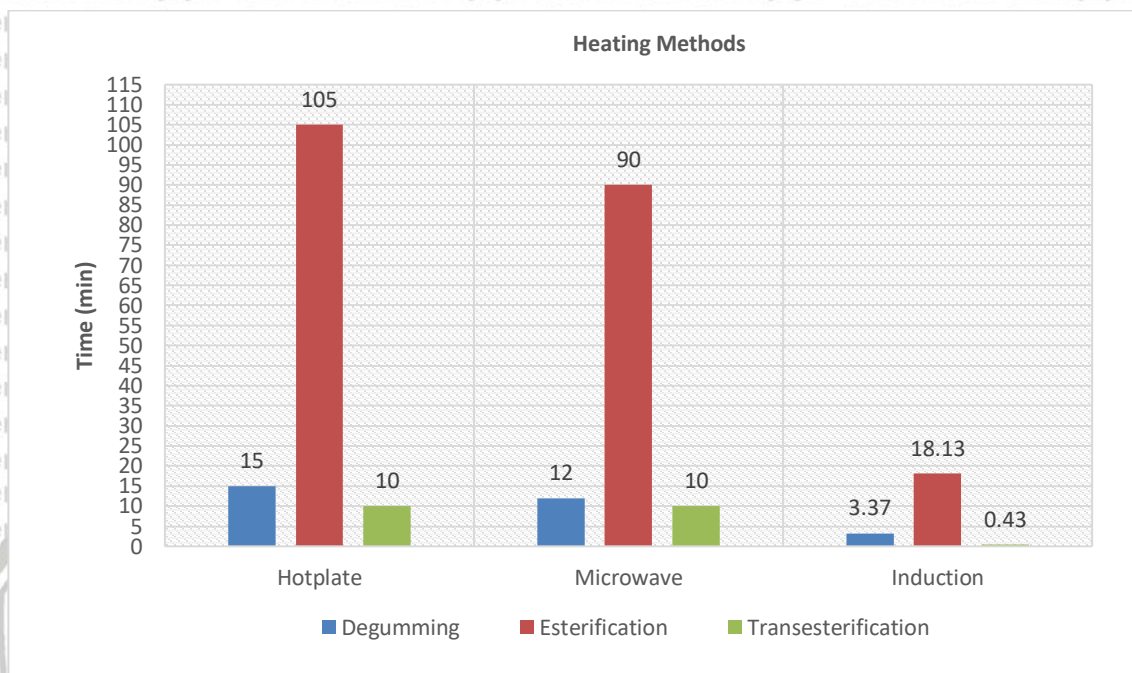
No.	Gugus Fungsi Terdeteksi	Angka Gelombang		Keterangan
		Metode Induksi Elektromagnetik	Metode Ultrasonokimia (Taufiq, M, 2015)	
1.	Gugus C-H Alkena	$723,31\text{ cm}^{-1}$	723,3 848,68 875,51	Biasanya muncul pada puncak angka gelombang $675-955\text{ cm}^{-1}$ dan $3010-3093\text{ cm}^{-1}$
2.	Gugus C-N Amina/Amida	$1118,71\text{ cm}^{-1}$	1118,7	Muncul pada puncak $1180-1360\text{ cm}^{-1}$
3.	Gugus C-O Alkohol/eter/asam karbosilat/ester	$1170,79\text{ cm}^{-1}$ $1195,87\text{ cm}^{-1}$ $1244,09\text{ cm}^{-1}$	$1170,79\text{ cm}^{-1}$ $1195,87\text{ cm}^{-1}$ $1236,37\text{ cm}^{-1}$	Biasanya muncul pada puncak gelombang $1050-1300\text{ cm}^{-1}$
4.	Gugus NO_2	$1301,95\text{ cm}^{-1}$ $1361,74\text{ cm}^{-1}$	1359,82	Biasanya muncul pada puncak gelombang $1050-1300\text{ cm}^{-1}$ dan $1300-1370\text{ cm}^{-1}$
5.	Gugus C=C Alkena	-	$1641,42\text{ cm}^{-1}$	Biasanya muncul pada puncak gelombang $1610-1680\text{ cm}^{-1}$
5.	Gugus C-H Alkana	$1435,04\text{ cm}^{-1}$ $1463,97\text{ cm}^{-1}$ $2854,65\text{ cm}^{-1}$ $2924,09\text{ cm}^{-1}$	$2852,72\text{ cm}^{-1}$ $2924,09\text{ cm}^{-1}$	Biasanya muncul pada puncak gelombang $2850-2970\text{ cm}^{-1}$ dan $1340-1470\text{ cm}^{-1}$
6.	Gugus C=O Alhehid/keton/asam karbosilat/ester	$1743,65\text{ cm}^{-1}$	$1741,72\text{ cm}^{-1}$	Biasanya muncul pada puncak gelombang $1690-1760\text{ cm}^{-1}$
7.	C-H Cincin aromatic	$3007,02\text{ cm}^{-1}$	3005,10	Biasanya muncul pada puncak gelombang $690-900\text{ cm}^{-1}$ dan $3010-3100\text{ cm}^{-1}$

Hasil gugus spektrum ini tidak jauh berbeda dengan hasil gugus spektrum yang telah dilakukan oleh Taufiq (2015). Namun demikian, ada satu perbedaan, yakni dalam metode pemanasan induksi terlihat tidak adanya pita serapan gugus C=C yang mengandung ikatan rangkap yang biasa muncul pada gelombang $1610\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$ ($1641,42\text{ cm}^{-1}$). Dengan demikian gugus fungsi yang terdapat pada biodiesel minyak biji nyamplung yang dianalisis dengan FTIR antara lain gugus metil, gugus ester serta gugus karbonil.

5.3 Analisis Penggunaan Energi dan Lingkungan

5.3.1 Analisis Penggunaan Energi dan Waktu Pengolahan Biodiesel

Gambar 5.24 memperlihatkan perbandingan salah satu sampel waktu proses dari ketiga metode pemanasan untuk tahap degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi. Waktu terbaik untuk mendapatkan hasil FAME yang tertinggi pada katalis KOH adalah 0.43 menit, sedangkan untuk katalis HCL adalah 2,4 menit. Secara keseluruhan dapat diketahui bahwa waktu yang digunakan untuk proses pengolahan biodiesel minyak nyamplung adalah 130 menit untuk *Hotplate*, 112 menit untuk *Microwave*, dan 21.76 menit untuk induksi elektromagnetik. Dengan demikian dapat diketahui bahwa penggunaan metode baru ini (induksi elektromagnetik) dapat menurunkan waktu proses pengolahan biodiesel yang cukup signifikan. Dengan adanya penurunan waktu proses pengolahan biodiesel ini akan berdampak pada pengurangan biaya produksi.



Gambar 5.24 Perbandingan Waktu Pengolahan Biodiesel Minyak Nyamplung antara Hotplate, Microwave, dan Induksi Elektromagnetik

Berdasarkan hasil pengukuran, jumlah daya yang digunakan oleh semua metode pemanasan adalah perkalian tegangan dan arus keluaran. Konsumsi energi dihitung antara pengali waktu dan daya output. Dengan menggunakan rumus daya dan energi, maka penggunaan energi dari setiap metode pemanasan dapat dihitung. Sebagai contoh dengan menggunakan data **Lampiran III**, untuk penggunaan energi pada proses degumming dengan menggunakan induksi elektromagnetik.

Diketahui:

$$P = 142,3 \text{ watt} = 0,1423 \text{ kW}$$

$$t = 3,37 \text{ menit}$$

$$= 3,37 / 60 = 0,056 \text{ jam}$$

Jadi jumlah energi yang digunakan dalam proses degumming adalah:

$$W = P \times t$$

$$= 0,1423 \times 0,056$$

$$= 0,0079 \text{ kWh} = 7,9 \text{ wh}$$

Selanjutnya, Tabel 5.8 memperlihatkan hasil perhitungan perbandingan konsumsi energi dari ketiga metode pemanasan dari setiap tahapan pengolahan biodiesel.

Tabel 5.8 Perbandingan konsumsi energi untuk minyak inophyllum Calophyllum

Metode	Komsumsi Energi (Wh)									Total Energi	Ket.
	Degumming			Esterifikasi*			Transesterifi kasi				
	P (watt)	t (jam)	Wh	P (watt)	t (jam)	Wh	P (watt)	t (jam)	Wh	(Wh)	
Hotpla- te	600	0,25	150	600 600	1,25 0,5	1050	600	0.167	100,2	1.300,2	*Asam Sulfat
	600	0,25	150	600 600	1,25 0,5	1050	600	0,167	100,2	1.300,2	*HCL
Micro Wave	120	0.2	24	40 40	1.25 0.25	60	40	0,167	6.68	90,68	*Asam Sulfat
	120	0,2	24	40 40	1.25 0.25	60	40	0,167	6,68	90,68	*HCL
Induksi	142.3	0,056	7,97	142.6 127.5	0.165 0.087	34,62	137.6	0,007	0,96	43,55	*Asam Sulfat
	146.4	0,056	8,2	144.5 142.4	0,30 0.117	60,01	136.5	0,035	4,778	72,98	*HCL

5.3.2 Analisis Dampak Lingkungan

Dalam Tabel 5.8 dapat dilihat bahwa metode induksi elektromagnetik menggunakan energi lebih hemat/efisien dibandingkan dengan metode konvensional dan microwave, yaitu 0,04355 kWh (Asam Sulfat) dan 0,07298 kWh (HCL). Jumlah energi yang diperoleh berdasarkan pada perkalian waktu keseluruhan dari tahap degumming, esterifikasi dan transesterifikasi dengan jumlah daya peralatan pemanas. Berdasarkan standar ekivalensi CO₂ yang ditetapkan oleh Kementerian no. 3783/21/600.6/2008, yakni 1 kWh = 0,891 kg CO₂. Dengan demikian, maka nilai total emisi karbon dari hasil penggunaan energi masing masing metode dapat dihitung menggunakan rumus (Diambil salah satu sampel metode induksi):

$$\text{Emisi karbon listrik} = \text{total kWh/tahun} \times 0,891 \text{ kg CO}_2$$

Diketahui total penggunaan energi metode induksi:

$$\text{Jumlah Energi} = 43,55 \text{ kwh} \times 365 \text{ hari (tahun)}$$

$$= 15.895,75 \text{ kWh/tahun}$$

$$\text{Emisi karbon listrik} = (15.895,75 \text{ kWh/tahun}) \times (0,891 \text{ kg CO}_2 \cdot \text{kWh/tahun})$$

$$= 14.163,11 \text{ kg CO}_2/\text{tahun. atau:}$$

$$= 0.014163 \text{ ton CO}_2/\text{tahun}$$

Apabila total CO₂ yang dapat tereduksi dengan efisiensi 15% disetarakan dengan kemampuan penyerapan rata-rata CO₂ per pohon, maka sesuai dengan standar perhitungan emisi *Energy Information Administarion* (EIA, 2005), yakni *average sequestration per tree* = 3,53 kg CO₂/tahun. Selanjutnya diperoleh:

$$\text{Total tree sequestration} = \text{Total CO}_2 \text{ reduction} / \text{Average Sequestration per tree}$$

$$= (14.163,11 \text{ kg CO}_2/\text{tahun}) / (3,53 \text{ pohon} \cdot \text{kgCO}_2/\text{tahun})$$

$$= 4.012, 21 \text{ pohon}$$

Selanjutnya, hasil perhitungan emisi karbon untuk ketiga metode pemanasan dapat dilihat pada Tabel 5.9. Berdasarkan tabel ini terlihat bahwa penggunaan metode baru induksi elektromagnetik selain menurunkan biaya proses produksi biodiesel juga dapat menurunkan faktor emisi karbon dioksida yang cukup signifikan.

Tabel 5.9 Emisi Karbon Dioksida yang Dihasilkan dari Penggunaan Listrik Berdasarkan Proses Pengolahan Biodiesel

Metode Pemanasan	Total kWh	Total/tahun (kwh)/tahun	Ekivalensi kg CO ₂ /tiap 1 kwh	CO ₂ (kg/tahun)	CO ₂ (Ton/tahun)	Total Pohon	Ket.
Induksi	43.55	15.895,75	0,891	14.163,11	0,014163	4.012	H ₂ SO ₄
Elektromagnetik	72.98	26.637,70	0,891	23.734,19	0,023734	6.723	HCL
Microwave	90.68	33.098,20	0,891	29.490,49	0,029490	8.354	H ₂ SO ₄
	90.68	33.098,20	0,891	29.490,49	0,029490	8.354	HCL
Hotplate	1300.2	474.573	0,891	422.844,54	0,422844	119.785	H ₂ SO ₄
	1300.2	474.573	0,891	422.844,54	0,422844	119.785	HCL

Dalam metode induksi elektromagnetik menghasilkan emisi karbon dioksida dari segi penggunaan listrik untuk pengolahan minyak nyamplung 400 ml/hari atau 146 liter/tahun sebesar 0,014163 ton (H₂SO₄) dan 0,023734 ton (HCL). Dengan faktor emisi yang dihasilkan dari metode induksi elektromagnetik ini, maka dibutuhkan sebanyak 4.012 pohon (H₂SO₄) dan 6.723 pohon (HCL) untuk mereduksi CO₂. Dalam hal ini ada penurunan faktor emisi 2 kali lipat dibandingkan dengan penggunaan metode *microwave* sebesar 0,029490 ton (H₂SO₄ dan HCL) dengan kebutuhan pohon sebanyak 8.350 pohon, serta 20 kali lipat untuk metode *hotplate* sebesar 0,422844 ton (H₂SO₄ dan HCL) dengan kebutuhan pohon sebanyak 119.785 pohon.

Berdasarkan informasi dan wawancara dari salah satu pengelola industri UKM pengelola biodiesel di daerah Kebumen, dalam 1 hari dapat menghasilkan sebanyak 250 liter/hari dengan bahan bakar dari kayu bakar. Jumlah bahan bakar yang digunakan dalam pengolahan biodiesel sekitar ½ mobil pick up/hari. Dengan mengkonversi menjadi satuan kubik, maka 1 mobil pick up = 1.5 m³ = 1500 kg. Dengan demikian dalam 1 hari membutuhkan kayu bakar sekitar 750 kg/hari.

Sebagai bahan perbandingan metode induksi untuk pengolahan biodiesel 400 ml/hari, maka untuk penggunaan bahan bakar kayu dengan volume 400 ml kira-kira =

$$\begin{aligned}\frac{400}{250000} \times 750 &= 1,2 \text{ kg} \\ &= 0,0012 \text{ ton/ hari , atau} \\ &= 0,0012 \text{ ton} \times 365 \text{ hari} = 0,438 \text{ ton/tahun}\end{aligned}$$

Berdasarkan petunjuk teknis perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) di sektor industri, diperoleh perhitungan metode faktor emisi IPCC (www.kemenperin.go.id):

$$E = A \times EF$$

Dimana:

E = Faktor Emisi

A = Energi bahan bakar (Q x NCV), (TJ)

EF = Faktor Emisi (kg/TJ)

Q = jumlah pemakaian bahan bakar (ton/th)

NCV = *Net Caloric Value* bahan bakar (TJ/ton)

Tabel 5.10 memperlihatkan faktor emisi dan NCV untuk berbagai jenis bahan bakar

Tabel 5.10 Faktor Emisi (EF)

Bahan Bakar	Faktor Emisi (ton CO ₂ /TJ)			NCV (TJ/Ton)	%C
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O		
Gas Alam	56.100	1	0.1	48	73,4%
LPG	63.100	1	0.1	47.3	81,4%
Biodiesel	70.800	3	0,6	27	52,1%
Jet Kerosene	71.500	3	0,6	44,1	86,0%
Kerosene lainnya	71.900	3	0,6	43,8	85,9%
Minyak diesel	74.100	3	0,6	43	86,9%
Minyak residu	77.400	3	0,6	40,4	85,3%
Batubara antrasit	98.300	10	1,5	26,7	71,6%
Batubara bituminous	94.600	10	1,5	25,8	66,6%
Batubara sub-bitumonous	96.100	10	1,5	18,9	49,5%
Lign it	101.000	10	1,5	11,9	32,85
Kayu/Limbah kayu	112.000	30	4	15,6	47,7%
Biomassa padat lainnya	100.000	30	4	11,6	31,6%
<i>Black liquor</i>	95.300	3	2	11,6	30,7%
<i>Coke</i>	107.000	10	1,5	28,2	82,3%

Dengan berdasarkan rumus dan Tabel 5.10, maka diperoleh:

$$A = 0,438 \text{ ton/tahun} \times 15,6 \text{ TJ/ton} \\ = 6,8328 \text{ TJ/tahun}$$

Dengan demikian diperoleh:

- Emisi CO₂ (ton CO₂/th) = (6,8323 TJ/tahun) x (112.000 CO₂/TJ)
= 765.273,6 ton CO₂/th
- Emisi CH₄ (ton CH₄/th) = 6,8323 x 30 CH₄/TJ
= 204,984 ton CH₄/th
- Emisi N₂O (ton N₂O/th) = 6,8323 x 4 N₂O/TJ
= 27,3312 ton N₂O/th

Selanjutnya, nilai emisi yang diperoleh ini dikalikan dengan faktor GWP (*Global Warming Potential*) untuk mengkonversi data emisi GRK non-CO₂ menjadi karbon dioksida ekivalen (CO₂-e) dengan mengikuti *Second Assesment Report* (2nd AR of IPCC). Nilai GWP yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 5.11

Tabel 5.11 Nilai GWP pada Second Assesment Report (SAR) yang Digunakan Perhitungan Inventarisasi GRK

No.	Gas	GWP (CO ₂ -e)
1.	CO ₂	1
2.	Methane (CH ₄)	21
3.	Nitrous Oxide (N ₂ O)	310
4.	PFC-14 (CF ₄)	6,500
5.	PFC-116 (C ₂ F ₆)	9,200
6.	Sulfur hexafluoride (SF ₆)	23,900

(Prihatno, dkk, 2017)

Dengan menggunakan nilai GWP seperti dalam Tabel 5.11, maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 \text{ (ton CO}_2\text{/th)} &= (E_k) \cdot (FE \text{ CO}_2\text{-e}) \\
 &= (765.273,6 \text{ ton CO}_2\text{/th}) \cdot (1) \\
 &= 765.273,6 \text{ ton CO}_2\text{-eq/th}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CH}_4 \text{ (ton CH}_4\text{/th)} &= (E_k) \cdot (FE \text{ N}_2\text{O}) \\
 &= (204,984 \text{ ton CH}_4\text{/th}) \cdot (21) \\
 &= 4.304,664 \text{ ton CO}_2\text{-eq/th}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi N}_2\text{O (ton N}_2\text{O/th)} &= (27,3312 \text{ N}_2\text{O/TJ}) \cdot (310) \\
 &= 8.472,672 \text{ ton CO}_2\text{-eq/th}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total emisi GRK} &= \text{Emisi CO}_2 + \text{Emisi CH}_4 + \text{Emisi N}_2\text{O} \\
 &= 765.273,6 + 4.304.664 + 8.472,672 \\
 &= 5.078.412,272 \text{ ton CO}_2\text{-eq/th}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan emisi ini terlihat bahwa penggunaan bahan bakar dari kayu bakar memberikan kontribusi yang cukup besar dalam menghasilkan emisi karbon, yaitu sebesar 5.078.412,272 ton CO₂-eq untuk pengolahan biodiesel sebanyak 400 ml/hari. Dibandingkan dengan menggunakan metode induksi elektromagnetik dengan volume yang sama 400 ml/hari hanya menghasilkan emisi karbon 0.014163 ton CO₂/tahun.

5.4 Pembahasan Hasil Penelitian

Suatu metode baru sistem pemanasan yang memungkinkan reaksi berjalan lebih cepat adalah dengan melakukan reaksi transesterifikasi menggunakan radiasi panas induksi elektromagnetik. Radiasi panas induksi elektromagnetik yang diinduksi oleh logam yang dipasang di dalam kumparan diserap oleh sampel, yang dapat menyebabkan munculnya pemanasan dalam sampel. Pemanasan dengan radiasi medan magnet yang diinduksi lebih cepat dan merata di sepanjang logam yang dipasang di dalam kumparan, daripada mentransfer panas dari luar. Durasi induksi yang diberikan kepada logam mempengaruhi kenaikan suhu / panas dari logam yang mempengaruhi jalannya reaksi transesterifikasi. Semakin besar suhu yang diberikan, reaksi transesterifikasi berjalan lebih cepat dan akan menghasilkan lebih banyak konversi biodiesel. Arus eddy memiliki peran paling dominan dalam proses pemanasan induksi. Panas yang dihasilkan dalam material tergantung pada jumlah arus eddy yang diinduksikan oleh belitan induktor. Ketika gulungan berenergi oleh arus bolak-balik, medan magnet akan terjadi di sekitar kawat konduktor. Fluks magnet bervariasi sesuai dengan arus yang mengalir di kumparan.

Secara teknis, pemanas induksi memiliki karakteristik berikut: mampu melepaskan panas dalam waktu yang relatif singkat. Ini karena kepadatan energinya tinggi. Dengan induksi, dimungkinkan untuk mencapai suhu yang sangat tinggi. Pemanasan dapat dilakukan di lokasi tertentu dan sistem dapat dibuat untuk bekerja secara otomatis. Pemanasan induksi, secara umum, memiliki efisiensi energi yang tinggi, tetapi itu tergantung pada karakteristik material yang dipanaskan. Kerugian pemanasan dapat diminimalkan. Menurut Lozinki (1969), beberapa faktor menentukan jumlah arus eddy dalam logam, termasuk: (1) medan magnet yang menginduksi logam;

(2) bahan logam yang digunakan untuk menghasilkan panas. Semakin kecil ketahanan jenis logam, semakin baik untuk menjadi objek panas dari logam; (3) luas permukaan logam, semakin luas permukaan logam semakin banyak arus eddy akan berada di permukaan logam; dan (4) semakin tinggi frekuensi semakin banyak fluks magnet yang dihasilkan. Selain itu, ada beberapa keuntungan menggunakan pemanas induksi, termasuk: panas yang dihasilkan langsung di dalam dinding barel; panas dapat diaplikasikan secara merata di seluruh laras; operasi elemen dingin, sehingga tidak memiliki batas waktu; waktu mulai cepat; dan hemat energi.

Getaran dalam molekul yang disebabkan oleh radiasi panas induksi akan menghasilkan panas yang seragam pada molekul, di mana panas induksi yang dihasilkan menembus molekul secara merata, bukan hanya permukaannya saja. Radiasi pemanasan induksi dapat mempercepat reaksi dengan menggetarkan molekul reaktan dengan cepat. Dengan berdasarkan hasil kajian penggunaan energi kinetik yang dibutuhkan pada proses transesterifikasi menunjukkan bahwa metode induksi elektromagnetik mempunyai energi kinetik yang lebih tinggi (7.898,32 Joule) dengan waktu yang singkat yakni, 0,43 detik. Dibandingkan dengan metode *microwave* yang membutuhkan energi kinetik sebesar 4.282,04 Joule dan 4.099,31 Joule untuk metode *hotplate* dengan waktu masing-masing 10 menit.

Hal ini menunjukkan bahwa energi kinetik molekul rata-rata meningkat dengan kenaikan temperatur sehingga lebih banyak molekul yang memiliki energi lebih besar dari energi pengaktifan. Oleh karena itu, tumbukan makin sering terjadi dan terjadinya peningkatan laju reaksi. Selanjutnya, molekul yang bergerak akan mempunyai energi kinetik. Jika gerakannya semakin cepat, maka akan semakin besar energi kinetiknya yang diubah menjadi energi vibrasi. Apabila energi kinetik mempunyai nilai yang besar, maka molekul yang bertumbukan akan bergetar kuat sehingga mengakibatkan pemutusan ikatan kimianya. Oleh karena itu, terbentuknya hasil reaksi harus diawali dengan putusnya ikatan kimianya dengan cepat. Apabila energi kinetik awalnya kecil, maka molekul hanya akan terpental tetapi masih utuh. Hal ini ditinjau dari segi energi tumbukan minimum yang harus terpenuhi agar reaksi terjadi (Suarsa, 2017).

Ditinjau dari faktor biaya produksi, maka penggunaan metode induksi elektromagnetik dapat menurunkan penggunaan energi dari setiap proses tahapan

pembuatan biodiesel yang cukup signifikan (Tabel 5.9). Dalam hal ini, untuk pengolahan minyak mentah nyamplung sebanyak 400 ml yang dimulai dari proses degumming, esterifikasi, sampai proses transesterifikasi mempunyai rendemen yang lebih tinggi dibanding kedua metode pemanasan, dan hanya dibutuhkan energi sebanyak 43,55 Wh untuk katalis asam sulfat, dan 72,98 Wh untuk katalis HCL. Sedangkan metode *microwave* menggunakan energi sebesar 90,68 Wh untuk katalis asam sulfat, dan 90,4 Wh untuk katalis HCL, serta *hotplate* sebesar 1.300,2 Wh untuk HCL dan asam sulfat. Selain itu, penurunan dari penggunaan energi listrik bagi metode induksi elektromagnetik juga berdampak pada penurunan faktor emisi 2 kali lipat dibandingkan dengan metode *microwave*, bahkan beberapa kali lipat untuk metode *hotplate*. Bahkan jika dibandingkan dengan pengolahan biodiesel dari beberapa industri UKM dengan sistem konvensional yang menggunakan kayu bakar, maka metode induksi elektromagnetik mempunyai kontribusi yang cukup besar dalam mengurangi emisi karbon. Dengan demikian, adanya temuan baru dari proses pengolahan biodiesel dengan menggunakan induksi elektromagnetik merupakan harapan baru untuk dapat menurunkan dan mengurangi polusi lingkungan sehingga dapat melestarikan lingkungan hidup, serta dapat mengurangi biaya produksi (Kurniati, et.al., 2019).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan mikrokontroller pada perancangan pemanasan induksi untuk kebutuhan pengolahan biodiesel dengan waktu yang singkat dapat mengontrol suhu secara *real time*.
2. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh:
 - a. Penggunaan metode pemanasan induksi elektromagnetik mempunyai waktu yang lebih cepat dibanding dengan kedua metode pemanasan *microwave* dan *hotplate*. Dalam hal ini, metode induksi elektromagnetik dibutuhkan waktu yang sangat singkat dalam setiap tahapan (degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi). Secara keseluruhan waktu yang dibutuhkan dalam proses pembuatan biodiesel adalah 130 menit untuk *hotplate*, 112 menit untuk *microwave*, dan 21,76 menit untuk induksi elektromagnetik.
 - b. Pengujian densitas untuk ketiga metode pemanasan sudah memenuhi standar SNI, yakni 0,882 g/ml, sedangkan pada pengujian viskositas hanya metode induksi elektromagnetik saja yang memenuhi standar, yakni 5,5 cst. Demikian juga halnya dengan nilai FAME sebesar 65,96%, dimana metode induksi elektromagnetik lebih tinggi dibanding dengan kedua metode pemanasan.
 - c. Perbandingan karakteristik berdasarkan kandungan senyawa kimia (pengujian FTIR) dan kandungan ester (pengujian GCMS) pada pengolahan biodiesel minyak nyamplung dengan menggunakan metode konvensional, *microwave*, dan radiasi panas induksi elektromagnetik diperoleh hasil yang sama.
3. Ditinjau dari faktor konsumsi energi, maka metode induksi elektromagnetik dapat menurunkan penggunaan energi dari setiap proses tahapan pembuatan biodiesel dibanding dengan kedua metode pemanasan. Selain itu, adanya penghematan penggunaan energi listrik bagi metode induksi elektromagnetik juga berdampak pada penurunan faktor emisi yang cukup signifikan dibandingkan dengan metode *microwave*

dan metode hotplate, yaitu 0,014163 ton CO₂/tahun. Sedangkan untuk metode microwave menghasilkan emisi karbon 0,029490 ton/tahun, dan hotplate sebanyak 119.785 ton/tahun. Untuk pengolahan biodiesel sistem konvensional dengan menggunakan kayu bakar menghasilkan emisi karbon sebanyak 5.078.412,272 ton CO₂/tahun.

6.2 Saran

Dalam penelitian ini, kapasitas pengolahan biodiesel dengan menggunakan metode induksi elektromagnetik masih dalam skala produksi laboratorium. Oleh karena itu, untuk tujuan produksi industri bagi UKM, maka disarankan memperbesar volume pemanasan minyak biodiesel dengan menambah diameter kumparan induksi, mengukur besaran fluks magnetik yang terjadi, serta menambah kemampuan kapasitas power suplay dari alat induksi elektromagnetik. Selain itu, disarankan menyempurnakan sistem kontrol yang lebih handal dan akurat sehingga dapat meningkatkan kinerja dan keandalan alat pemanasan induksi elektromagnetik. Selain itu, dengan adanya temuan baru dari proses pengolahan biodiesel yang menggunakan induksi elektromagnetik merupakan harapan baru untuk dapat menurunkan dan mengurangi polusi lingkungan sehingga dapat melestarikan lingkungan hidup.

DAFTAR PUSTAKA

- Abenoza, M.; Benito, M.; Saldana, G.; Alvarez, I. Raso, J., & Sanchez-Gimeno, A. C. 2013. **Effects of pulsed electric field on yield extraction and quality of olive oil**. Food and Bioprocess Technology, 6(6), 1367-1373.
- Agarwal, A.K. & Das L.M. 2001. **Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines**. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power-Transactions of the ASME. pp. 440-7.
- Akgun, N. & Iscan, E. 2008. **Effects of process variables for biodiesel production by transesterification**. Eur J. Lipid Sci Technol. 109: 486-492.
- Annamalai, K., & Puri, I. K. 2006. **Combustion Science and Engineering**. CRC Press. pp. 851
- Anonim. 2000. **Induction Heating System Topology Review**. www.fairchildsemi.com. Diakses pada tgl 16 Februari 2017.
- Anonim. Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Industri. (www.kemenperin.go.id). Diakses pada tgl 15 April 2018
- Atadashi, I.M.; Aroua, M.K.; Abdul Aziz, A.R. & Sulaiman, N.M.N. 2012. **Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), 3275-3285.
- Azam MM, Waris A, Nahar NM. 2005. **Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-traditional Seed Oils for Use as Biodiesel in India**. Biomass & Bioenergy. pp:293-302.
- Badday, A.S.; Abdullah, A.Z.; Lee, K.T. 2013. **Optimization of biodiesel production process from Jatropha oil using supported heteropolyacid catalyst and assisted by ultrasonic energy**, Renewable Energy, 50, 427-432.
- Barnwal, B.K. & Sharma, M.P. 2005. **Prospects of biodiesel production from vegetables oils in India**. Renewable & Sustainable Energy Reviews; pp. 363-78.
- Barnard, T.M, Leadbeater, N.E, Boucher, M.B, Stencel, L.M, dan Wilhite, B.A. 2007. **Continuous Flow Preparation of Biodiesel Using Microwave Heating**, Energy and Fuel.
- Blanco, B. G.; Fitzpatrick, J.M.; Campos-Martina, J.M.; Al-Zahrani, S.M. & Fierro, J.L.G. 2013. **Efficient Solvent Regeneration of Basolite C300 used in the liquid phase adsorption of dibenzothiophene**. Fuel 113, pp 216-220.
- Caili, G. & Kusefoglul, S. 2008. **Increased yields in biodiesel production from used cooking oils by two step process: Comparison with one step process by using TGA**. Fuel Process Technol. 89: 118-122.

- Canakci, M. & JGerpen, J.V. 2001. **Biodiesel from Oil and Fat with high Free Fatty Acid**. Trans Am. Soc. Automotive Engine. pp:1429-1436.
- Chantrell, D.G.; Gillie, I.J. & Wilson, K. 2005. **Structure-ractivity correlation inMgAl hydrotalcite catalyst for biodiesel synthesis**. Appl Catal: A Gen :183-190.
- Demirbas, A. 2002. **Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol**. Energy Conversion and Management. pp:2349-56.
- Demirbas, A. 2003. **Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey**. Energy Conversion and Management. pp. 2093-109.
- Demirbas, A. 2007a. **Progress and recent trends in biofuels**. Progress in Energy and Combustion Sci. 33:1-18.
- Demirbas A. 2007b. **Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide**. Energy Conversion and Manag 48: 937-941.
- Demirbas, A. 2008. **Progress and recent trends in biodiesel fuels**. Energy Conversion and Management. pp:14-34.
- Demirbas, A.2008. **Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats**, J.Energy Conversion and Management, 49 (1), 125-130.
- Departemen kehutanan. 2008. **Rencana Aksi Pengembangan Energi Alternative Berbasis Tanaman Nyamplung 2010-2014**.
- Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2008. **Biji Nyamplung sebagai Sumber Energi Alternatif**. (Online) (www.esdm.go.id). Diakses pada tanggal 10 Oktober 2010).
- Dube, M. A.; Tremblay, A.Y.; Liu, J. 2007. **Biodiesel production using a membrane reactor**. Bioresource Technol 98: 639-47.
- Dweck, A.C. & Meadowsy T. 2002. **Tamanu (Calophyllum inophyllum) the African, Asian, Polynesian and Pacific Panacea**. International Journal of Cosmetic Science pp:1-8.
- Dweek, A. C. & Meadows, T.; 2002. **Tamanu (Calophyllum inophyllum L.) the Africa, Asia Polynesia & Pasific Panacea**. International J. Cos. Sci.,24:1-8.
- Fathiyah, S. 2010. **Kajian Proses Pemurnian Minyak Nyamplung Sebagai Bahan Bakar Nabati**. Skripsi. Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Ferreira, D.A.C.; Meneghetti, M.R.; Meneghetti, S.M.P.; Wolf, S.R.. 2007. **Methanolysis of soybean oil in the presence of tin (IV) complexes**. Appl Catal A: Gen 317:58–61.
- Fukuda, H.; Kondo, A. dan Noda, H. 2001. **Biodiesel fuel production by transesterification of oils**. J Biosci Bioengineering 92: 405–16.
- Gerpen, J.H.V.1996. **Determining the influence of contaminants on Biodiesel Properties. Final report prepared for The Iowa Soybean promotion Board**. Iowa state University. 28 p.
- Gerpen, J.H.V. 2005. **Biodiesel processing and production**. Fuel Processing Technol 86: 1097–107.
- Granados, M.L. 2007. **Biodiesel from sunflower oil by using activated calcium oxide**. Appl Catal B: Envir 73:317–26.
- Guerreiro, L. 2006. **Transesterification of soybean oil over sulfonic acid functionalised polymeric membranes**. Catal Today 118:166–71.
- Hadi, W.A. 2009. **Pemanfaatan Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) sebagai Bahan Bakar Minyak Pengganti Solar**. Jurnal Riset Daerah.
- Harrington, K.J., & D'Arcy-Evans, C., 1985. Transesterification in situ of sunflower
- Haryanto, A.; Silviana, U.; Triyono, S. dan Prabawa, S. 2015. **Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel**. AGRITECH, Vol. 35, No. 2.
- Hernando J.; Leton P.; Matia, M.P.; Novella, J.L. & Alvarez-Builla., J. 2007. **Biodiesel and FAME Synthesis Assisted by Microwaves: Homogeneous batch and flow processes**, Fuel, Volume 86, Issues 10-11, July-August 2007, pp.1641-1644.
- Helzamy. 2004. **Biodiesel dari Minyak Nabati**. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Heyne, K. 1987. **Tumbuhan Berguna Indonesia**. Terjemahan Balai Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Hsiao, M.C.; Lin, C.C.; Chang, Y.H.; Chen, L.C. 2010. **Ultrasonic mixing and closed microwave irradiation-assisted transesterification of soybean oil**, Fuel, 89(12), 3618-3622.
- Huaping, Z. 2006. **Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base of Calcium Oxide and Its Refining Process**. Chin J Catal 27(5): 391–396
- Ibiari, N.N.; S.A. Abo El-Enin, N.K. Attia and G. El-Diwani. 2010. **Ultrasonic Comparative Assessment for Biodiesel Production from Rapeseed**, Journal of American Science, 6(12), 937-943.

- Ji, J.; JWang, J.; Li, Y.; Yu, Y & Xu, Z .2006. **Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation**, Ultrasonics, 44, 411-414.
- Joker, D. 2004. **Calophyllum inophyllum L. Seed Leaflet No 87 Agustus 2004**. Forest & Landscape Denmark. Denmark.
- Jun Cheng, Tao Yu, Tao Li, Junhu Zhou, Kefa Cen .2013. **Using wet microalgae for direct biodiesel production via microwave irradiation**, Bioresource Technology, In Press, Corrected Proof, Available online 21 January 2013.
- Kang, S.C., Yuan, C.L, Kuo, H.H., Hsin, K.W. 2012. **Improving Biodiesel Yields from Waste Cooking Oil by Using Sodium Methoxide and a Microwave Heating System**, Energy, 38 (1), 151-156.
- Kansedo J, Lee,K.T.; Bhatia, S. 2009. **Biodiesel production from palm oil via heterogeneous transesterification**. Biomass Bioenergy 33: 271-276.
- Kapilan, N. 2014. **A Review On New Methods Used For The Production Of Biodiesel**. Petroleum & Coal 56 (1) 62 – 73. , New Bulgarian University, Bulgaria
- Khemthong, P.; C. Luadthong, W. Nualpaeng, P. Changsuwan, P. Tongprem, N. Viriya-empikul, K. Faungnawakij. 2012. **Industrial Eggshell Wastes as the Heterogeneous Catalysts for Microwave-assisted Biodiesel Production**, Catalysis Today, 190(1), 112-116.
- Kilham, C. 2003. **Oil of Tamanu (Calophyllum inophyllum L.)** <http://www.Newchapter.info/media> [diakses pada 12 Februari 2015].
- Kim, H.J.; Kang, B.S.; Park, Y.M.; Kim, D.K.; Lee, J.S.; Lee, K.Y. 2004. **Transesterification of vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst**. Catal Today 93–95: 315–20.
- Knothe, G. 2005. **Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl ester**. Fuel processing Technol 89: 1059-1070.
- Kouzu, M. 2007. **Calcium oxide as a solid base to catalyze transesterification of vegetable oil with methanol, for biodiesel production**. Catalysts & Catalysis 49: 87-89.
- Kouzu, M.; Kazuno, T.; Tajika, M.; Sugimoto, Y.; Yamanaka, S. & Hidaka, J. 2008. **Calcium Oxide as a Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and its Application to Biodiesel Production**. Journal Fuel , 87: 2798-2806.
- Kraftiadi, S. 2011. **Analisis Energi pada Proses Pembuatan Minyak Nyamplung**. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Kumar, G.; Kumar, D. Poonam , Rajeev Johari & C.P. Singh .2011. **Enzymatic transesterification of Jatropha curcas oil assisted by ultrasonication**, Ultrasonics Sonochemistry, 18(5), 923-927.
- Kumar, D.; Kumar, G.; Poonam, Singh, C.P. 2010. **Fast, Easy Ethanolysis of Coconut Oil for Biodiesel Production Assisted by Ultrasonication**, Ultrason Sonochem, 17(3), 555-559.
- Kumar, R.; G. Ravi Kumar, N. Chandrashekar .2011. **Microwave assisted alkali-catalyzed transesterification of Pongamia pinnata seed oil for biodiesel production**, Bioresource Technology, 102(11), 6617-6620.
- Kurniati, S.; Suparman, S.; Yuwono, S.S.; Hakim, L. 2019. **A Novel Process for Production of Calophyllum inophyllum Biodiesel with Electromagnetic Induction**. Energies. 12.383. pp. 1-21.
- Kurniati, S.; Suparman, S.; Yuwono, S.S.; Hakim, L. 2018. **Characteristics and Potential of Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.) Seed Oil From Kebumen Central Java as Biodiesel Feedstock**. International Research Journal of Advanced Engineering and Science. Vol.3, issue 4. pp. 148-152.
- Kusdiana, D. & Saka, S. 2004. **Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment**. Bioresour Technol 91: 289– 295.
- Lertsathapornasuk ,V.; Ruangying, P.; Pairintra, R. & Krisnangkura, K. 2004. **Continuous Transesthylation Of Vegetable Oils by Microwave Irradiation**. Thailand.
- Lertsathapornasuk, V.; Pairintra, R.; Aryusuk, K.; Krisnangkura, K. 2008. **Microwave Assisted in Continuous Biodiesel Production From Waste Frying Palm Oil and its Performance in a 100 kW Diesel Generator**. Fuel Processing Technology, 89(12), 1330-1336.
- Lee T.T.; Okitsu, K., Sadanaga, Y.; Takenaka, N.; Maeda, Y. & Bandow, H. 2011. **Ultrasound-Assisted Production of Biodiesel Fuel from Vegetable Oils in a Small Scale Circulation Process**. Bioresource Technology 101, 639–645.
- Leung, D.Y.C.; Wu, X.; Leung, M.K.H. 2010. **A review on biodiesel production using catalyzed transesterification**. Applied Energy 87: 1083–1095
- Liu, X.; He, H.; Wang, Y. & Zhu, S. 2008. **Transesterification of soybean oil to biodiesel using SrO as a solid base catalyst**. Catal. Communications 8: 1107–11.
- Lo pez DE, JG Goodwin, DA Bruce. 2007. **Transesterification of triacetin with methanol on Nafion acid resins**. J Catal 245: 381–91.
- Ma, F. & Hanna, M.A. 1999. **Biodiesel production: a review**. Bioresource Technol. 70: 1–15.

- Manh, D.V.; Chen, Y.H.; Chang, C.C.; Chang, M.C.; Chang, C.Y. 2011. **Biodiesel production from Tung oil and blended oil via ultrasonic transesterification process**, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 42(4), 640-644.
- Meher L.C.; Sagar, V.D. & Naik, S.N. 2006. **Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review**. J Renew Sustain Energy Rev. 10: 248–268.
- Motasemi & Ani. 2012. **A review on microwave-assisted production of biodiesel**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (7). pp. 4719-4733.
- Muley, P.D. & Boldor, D. 2013. **Investigation of microwave dielectric properties of biodiesel components**, Bioresource Technology, 127, 165-174.
- Nasution, A.K., Havendri, A., Budiman, H., Pramudia, G. dan Jofendra, E. 2009. **Rancang Bangun dan Pengujian Tungku Induksi untuk Peleburan Logam**, PDII LIPI, Jakarta.
- Noviansyah. 2006. **Perancangan Pemanas Induksi berkapasitas 200W**, Prosiding Semnas Ilmu Rekayasa Universitas Gunadharma 20-21 Nopember 2006, Jakarta.
- Ong, H.C.; Mahlia, T.M.I.; Masjukia, H.H.; Norhasyima, R.S. 2011. **Comparison of palm oil, Jatropha curcas and Calophyllum inophyllum for biodiesel: A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3501–3515.
- Prihatno, J., dkk. 2017. **Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan MRV Nasional. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan**
- Pudji, U. 2008. **Teknologi Ultrasonik untuk Biodiesel (Dengan Suara Ultra Biodiesel Dapat Diproduksi)**. Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
- Puspitahati & Saleh, E. 2008. **Modifikasi Alat Pengering Tipe Plat Berongga Dengan Menggunakan Sumber Energi Minyak Nyamplung**. Laporan Penelitian Dana Dikti. Unsri.
- Puspitahati & Saleh, E. 2010. **Pemisahan Getah (Gum) pada Minyak Nyamplung (Crude Calophyllum Oil) Menggunakan Zeolit dan Karbon Aktif Menjadi RCO (Refine Calohyllum Oil)**. Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya.
- Raharjo, W.P & Kusharjanta, B. 2013. **Rancang Bangun Pemanas Induksi Berkapasitas 600 W**. http://www.unwahas.ac.id/publikasiilmiah/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/viewFile/739/852

- Rahman, F. & Prabaswara, A. 2008. ***Biji Nyamplung sebagai Sumber Energi Alternatif***. Kementerian Negara Riset dan Teknologi.
- Ranganathan SV, Narasimhan SL, Muthukumar K. 2008. ***An overview of enzymatic production of biodiesel***. *Bioresource Technol* 99 (10):3975– 3981.
- Rhesa P.P.; Wibawa, G.A.; Pantjawarni P. dan Mahfud. 2012. ***Pembuatan Biodiesel Secara Batch Dengan Memanfaatkan Gelombang Mikro***. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 1, No. 1. hal. F. 34.
- Saka, S. & Kusdiana, D. 2001. ***Biodiesel fuel from rapeseed prepared in supercritical methanol***. *Fuel* 80: 225–231.
- Said, T.; Dutot, M.; Martin, C.; Beaudeau, J.L.; Boucher, C.; dan Enee E. 2007. ***Cytoprotective effect against UV-induced DNA damage and oxidative stress: role of new biological UV filter***. *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 2007;30(3–4):203–10.
- Saifuddin, N., & Chua, K. H. 2004. ***Production of Ethyl Ester (Biodiesel) from Used Frying Oil: Optimization of Transesterification Process using Microwave Irradiation***. *Malaysian Journal of Chemistry*.
- Salamatinia, B.; Abdullah, A. Z.; Bhatia, S. 2012. ***Quality evaluation of biodiesel produced through ultrasound-assisted heterogeneous catalytic system***, *Fuel Processing Technology*, 97, 1-8.
- Sahoo PK, Das LM, Babu MKG, Arora P, Singh VP, Kumar NR, et al. 2009. ***Comparative evaluation of performance and emission characteristics of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a tractor engine***. *Fuel*. pp:1698–707.
- Seung Bum Lee, Jae Dong Lee, In Kwon Hong. 2011. ***Ultrasonic energy effect on vegetable oil based biodiesel synthetic process***, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 17(1), 138-143.
- Singh, A.K. 2008. ***Development of a heterogeneously catalyzed chemical process to produce biodiesel (dissertation)***. Mississippi State University. USA.
- Shakinaz, A.; Sherbiny, El, Ahmed A.; Shakinaz, R T. & Sheltawy, El. 2010. ***Production of Biodiesel using the Microwave Technique***, *Journal of Advanced Research*, 1(4), 309-314.
- Sharma, Y.C. & Singh, B. 2009. ***Development of biodiesel: Current scenario***. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1646-1651.
- Shibasaki-Kitikawa N, H Honda, H Kuribayashi, T Toda, T Fukumura, T Yonemoto. 2007. ***Biodiesel production using anionic ion-exchange resin as heterogeneous catalyst***. *Biores Technol* 98:416–21.

- Shishir M. Hingu, Parag R. Gogate, Virendra K. Rathod .2010. **Synthesis of biodiesel from waste cooking oil using sonochemical reactors** , Ultrasonics Sonochemistry, 17(5), 827-832.
- Soerawidjaja, H.T. 2005. **Minyak Lemak dan Produk Kimia Lain dari Kelapa**, Bandung.
- Song, E.S.; Lim, J.W.; Lee, H.S.; Lee, Y.W. 2008. **Transesterification of RBD palm oil using supercritical methanol**. *J of Supercritical Fluids* 44: 356–363.
- Srivastava, A. & Prasad, R. 2000. **Triglycerides-based diesel fuel**. *Renew Sust Energy Rev.* 4: 111–133.
- Sudrajat, R. Sahirman, D. Setiawan. 2007. **Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung..** *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*.
- Suppes GJ, MA Dasari, EJ Daskocil, PJ Mankidy, MJ Goff. 2004. **Transesterification of soybean oil with zeolite and metal catalysts**. *Appl Catal A: Gen* 257: 213–23.
- Susilo, B., Damayanti, R, & Izza N. 2017. **Teknik Bioenergi**. UB. Press. Malang
- Taufiq M. B.. 2015. Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) dengan Menggunakan Metode Ultrasonokimia. *Chimica et Natura Acta*, Vol 3, No. 2. pp. 84 – 89.
- Terigar, B.G. 2009. **Advanced Microwave Technology For Biodiesel Feedstock Processing (Thesis)**. Aurel Vlaicu University of Arad. Romania.
- Turner, T.L. 2005. **Modelling and simulation of Reaction Kinetics for Biodiesel production**. [Thesis]. Mechanical Engineering. North Caroline state University.
- Umdur ES, Tuncer M, Seker E. 2009. **Transesterification of Annochloropsis Oculata Microalga's Lipid to Biodiesel on Al₂O₃ Supported CaO and MgO Catalysts**. *Bioresource Technol* 100: 2828-2831.
- Vitthal L. Gole, Parag R. Gogate.2013. **Intensification of synthesis of biodiesel from non-edible oil using sequential combination of microwave and ultrasound** , *Fuel Processing Technology*, 106, 62-69.
- Wahyu P.R., & Bambang, K . 2013. **Rancang Bangun Pemanas Induksi Berkapasitas 600 W Untuk Proses Perlakuan Panas Dan Perlakuan Permukaan**. Prosiding SNST ke-4 Tahun 2013 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Wali, W.A.; Al-Shamma'a,A.L.; Hassan,K.H.; Cullen, J.D. 2012. **Online genetic-ANFIS temperature control for advanced microwave biodiesel reactor**, *Journal of Process Control*, 22(7), 1256-1272.

- Wali, W.A.; Hassan, K.H.; Cullen, J.D.; Shaw, A.; Al-Shamma'a, A.L. 2013. **Real time monitoring and intelligent control for novel advanced microwave biodiesel reactor**, Measurement, 46(1), 823-839.
- Wu, L.; Zhu, & Huang, K. 2013. **Thermal analysis on the process of microwave-assisted biodiesel production**, Bioresource Technology, 133, 279-284.
- Xiaohu Fan, Feng Chen, Xi Wang (2010), Ultrasound-assisted synthesis of biodiesel from crude cottonseed oil using response surface methodology. J Oleo Sci., 59 (5), 235-241.
- Xin Deng, Zhen Fang, Yun-hu Liu. 2010. **Ultrasonic transesterification of Jatropha curcas L. oil to biodiesel by a two-step process**, Energy Conversion and Management, 51(12), 2802-2807.
- Xiulian Yin, Haile Ma, Qinghong You, Zhenbin Wang, Jinke Chang. 2012. **Comparison of four different enhancing methods for preparing biodiesel through transesterification of sunflower oil**, Applied Energy, 91(1), 320-325.
- Yang, Z. & Xie, W. 2007. **Soybean oil transesterification over zinc oxide modified with alkali earth metals**. Fuel Processing Technol 88:631-8.
- Yan, S.; Lu, H. & Liang, B. 2008. **Supported CaO Catalyst Used in Transesterification of Rapeseed Oil for the Purpose of Biodiesel Production**. Energy & Fuel 22: 646-651.
- Zhang, S.; Zu, Y.G.; Fu, Y.J.; Luo, M.; Zhang, D.Y. & Efferth, T. 2010. **Rapid Microwave-Assisted Transesterification of Yellow Horn Oil to Biodiesel using a Heteropolyacid Solid Catalyst**. Bioresource Technology, 101(3), 931-936.
- Zhang, H.; Ding, J. & Zhao, Z..2012. **Microwave assisted esterification of acidified oil from waste cooking oil by CERP/PES catalytic membrane for biodiesel production**, Bioresource Technology, 123, 72-77.