

**ANALISIS SIFAT HIGROSKOPIS BIODIESEL - SOLAR MELALUI
PENGUKURAN KURVA SATURASI DAN LAJU ADSORPSI
KANDUNGAN AIR DENGAN VARIASI KELEMBAPAN**

SKRIPSI

Gilang Maulana Putra

062119703



**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PAKUAN
BOGOR
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Makalah : Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel - Solar Melalui Pengukuran Kurva Saturasi dan Laju Adsorpsi Kandungan Air Dengan Variasi Kelembapan

Nama : Gilang Maulana Putra

NPM : 062119703

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui,

Bogor, 10 Januari 2024

Pembimbing I



(Dr. Sutanto, M.Si)

Pembimbing II



(Nur Allif Fathurrahman, S.Si., M.Si)

Mengetahui,

Ketua Program Studi Kimia



(Dr. Ade Heri Mulyati, M.Si)

Dekan FMIPA



(Asep Denih, S.Kom., M.Sc., Ph.D)

RIWAYAT HIDUP



Gilang Maulana Putra, dilahirkan di Bogor pada tanggal 28 April 1999. Anak ketiga dari pasangan bapak Abdul Haris dan Tita Widawati. Mulai memasuki Pendidikan formal pada tahun 2005 di SD Negeri Kebon Pedes 3 dan lulus pada tahun 2011, melanjutkan Pendidikan di SMP Negeri 5 Bogor dan lulus tahun 2014. Pada tahun 2019 melanjutkan Pendidikan di SMA YPHB Bogor dan lulus tahun 2017. Melanjutkan Pendidikan di Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pakuan Bogor

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gilang Maulana Putra

NPM : 062119703

Judul Skripsi : Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel – Solar Melalui Pengukuran Kurva Saturasi dan Laju Adsorpsi Kandungan Air Dengan Variasi Kelembapan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Pakuan atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Pakuan.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Bogor, 10 Januari 2024

Yang membuat pernyataan,

Gilang Maulana Putra

**PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER
INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA PATEN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gilang Maulana Putra

NPM : 062119703

Judul Skripsi : Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel – Solar Melalui Pengukuran Kurva Saturasi dan Laju Adsorpsi Kandungan Air Dengan Variasi Kelembapan

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir di atas adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun.

Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka dibagian akhir tugas akhir ini. Dengan ini saya melimpahkan hak cipta karya tulis saya kepada Universitas Pakuan.

Bogor, 10 Januari 2024

Gilang Maulana Putra

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, berkat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel - Solar Melalui Pengukuran Kurva Saturasi dan Laju Adsorpsi Kandungan Air Dengan Variasi Kelembapan” sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Sarjana (S1) Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pakuan.

Penyusunan makalah ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Asep Denih, S.Kom., M.Sc., Ph.D selaku Dekan FMIPA Universitas Pakuan.
2. Ibu Dr. Ade Heri Mulyati, M.Si selaku Ketua Program Studi Kimia FMIPA Universitas Pakuan.
3. Bapak Dr. Sutanto, M.Si dan Bapak Nur Allif Fathurrahman, S.Si., M.Si selaku pembimbing yang telah memberikan pengetahuan, saran, arahan serta bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Kimia FMIPA Universitas Pakuan Bogor, atas ilmu yang telah diberikan dan seluruh staf Tata Usaha FMIPA Universitas Pakuan Bogor atas segala kemudahan dan bantuan yang telah diberikan.
5. Kedua orang tua yang selalu memberi dukungan, doa, dan keridhoannya sehingga penulis dapat menempuh dan menyelesaikan studi.
6. Dita Albania dan teman – teman diluar Universitas Pakuan yang selalu memberikan dukungan, warna dan keceriaan dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Rekan – rekan di Laboratorium Bahan Bakar dan Aviasi yang telah mendukung dan memberikan saran sehingga penelitian ini terselesaikan.
8. Teman-teman seperjuangan mahasiswa program studi kimia reguler FMIPA UNPAK angkatan 2019.
9. Seluruh pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu yang banyak memberikan bantuan sehingga makalah ini terselesaikan.

Akhir kata, segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis agar menjadi lebih baik lagi. Semoga makalah ini bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca khususnya dalam bidang kimia.

Bogor, 10 Januari 2024

Gilang Maulana Putra

Gilang Maulana Putra. 062119703. 2023. “Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel – Solar Melalui Kurva Saturasi dan Laju Adsorpsi Kandungan Air Dengan Variasi Kelembapan. Dibawah bimbingan Dr. Sutanto, M.Si dan Nur Allif Fathurrahman, S.Si., M.Si.

RINGKASAN

Biodiesel merupakan sumber energi alternatif dari tumbuhan nabati yang banyak dikembangkan untuk menggantikan bahan bakar minyak solar berbasis fosil. Salah satu kekurangan dari biodiesel yaitu sifatnya yang higroskopis sehingga dapat meningkatkan kandungan air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat higroskopis biodiesel – solar melalui pengukuran kurva saturasi dan laju adsorpsi kandungan air dalam kondisi terkontrol dan kelembapan yang bervariasi. Selain itu, penampakan visual dan gugus fungsi senyawa kimia sebelum dan sesudah pengujian juga dianalisis.

Penelitian diawali dengan uji karakteristik pada biodiesel murni (B100) dan minyak solar murni (B0) yang mencacu pada metode ASTM. Biodiesel dan minyak solar dicampurkan dengan formulasi %-volume biodiesel 10, 20, 30, 40, 50%. Selanjutnya, dilakukan pengujian dengan kelembapan 60, 75 dan 90% pada masing – masing formulasi dengan *Climatic Chamber*. Untuk menentukan kadar air yang terkandung dalam sampel digunakan alat Titrasi Karl Fisher. Penampakan visual dan analisa FTIR dilakukan sebelum dan sesudah pengujian.

Dari hasil yang dianalisis, menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi biodiesel dan kelembapan relatif akan menyebabkan bahan bakar semakin higroskopis dan dapat menyerap air lebih cepat. Laju penyerapan air pada biodiesel – solar paling rendah terjadi pada B10 di RH 60% dengan nilai rata – rata sebesar 7 ppm/6jam dan laju penyerapan air paling tinggi terjadi pada B50 di RH 90% dengan nilai rata – rata sebesar 25 ppm/6jam. Penampakan fisik pada B0 dan B50 menunjukkan adanya sedikit perubahan warna yang menunjukkan kekeruhan pada sampel sesudah pengujian. Spektrum FTIR pada B100 dan B50 menunjukkan adanya perubahan nilai absorbansi pada gugus OH. Sedangkan pada B0, tidak menunjukkan adanya gugus OH.

Kata Kunci : Biodiesel, Higroskopis, Kandungan Air, Kelembapan, Minyak Solar

Gilang Maulana Putra. 062119703. 2023. "Analysis of the Hygroscopic Properties of Biodiesel - Diesel Using Saturation Curves and Adsorption Rates of Water Content with Varying Humidity. Supervised by Dr. Sutanto, M.Si and Nur Allif Fathurrahman, S.Si., M.Si.

SUMMARY

Biodiesel is an alternative energy source from vegetable plants that has been widely developed to replace fossil-based diesel fuel. One of the disadvantages of biodiesel is that it is hygroscopic so it can increase the air content. This research aims to analyze the hygroscopic properties of biodiesel-diesel through saturation curves measurements and adsorption rates of air content under controlled conditions and varying humidity. In addition, the visual appearance and functional groups of chemical compounds before and after testing were also analyzed.

The research began with characteristic tests on pure biodiesel (B100) and pure diesel oil (B0) obtained using the ASTM method. Biodiesel and diesel oil are mixed with %-volume biodiesel formulation of 10, 20, 30, 40, 50%. Next, testing was carried out with humidity of 60, 75, and 90% for each formulation using a Climatic Chamber. To determine the air content contained in the sample, the Karl Fisher Titration tool was used. Visual appearance and FTIR analysis were carried out before and after testing.

The results described show that the higher the biodiesel concentration and relative humidity, the more hygroscopic the fuel will be and can absorb air more quickly. The lowest air absorption rate in biodiesel-diesel occurs in B10 at RH 60% with an average value of 7 ppm/6 hours and the highest air absorption rate occurs in B50 at RH 90% with an average value of 25 ppm/6 hours. The physical appearance of B0 and B50 shows a slight color change which indicates turbidity in the sample before testing. The FTIR spectrum of B100 and B50 shows a change in the absorption value of the OH group. Meanwhile, B0 does not show the presence of an OH group.

Keyword : Biodiesel, Higroscopic, Water Content, Moisture, Diesel Fuel

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
RIWAYAT HIDUP.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN MENGENAI TUGAS AKHIR DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA PATEN	iv
KATA PENGANTAR	v
RINGKASAN	vii
<i>SUMMARY</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Hipotesis.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Bahan Bakar Nabati (Biodiesel).....	4
2.2 Bahan Bakar Minyak Solar	7
2.3 Campuran Biodiesel dan Minyak Solar (Biosolar)	9
2.4 Sifat Higroskopis Biodiesel.....	11
2.5 Titrator <i>Karl Fisher</i>	12
2.6 <i>Climatic Chamber</i>	14
BAB III BAHAN DAN METODE.....	16
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Metode Penelitian.....	17
3.3.1 Persiapan Bahan Bakar Biodiesel (B100) dan Minyak Solar (B0).....	17

3.3.2	Karakterisasi Sampel Biodiesel (B-100) dan Minyak Solar (B0)	18
3.3.3	Formulasi Blending.....	18
3.3.4	Pengujian Pengkondisian Suhu dan Kelembapan.....	19
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1	Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel dan Minyak Solar.....	23
4.2	Verifikasi Hasil Blending Biodiesel – Solar (BXX)	24
4.3	Kurva Saturasi Bahan Bakar Solar, Biodiesel dan Biodiesel - Solar..	25
4.4	Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel dan Campurannya Dengan Minyak Solar	29
4.5	Analisis Penampakan Visual dan Gugus Fungsi Senyawa Kimia Pada Biodiesel, Minyak Solar dan Biodiesel - Solar	34
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran.....	40
DAFTAR	PUSTAKA	41
LAMPIRAN	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Molekul Biodiesel	4
Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi	5
Gambar 3. Titrator <i>Karl Fisher</i>	14
Gambar 4. <i>Climatic Chamber</i>	14
Gambar 5. <i>Destillate Fuel Bar Chart</i>	21
Gambar 6. Kurva Saturasi Air Maksimum Biodiesel dan Minyak Solar.....	26
Gambar 7. Kurva Saturasi Air Minyak Solar Per 6 Jam Selama 14 Hari	26
Gambar 8. Kurva Saturasi Air Biodiesel Per 6 Jam Selama 14 Hari.....	27
Gambar 9. Kurva Saturasi Air Biodiesel – Solar Per 6 Jam Selama 14 Hari	29
Gambar 10. Gugus Karboksil.....	30
Gambar 11. Hubungan FAME Dengan Kandungan Air	30
Gambar 12. Kenaikan Kandungan Air RH 60% Per 6 Jam Selama 14 Hari	32
Gambar 13. Kenaikan Kandungan Air RH 75% Per 6 Jam Selama 14 Hari	33
Gambar 14. Kenaikan Kandungan Air RH 90% Per 6 Jam Selama 14 Hari	34
Gambar 15. Penampakan Visual Sampel (a) Minyak Solar Murni, (b) B50, (c) Biodiesel Murni.....	35
Gambar 16. Spektrum FTIR B100.....	37
Gambar 17. Spektrum FTIR B50.....	38
Gambar 18. Spektrum FTIR B0.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Standar Mutu Bahan Bakar Nabati Biodiesel	6
Tabel 2. Standar Mutu Minyak Solar Di Indonesia	8
Tabel 3. Perbedaan Sifat dan Karakteristik Biodiesel dan Minyak Solar	9
Tabel 4. Signifikansi Pencampuran Biodiesel dengan Minyak Solar	10
Tabel 5. Waktu Penelitian	16
Tabel 6. Metode Uji Karakterisasi Biodiesel dan Minyak Solar	18
Tabel 7. Persentase Campuran Biodiesel dan Minyak Solar	19
Tabel 8. Karakteristik Biodiesel dan Minyak Solar	24
Tabel 9. Kandungan FAME Pada Biodiesel - Solar	25
Tabel 10. Peningkatan Kandungan Air Biodiesel – Solar Per 6 Jam Selama 14 Hari	28
Tabel 11. Kandungan Air RH 60% Per 6 Jam Selama 14 Hari	31
Tabel 12. Kandungan Air RH 75% Per 6 Jam Selama 14 Hari	32
Tabel 13. Kandungan Air RH 90% Per 6 Jam Selama 14 Hari	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	45
Lampiran 2. Bagan Alir Uji Pengkondisian Suhu dan Kelembapan Dengan <i>Climatic Chamber</i>	46
Lampiran 3. Bagan Alir Uji Kadar Air Dengan Alat Titrator <i>Karl Fisher</i>	47
Lampiran 4. Hasil Formulasi Pencampuran Minyak Biodiesel – Solar (B0, B10, B30, B30, B40, B50 dan B100)	48
Lampiran 5. Data Hasil Pengkondisian Suhu dan Kelembapan	49
Lampiran 6. Grafik Regresi Linier Biodiesel, Minyak Solar dan Biodiesel – Solar	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang memiliki sifat menyerupai minyak diesel atau solar, sehingga sangat prospektif untuk dikembangkan. Bahan baku pembuatan biodiesel berasal dari berbagai sumber daya nabati yakni kelompok minyak dan lemak, seperti minyak sawit, jarak pagar, minyak kelapa, dan berbagai tumbuhan lain yang mengandung trigliserida. Biodiesel adalah senyawa mono alkil ester yang dapat diproduksi melalui proses alkoholisis (transesterifikasi) antara trigliserida dengan metanol menjadi metil ester dan gliserol. Reaksi tersebut dapat dipercepat dengan menggunakan katalis asam atau basa pada suhu dan komposisi tertentu. (Raden Wahid Hanafi, 2013).

Keunggulan dari biodiesel ini dapat mengurangi terjadinya polusi seperti tidak mengandung sulfur bebas, memiliki gas buangan dengan kadar pengotor yang rendah, *biodegradable*, tercampurkan dengan minyak diesel (solar), *non-toxic*, memiliki angka setana dan titik nyala yang tinggi. Namun, biodiesel juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan minyak solar seperti sifat auto-oksidasi karena cahaya, suhu dan kelembapan, stabilitas termal yang buruk dan lebih korosif. Selain itu, biodiesel juga lebih higroskopis sehingga rentan mengalami degradasi seperti perubahan karakteristik, kemunculan mikroba dan dapat mengakibatkan korosif pada tangki penyimpanan (Panjaitan, 2021).

Campuran bahan bakar diesel dengan biodiesel biasanya disebut dengan singkatan BXX, dimana XX mewakili volume (dalam persen) atas campuran bahan bakar biodiesel. Misalnya, campuran dari 80% bahan bakar diesel dan 20% bahan bakar biodiesel disebut dengan B20. Sedangkan, bahan bakar yang sepenuhnya murni berisi biodiesel disebut dengan B100 dan solar murni disebut dengan B0 (ESDM). Pada umumnya, biodiesel dapat diproduksi melalui proses transesterifikasi. Beberapa peneliti menyatakan bahwa biodiesel bersifat lebih higroskopis yang cenderung dapat menyerap air dari lingkungan sekitarnya.

Biodiesel memiliki struktur kimia metil ester yang secara alamiah bersifat lebih polar, sehingga memiliki afinitas terhadap air. Hal tersebut menyebabkan biodiesel

bersifat lebih polar dibandingkan minyak solar atau minyak fosil. FAME (*Fatty Acid Metyl Ester*) dihasilkan dari proses transesterifikasi, dimana terjadi reaksi kimia antara trigliserida dengan alkohol (alkoholis) dengan bantuan katalis basa untuk mempercepat reaksi. Dengan sifat biodiesel yang lebih polar dan hidrofilik, maka dapat dikatakan bahwa biodiesel bersifat higroskopis.

Kandungan air dalam bahan bakar nabati biodiesel merupakan aspek penting dari kualitas biodiesel. Keberadaan air dalam biodiesel dapat bersumber dari proses pemurnian yang belum sempurna pada proses produksi biodiesel. Sifat biodiesel yang higroskopis dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kadar air terlarut. Meningkatnya kadar air dapat dipengaruhi oleh tempat penyimpanan yang belum maksimal, sehingga kadar air pada biodiesel dapat bertambah sampai melebihi standar spesifikasi. Keberadaan air dalam biodiesel dapat diklasifikasikan sebagai air bebas dan air terlarut. Kehadiran air bebas atau emulsi dalam biodiesel dan campurannya dengan minyak solar ditentukan melalui kekeruhan. Kelarutan air biodiesel diketahui sangat bergantung pada suhu dan komposisi bahan bakar (*Patricia Bogalhos, 2012*).

Berdasarkan uraian diatas, kandungan air dalam bahan bakar nabati biodiesel merupakan aspek penting dari kualitas biodiesel. Biodiesel memiliki sifat lebih higroskopis daripada bahan bakar solar. Hal ini dapat membuat bertambahnya kandungan air, sehingga rentan terjadinya degradasi terhadap biodiesel ataupun campurannya dengan minyak solar. Saat ini, masih minim pengetahuan tentang kemampuan mengikat air biodiesel ataupun campurannya dengan minyak solar. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan analisis sifat higroskopis biodiesel - solar melalui kurva saturasi dan laju penyerapan kandungan air pada kondisi terkontrol. Selain itu, pengaruh konsentrasi biodiesel dan kelembapan relatif terhadap sifat higroskopis biodiesel – solar dievaluasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi terkait penyerapan air dari kelembapan pada biodiesel dan campurannya dengan minyak solar.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini yaitu :

- Menentukan kurva saturasi dan laju penyerapan air biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar (B10, B20, B30, B40, B50).

- Menentukan pengaruh kelembapan relatif dan konsentrasi biodiesel terhadap kandungan air biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar (B10, B20, B30, B40, B50.)
- Mengamati perubahan penampakan visual dan gugus fungsi senyawa kimia pada biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar sebelum dan sesudah pengkondisian suhu dan kelembapan.

1.3 Hipotesis

Biodiesel bersifat lebih higroskopis dibandingkan dengan minyak solar akibat gugus karboksil pada biodiesel yang bersifat hidrofilik. Pencampuran biodiesel dengan minyak solar dapat menurunkan tingkat higroskopis dari biodiesel. Konsentrasi biodiesel dan kelembapan relatif berpengaruh terhadap laju penyerapan air pada biodiesel dan biodiesel - solar. Kandungan air bebas dapat mempengaruhi kejernihan dengan timbulnya kekeruhan pada bahan bakar.

1.4 Manfaat Penelitian

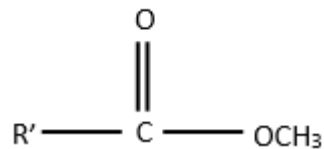
Berdasarkan tujuan diatas, maka manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini yaitu memberikan informasi terkait sifat higroskopis biodiesel dan campurannya dengan minyak solar dalam menyerap air dari kelembapan dengan konsentrasi biodiesel dan kelembapan relatif yang bervariasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar Nabati (Biodiesel)

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang memiliki sifat menyerupai minyak diesel atau solar, sehingga sangat prospektif untuk dikembangkan. Biodiesel bersifat ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan dengan diesel atau solar. Bahan bakar nabati biodiesel dapat terurai (*biodegradable*) sehingga tidak menghasilkan racun (*non-toxic*). Selain itu, biodiesel juga memiliki bilangan asap yang rendah, *cetane number* yang lebih tinggi sehingga pembakaran lebih sempurna (Agung dkk, 2015). Tetapi, biodiesel juga memiliki kelemahan seperti seperti sifat auto-oksidasi karena cahaya, suhu dan kelembapan, stabilitas termal yang buruk, lebih korosif, dan nilai kalor yang lebih rendah. Biodiesel juga bersifat higroskopis, sehingga rentan mengalami degradasi seperti perubahan karakteristik dan kemunculan mikroba pada bahan bakar (Panjaitan, 2021).

Di Indonesia spesifikasi teknis biodiesel diatur dalam SK Dirjen EBTKE No. 189.K/10/DJE/2019. Struktur generik molekul FAME dan biodiesel murni dinotasikan sebagai B100, sedangkan campuran biodiesel dinotasikan dengan BXX yang menyatakan persentase biodiesel dalam campurannya dengan minyak solar. Biodiesel (B100) memiliki sifat-sifat fisika dan kimia yang mirip dengan minyak solar sehingga campuran biodiesel (BXX) dapat digunakan langsung pada motor diesel tanpa modifikasi. (Kementrian ESDM, 2020)



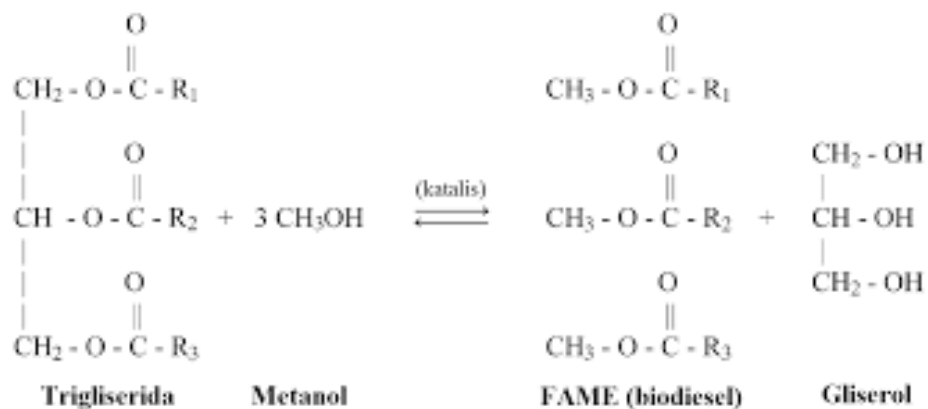
Metil Ester

Gambar 1. Stuktur Molekul Biodiesel

Bahan baku pembuatan biodiesel dapat berasal dari berbagai sumber daya nabati, seperti minyak sawit, jarak pagar, minyak kelapa, dan berbagai tumbuhan lain yang mengandung trigliserida. Kualitas Biodiesel ditentukan oleh kandungan

asam lemak baik jenuh maupun tak jenuh pada minyak nabati maupun hewani sebagai bahan baku. Biodiesel adalah senyawa mono alkil ester yang dapat diproduksi melalui reaksi transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol menjadi *fatty acid metil ester* (FAME) dan gliserol. Struktur molekul metil ester pada biodiesel ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk mempercepat reaksi pada proses transesterifikasi dapat menggunakan katalis basa pada suhu dan komposisi tertentu. (Raden Wahid Hanafi, 2013).

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi *reversible* dan alkohol berlebih bergeser ke kesetimbangan menuju sisi produk. Semakin lama waktu transesterifikasi menyebabkan trigliserida minyak semakin banyak yang terkonversi menjadi metil ester. Hal ini disebabkan oleh jumlah trigliserida yang berkurang dan bereaksi dengan metanol membentuk asam lemak metil ester. Reaksi transesterifikasi sudah dikenal secara luas dan signifikan. Hal ini dapat dikatalisis oleh kedua asam dan basa, dengan katalisis basa menjadi jauh lebih cepat (Soudagar *et al.*, 2018). Reaksi keseluruhan yang reversibel ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi terjadi secara bertahap, dimulai dari bahan awal triasilgliserol melalui digliserol dan monoasilgliserol menjadi gliserol, dengan metil ester yang terbentuk pada setiap langkah. Spesifikasi biodiesel yang saat ini dipasarkan di Indonesia diatur oleh pemerintah berdasarkan SK Dirjen EBTKE No. 189.K/10/DJE/2019 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Mutu Bahan Bakar Nabati Biodiesel

No	Parameter Uji	Unit	Spesifikasi Biodiesel		Metode Uji
			Min	Maks	
1	Massa Jenis pada 40°C	kg/m ³	850	890	ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s	2,3	6	ASTM D 445
3	Angka Setana	-	51	-	ASTM D 613
4	Titik Nyala	°C	130	-	ASTM D 93
5	Korosi Bilah Tembaga	Merit		Nomor 1	ASTM D 130
6	Residu Karbon	% massa	-	0,05	ASTM D 4530
7	Temperatur Distilasi 90%	°C	-	360	ASTM D 1160
8	Abu Tersulfatkan	% massa	-	0,02	ASTM D 874
9	Belerang	mg/kg	-	10	ASTM D 5453
10	Fosfor	mg/kg	-	4	AOCS Ca 12-55
11	Angka Asam	mg KOH/g	-	0,4	ASTM D 664
12	Gliserol Bebas	% massa	-	0,02	AOCS Ca 14-56
13	Gliserol Total	% massa	-	0,24	AOCS Ca 14-56
14	Kadar Ester Metil	% massa	96,5	-	SNI 7182:2015
15	Angka Iodium	% massa	-	115	AOCS Cd 1-25
16	Stabilitas Oksidasi				
	- Metode rancimat	Menit	600	-	EN 15751
17	Monogliserida	% massa	-	0,55	SNI 7182:2015
18	Warna	-	-	3	ASTM D 1500
19	Kadar Air	ppm	-	350	ASTM D 6304
20	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang	Jernih dan Terang	Visual
21	Logam I (Na + K)	mg/kg	-	5	EN 14108
22	Logam II (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	EN 14108/EN14538
23	Total Kontaminan	mg/L	-	20	ASTM D 6217

Sumber : SK Dirjen EBTKE No. 189.K/10/DJE/2019

2.2 Bahan Bakar Minyak Solar

Minyak solar adalah fraksi minyak bumi berwarna kuning coklat yang jernih yang mendidih sekitar 175-370 °C dan dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Minyak solar merupakan campuran kompleks hidrokarbon C14 – C18, yang mempunyai trayek didih antara 260–315 °C. Minyak solar mengandung belerang dengan kadar yang cukup tinggi. Pada umumnya, penggunaan minyak solar digunakan untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm). Secara umum, minyak solar mudah teratomisasi menjadi butiran-butiran halus sehingga dapat segera menyala dan terbakar dengan sempurna sesuai dengan kondisi dalam ruang bakar mesin. Beberapa batasan sifat-sifat minyak solar, baik sifat fisika maupun sifat kimia yang harus dipenuhi di dalam penggunaannya adalah sebagai berikut.

- Mempunyai kemampuan pengkabutan yang sempurna.
- Memiliki kemampuan *start up* mesin dalam keadaan dingin.
- Tidak menimbulkan pencemaran udara

Bahan bakar minyak solar yang beredar dipasaran di Indonesia yaitu Solar 48 dan Solar 51. Bahan bakar solar 48 yaitu bahan bakar yang mempunyai angka setana CN (*Cetane Number*) minimal 48. Sedangkan Solar 51 yaitu bahan bakar minyak solar yang mempunyai angka setana minimal 51. Mutu minyak solar yang baik yaitu minyak solar yang memenuhi batasan sifat – sifat yang tercantum pada spesifikasi dalam segala cuaca. Spesifikasi nasional di setiap negara dapat sedikit berbeda. Hal itu dikarenakan perbedaan kondisi pada masing-masing negara, seperti jenis dan populasi kendaraan, ketersediaan minyak bumi sebagai bahan baku, kemampuan kilang, sistem distribusi, faktor ekonomis dan peraturan keselamatan kerja (Yuwono & Rahardjo, 2010).

Spesifikasi bahan bakar minyak jenis minyak solar yang dipasarkan di Indonesia mengacu pada SK Dirjen Migas No. 146.K/10/DJM/2020 yang ditunjukkan pada Tabel 2. Tujuan standar mutu ini yaitu untuk mendapatkan kepastian mutu agar spesifikasi solar murni yang ditetapkan pemerintah dapat digunakan sesuai dengan kondisi dan iklim di Indonesia.

Tabel 2. Standar Mutu Minyak Solar Di Indonesia

No.	Karakteristik	Unit	Batasan Mutu B0		Batasan Mutu B30		Metode Uji
			Min.	Maks.	Min.	Maks.	
1	Massa Jenis Pada 40° C	Kg/m ³	815	870	815	880	ASTM D 4052
2	Viskositas Kinematik pada 40° C	Mm ² /s	2	4,5	2	5	ASTM D 445
3	Angka Setana		48	-	48	-	ASTM D 613
4	Titik Tuang	°C	-	18	-	18	ASTM D 97
5	Titik Kabut	°C	-	18	-	18	ASTM D 5773
6	Titik Nyala	°C	52	-	52	-	ASTM D 93
7	Residu Karbon	% massa	-	0,1	-	0,1	ASTM D 4530
8	Temperatur Distilasi 90%	°C	-	370	-	370	ASTM D 86
9	Kandungan Sulfur	%m/m	-	0,25	-	0,25	ASTM D 4294
10	Bilangan Asam Kuat	Mg KOH/g	-	0	-	0	ASTM D 664
11	Bilangan Asam Total	Mg KOH/g	-	0,6	-	0,6	ASTM D 664
12	Stabilitas Oksidasi	Jam	35	-	35	-	EN 15751
13	Lubrisitas HFFR	Micron	-	460	-	460	ASTM D 6079
14	Warna	No. ASTM	-	3	-	3	ASTM D 1500
15	Kandungan FAME	%v/v	-	20	30	-	ASTM D 7806
16	Kandungan Abu	%m/m	-	0,01	-	0,01	ASTM D 482
17	Penampilan Visual	-	Jernih dan Terang		Jernih dan Terang		Visual
18	Kadar Air	Mg/kg	-	500	-	425	ASTM D 6304

Sumber : SK Dirjen Migas No. 146.K/10/DJM/2020

2.3 Campuran Biodiesel dan Minyak Solar (Biosolar)

FAME (*Fatty Acid Metyl Ester*) atau biodiesel murni dinotasikan sebagai B100 dan Solar murni dinotasikan sebagai B0. Sedangkan campuran biodiesel dinotasikan dengan BXX yang menyatakan persentase biodiesel dalam campurannya dengan minyak solar. Seperti misalnya B30, yaitu dimaksudkan sebagai biodiesel 30% dan minyak solar 70%. Biodiesel (B100) memiliki sifat - sifat fisika dan kimia yang mirip dengan minyak solar. sehingga campuran biodiesel - solar dapat digunakan langsung pada motor diesel tanpa modifikasi. Biodiesel dan minyak solar memiliki perbedaan sifat dan karakteristik seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan Sifat dan Karakteristik Biodiesel dan Minyak Solar

Biodiesel (B100)	Minyak Solar (B0)
Terbarukan, diproduksi dari minyak nabati	Tidak terbarukan, diproduksi dari minyak bumi atau sumber daya fosil lain
Terdiri atas campuran ester metil asam-asam lemak jenuh dan tidak jenuh	Terdiri dari senyawa hidrokarbon dengan panjang rantai C14-C18
Bersifat sebagai pelarut (<i>mild solvent</i>) yang sedikit polar sehingga cenderung melarutkan air	Bersifat non-polar, tidak larut dalam air dan tidak melarutkan air
Kandungan sulfur sangat rendah	Kandungan sulfur tinggi
Terdapat kandungan oksigen (O ²) dalam biodiesel	Tidak ada kandungan oksigen (O ²) dalam senyawa
Biodegradable	Sangat sulit terdegradasi
Kestabilan terhadap oksidasi sedang	Kestabilan terhadap oksidasi tinggi
Berpengaruh terhadap material karet alam, dan aspalt, dipengaruhi oleh logam (katalis oksidasi),	Praktis tak berpengaruh pada karet alam dan aspalt serta tak dipengaruhi oleh logam (katalis oksidasi),
Lebih aman disimpan karena titik nyala lebih tinggi	Titik nyala rendah sehingga harus disimpan dengan baik
Berat jenis lebih berat dari B0	Berat jenis relatif lebih ringan dari B100

(ESDM, 2020)

Berdasarkan bentuk rantai karbon dan jenis ikatannya, minyak solar tergolong hidrokarbon alifatik yang memiliki rantai terbuka dengan ikatan tunggal (jenuh) ataupun ikatan rangkap (tak jenuh). Sedangkan pada biodiesel terdapat senyawa organik yaitu ester yang terbentuk melalui penggantian satu atau lebih atom hidrogen pada gugus karboksil dengan suatu gugus organik (biasa dilambangkan dengan R^{''}). Senyawa ester dapat dimanfaatkan sebagai pembersih kotoran, misalnya kerak pada dinding tangki penyimpanan. Biodiesel merupakan salah satu senyawa ester *fatty acid methyl esters* yang juga memiliki sifat dan karakteristik mirip dengan minyak solar sehingga apabila dicampurkan dengan minyak solar dapat meningkatkan kualitas minyak solar. Adapun signifikansi atau konsekuensi dari pencampuran biodiesel dengan minyak solar seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Signifikansi Pencampuran Biodiesel dengan Minyak Solar

NO	Sifat dan Parameter	Keterangan
1	Kandungan Oksigen pada senyawa - senyawa penyusun biodiesel	- Menaikkan angka setana sehingga meningkatkan kesempurnaan pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar mesin
2	Tingkat kadar ester metil asam - asam lemak tak jenuh ganda dalam biodiesel.	- Berakibat buruk pada tingkat kestabilan biodiesel terhadap oksidasi. - Dapat diredam dengan pembubuhan aditif antioksidan. - Tingkat kestabilan yang rendah terhadap oksidasi menyebabkan biodiesel mudah naik angka asam dan kadar airnya dan membentuk <i>sludge</i> apabila disimpan dalam jangka waktu lama
3	Bahan sedikit polar yang dapat melarutkan sedikit air	- Mampu mengikat uap air dari udara di atas badan cairan selama proses penyimpanan

		<ul style="list-style-type: none"> - Mempengaruhi kejernihan biodiesel - Menginisiasi korosi pada logam tertentu
4	Kemampuan melarutkan (<i>solvency</i>) yang disebabkan senyawa ester	<ul style="list-style-type: none"> - Memiliki kemampuan membersihkan kerak dari logam material pipa atau tangki penyimpanan - Mempengaruhi beberapa material elastomer (karet alami, dan sejenisnya) - Mengakibatkan pembengkakan (<i>swelling</i>) pada material karet karena proses “<i>cross-linking</i>” oleh senyawa ester
5	Senyawa organik yang mudah terkontaminasi oleh mikroba	<ul style="list-style-type: none"> - Terjadi bila biodiesel disimpan dalam jangka waktu lama - Dipicu dengan akumulasi air di dasar tangki - Bisa menyebabkan degradasi kualitas biodiesel

(ESDM, 2020)

2.4 Sifat Higroskopis Biodiesel

Higroskopis adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui absorpsi atau adsorpsi. Suatu zat disebut higroskopis jika zat itu mempunyai kemampuan menyerap molekul air yang baik. Hal ini dikarenakan bahan - bahan higroskopis memiliki afinitas yang kuat terhadap kelembapan udara. Oleh karena itu, biasanya bahan tersebut disimpan dalam wadah tertutup. Hubungan antara kadar air dan higroskopis sangat erat. Kadar air yang meningkat akan diikuti dengan higroskopis yang meningkat, karena higroskopis merupakan kecenderungan suatu bahan untuk menyerap uap air di lingkungan sekitarnya (Yuwono & Susanto, 1998)

Biodiesel secara alami memiliki sifat higroskopis yang cenderung dapat menyerap kelembapan dari lingkungan sekitarnya. Sebuah studi oleh *Lapuerta et*

al, membuktikan bahwa keberadaan air di udara mempengaruhi terjadinya degradasi biodiesel melalui peningkatan kadar air dalam bahan bakar dan menjelaskan bahwa biodiesel lebih higroskopis daripada bahan bakar solar. Kadar air yang tinggi pada biodiesel dapat menyebabkan penurunan panas pembakaran. Selain itu, keberadaan kandungan air ini dapat memicu reaksi hidrolisis pada FAME sehingga membentuk asam - asam lemak bebas yang dapat menyebabkan korosi pada logam dan air dapat mengkristal pada suhu dingin. Sehingga menyebabkan penyumbatan filter bahan bakar dan saluran bahan bakar pada mesin. (*He et al*, 2007)

Sifat higroskopis biodiesel dapat menyebabkan peningkatan kadar air terlarut selama produksi dan penyimpanan (*Fregolente et al*, 2010). Selama produksi biodiesel, air digunakan untuk menghilangkan katalis, sabun dan sisa gliserol. Kandungan air yang tersisa akan dibuang melalui evaporator atau pengering vakum. Biodiesel dapat menyerap lebih banyak kelembapan dibandingkan minyak solar karena terdapat *fatty acid methyl esters* (FAME) yang merupakan senyawa higroskopis dan bersifat polar. Hal ini membuat biodiesel jauh lebih hidrofilik daripada diesel biasa atau minyak solar. Jumlah maksimum kadar air yang diperbolehkan dalam biodiesel sesuai standar ASTM D6304 adalah 350 ppm.

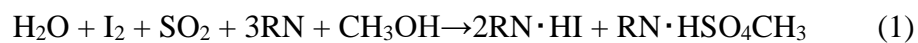
Menurut *He et al*, air bebas atau emulsi pada biodiesel dapat menyebabkan kekeruhan, terutama pada solar yang membuat solar tidak sesuai spesifikasi untuk komersialnya. Kondensasi dan pengendapan air juga dalam bahan bakar dapat terjadi selama penyimpanan dan transportasi. Pada biodiesel dan solar, terdapat kandungan air jenuh. Kadar air jenuh merupakan jumlah maksimum air terlarut yang dapat ditahan oleh bahan bakar pada kondisi suhu, tekanan, dan komposisi bahan bakar tertentu. Kandungan air terlarut dalam campuran biodiesel - diesel diketahui berkorelasi kuat dengan suhu dan rasio campuran.

2.5 Titrator Karl Fisher

Titration *Karl Fischer* adalah suatu metoda titrasi klasik di dalam ilmu kimia organik yang menggunakan titrasi Coulometri atau titrasi volumetri untuk menentukan sejumlah air di dalam suatu sampel. Metode ini telah ditemukan pada tahun 1935 oleh Ahli kimia Jerman yang bernama *Karl Fischer*. Reagen *karl fischer* sangat sensitif terhadap air. Metode ini dapat diaplikasikan untuk analisis

kadar air bahan pangan yang mempunyai kandungan air sangat rendah (seperti minyak/lemak, gula, madu, dan bahan kering).

Reagen *Karl Fisher* yang digunakan harus sesuai dengan spesifikasi dari Komite Reagen Analitik *American Chemical Society*. Reagen lain dapat digunakan dengan syarat reagen harus memiliki kemurnian yang cukup tinggi pada penggunaannya tanpa mengurangi keakuratan. Metode Titrasi *Karl Fischer* Coulometer dapat digunakan untuk mengukur kadar air konsentrasi 1 ppm berdasarkan pada berapa banyak iodine yang di-generate oleh generator *electrode*. Coulometer tidak membutuhkan titran, sehingga tidak perlu melakukan standardisasi. Ketika semua air telah dititrasi, kelebihan yodium dideteksi oleh detektor titik akhir elektrometrik dan titrasi dihentikan. Mekanisme reaksi *pada karl fisher* untuk menentukan kadar air :



Penentuannya berdasarkan atas reduksi iodium oleh sulfur dioksida (SO_2) serta air (H_2O) dengan adanya piridin (basa) dengan metanol. Reaksi Oksidasi ini membutuhkan air. Jumlah kandungan air sebanding dengan jumlah mol iodium yang bereaksi. Dalam pengukuran coulometri, yodium diproduksi secara elektrokimia melalui oksidasi anoda, seperti yang dinyatakan oleh:



Air yang ada dalam sampel dikonsumsi oleh reaksi *Karl Fisher* sampai kelebihan yodium terdeteksi oleh elektroda platinum kembar yang menunjukkan titik akhir titrasi. Jumlah total listrik (muatan) diperlukan untuk melanjutkan proses elektrolisis hingga akhir titrasi, hukum Faraday dapat digunakan untuk menentukan massa air yang dikonsumsi oleh reaksi *Karl Fisher*. Rangkaian *Karl Fischer* Coulometer terdiri dari sel titrasi, elektroda, pengaduk magnet, dan unit control. Bejana titrasi terbuat dari kaca sepenuhnya yang memastikan terjadinya penyimpangan rendah secara unik, sehingga memungkinkan untuk dapat memberikan hasil yang paling akurat dan tepat. Dengan menunjukkan nilai tertentu yang diukur dalam satuan mg/kg, akan menjadi keuntungan dapat untuk mengetahui bahwa sampel cukup baik untuk masuk ke sistem bahan bakar dan ruang bakar tanpa menyebabkan gangguan (ASTM Internasional, 2007) .



Gambar 3. Titrator *Karl Fisher*

2.6 *Climatic Chamber*

Climatic Chamber atau sering disebut *temperature and humidity chamber* adalah alat simulasi atau alat pengujian beberapa kondisi seperti *temperature* (suhu) and *humidity* (kelembapan). Pengujian di suhu bisa pada suhu -40°C sampai suhu 100°C atau 150°C dan menguji pada kondisi *humidity* (kelembapan udara) berkisar antara 20% - 98% RH (*Relative Humidity*). Penggunaan *Climatic Chamber* sangat luas cakupannya, dimana alat ini mempunyai fungsi penting untuk menjamin kualitas produk yang dihasilkan dan sekaligus menguji sejauh mana kehandalan dari produk tersebut dalam rangkaian panjang proses produksi. *Climatic Chamber* atau *temperature and humidity chamber* ini, sering digunakan oleh bagian *Quality Control* (QC dan QA), *departement Quality*, ataupun bagian laboratorium.



Gambar 4. *Climatic Chamber*

Perkembangan *Climatic Chamber (Temperature and Humidity chamber)*, menjadi salah satu syarat penting dalam menentukan secara *Objective Quality* suatu produk sebelum dipasarkan. Hal tersebut membuat alat ini banyak digunakan pada Universitas berbasis Teknik industri, *Research and Development Product*, Industri Kimia, Farmasi, Elektro dan lainnya. *Climatic Chamber* ini dapat digunakan secara luas untuk berbagai terapan ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan pengujian terhadap kestabilan suhu dan kelembapan dan berbagai aspek lainnya yang dipengaruhinya, untuk mengetahui kualitas dari suatu produk tersebut (*Dynatech, 2020*).

BAB III BAHAN DAN METODE

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

A. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan											
		Desember				Januari				Februari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Pemahaman Konsep dan Teori												
2	Persiapan Alat dan Bahan												
3	Pengujian Laboratorium												
4	Pengumpulan dan Analisis Data												
5	Penyusunan Laporan Akhir												

B. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Aviasi di Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”.

3.2 Alat dan Bahan

A. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Titrator *Karl Fisher*, Botol Duran 1 Liter, *Syringe*, Timbangan Analitik, *Climatic Chamber*, Plastik *Wrapping*, Jarum, Pipet, *Tissue*. Kamera Digital.

B. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, Bahan Bakar Biodiesel (B100) / FAME, Bahan Bakar Solar (B0), Reagen *Karl Fisher*.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kurva saturasi air dalam biodiesel dan campurannya dengan minyak solar dengan beberapa variabel seperti komposisi bahan bakar dan derajat kelembapan. Pada penelitian ini digunakan sampel B0 dan B100 dari sisa pengujian rutin Laboratorium Bahan Bakar dan Aviasi di Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi. Uji Karakterisasi dilakukan terlebih dahulu pada B0 dan B100 dengan metode ASTM sebagai acuan diantaranya Densitas, Viskositas, Angka Asam, Titik Nyala, Kadar air dan Stabilitas Oksidasi. Setelah karakteristik dari B0 dan B100 diketahui, dilakukan pencampuran atau *blending* antara biodiesel dengan minyak solar dengan %-volume biodiesel 10, 20, 30, 40, 50%. Pengujian FAME dilakukan pada campuran dengan metode ASTM D7806 untuk memastikan kebenaran persentase biodiesel.

Untuk menganalisis sifat higroskopis dari biodiesel dan campurannya dengan minyak solar, dilakukan pengujian pengkondisian suhu dan kelembapan menggunakan *Climatic Chamber* dengan suhu tetap 25 °C dan kelembapan relatif 60% ,75% dan 90% per 6 jam selama 14 hari percobaan. Pengujian Kadar Air (*water content*) dilakukan menggunakan Alat Titrator *Karl Fisher*. Kadar air dievaluasi setiap 6 jam percobaan untuk mendapatkan laju penyerapan dari masing-masing sampel. Penampakan Visual dan Analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan sebelum dan sesudah pengujian pengkondisian suhu dan kelembapan. Analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi secara kualitatif dalam suatu senyawa kimia yang terdapat pada biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar.

3.3.1 Persiapan Bahan Bakar Biodiesel (B100) dan Minyak Solar (B0)

Persiapan sampel ini meliputi pengambilan dan pemilihan yang bertujuan untuk menentukan sampel yang akan digunakan untuk pengujian. Sampel yang akan digunakan adalah biodiesel murni dan minyak solar murni, yang merupakan sampel sisa dari pengujian rutin yang terdapat pada gudang Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”. Dibutuhkan sampel biodiesel murni sebanyak 8 liter dan minyak solar murni sebanyak 15 liter untuk pengujian.

3.3.2 Karakterisasi Sampel Biodiesel (B-100) dan Minyak Solar (B0)

Karakterisasi sampel dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal sebelum pencampuran antara biodiesel (B100) dan minyak solar (B0). Parameter yang diperhatikan diantaranya; Densitas, Viskositas, Angka Asam, Titik Nyala, Kadar air dan Stabilitas Oksidasi. Spesifikasi biodiesel mengacu pada SK Direktur Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) No. 189 Tahun 2019 yang mengatur tentang spesifikasi bahan bakar nabati jenis Biodiesel yang dipasarkan di dalam negeri. Sedangkan spesifikasi minyak solar ditetapkan pada keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 146.K/10/DJM/2020. Metode karakterisasi biodiesel dan minyak solar ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Metode Uji Karakterisasi Biodiesel dan Minyak Solar

No	Parameter Uji	Metode Uji
1	Densitas	ASTM D 4052
2	Viskositas	ASTM D 445
3	Kadar Air	ASTM D 6304
4	Titik Nyala	ASTM D 93
5	Angka Asam	ASTM D 664
6	Stabilitas Oksidasi	EN 15751

3.3.3 Formulasi Blending

Bahan bakar uji terdiri dari variasi formula komposisi yang ditampilkan pada Tabel 7. Formulasi bahan bakar dicampurkan dengan perbandingan %-volume antara campuran Minyak Solar (B0) dan Biodiesel (B100). Dilakukan pencampuran bahan bakar biodiesel dan minyak solar dengan %-volume biodiesel 10, 20, 30, 40, 50%. Verifikasi dilakukan pada setiap pencampuran dengan mengukur nilai kandungan FAME dari bahan bakar untuk memastikan kesesuaian formulasi. Pengujian FAME dilakukan pada campuran dengan metode ASTM D7806.

Tabel 7. Persentase Campuran Biodiesel dan Minyak Solar

Minyak Solar (%-volume)	Biodiesel (%-volume)	Kode Sampel
100	0	B0
90	10	B10
80	20	B20
70	30	B30
60	40	B40
50	50	B50
0	100	B100

3.3.4 Pengujian Pengkondisian Suhu dan Kelembapan

Pengujian Pengkondisian Suhu dan Kelembapan ini bertujuan untuk dapat menentukan kurva saturasi dan laju penyerapan biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar menyerap air pada suhu dan kelembapan terkontrol. Pada dasarnya, biodiesel memiliki sifat yang higroskopis. Higroskopis adalah kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui absorpsi atau adsorpsi. Biodiesel bersifat lebih higroskopis dibandingkan dengan minyak solar, sehingga rentan mengalami degradasi seperti meningkatnya kadar air ketika berinteraksi dengan udara. Keberadaan air dapat menyebabkan kemunculan mikroba pada bahan bakar dan kekeruhan atau munculnya kabut akibat air bebas pada solar dan biodiesel. Pada pengujian ini, sampel yang diuji diantaranya minyak solar (B0), biodiesel (B100) dan biodiesel - solar (B10, B20, B30, B40, B50). Pengujian dilakukan pada suhu tetap 25 °C dan relatif kelembapan 60%, 75% dan 90% dalam 6 jam sehari selama 14 hari percobaan.

Pada uji pengkondisian suhu dan kelembapan digunakan alat yaitu *Climatic Chamber* atau *Temperatur and Humadity Chamber*. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan kelembapan relatif 60%, 75% dan 90%. Sampel yang akan diuji dimasukkan ke dalam botol duran 1 liter. Lubang botol ditutup menggunakan *plastic wrapping* hingga rapat dan dilubangkan dengan jarum. Kemudian, sampel

dimasukkan ke dalam *Climatic Chamber*. Pengujian ini meliputi tiga analisa yaitu kadar air per 6 jam, penampakan visual dan analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) sebelum dan sesudah pengujian.

- Uji Kadar Air Dengan Titrator *Karl Fisher* Coulometer

Pengujian kadar air dilakukan per 6 jam sesudah uji pengkondisian suhu dan kelembapan. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh nilai kadar air yang terkandung dalam biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar. Pengujian kadar air ini berpacu pada ASTM D 6304. Pada pengujian ini, digunakan alat Titrasi *Karl Fisher* dengan metode Coulometer. Prinsip kerja pengujian ini, sampel diinjeksikan kedalam larutan *Karl Fischer* dan dititrasi hingga menghasilkan iodium. Kelebihan iodium akan dideteksi oleh detektor sebagai titik akhir titrasi, jumlah kandungan air sebanding dengan jumlah mol iodium yang bereaksi.

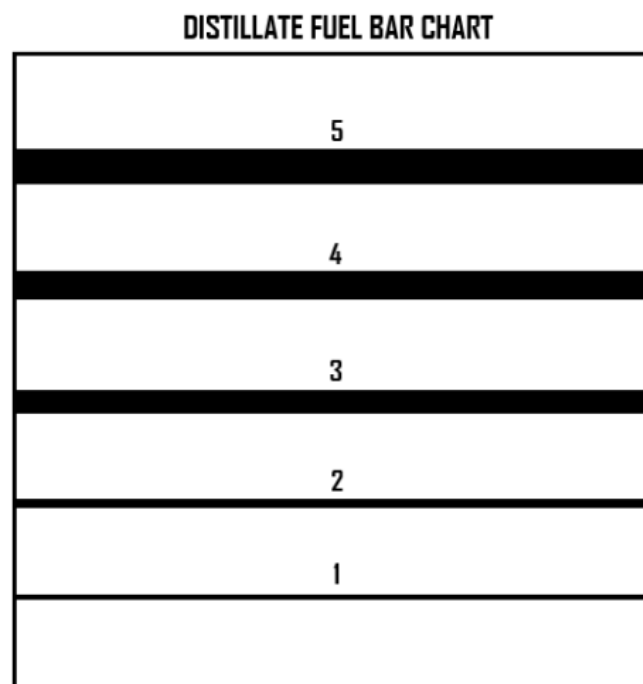
Sampel yang akan diuji dihisap menggunakan *syringe* sebanyak empat kali pengulangan, untuk pengulangan pertama dan ketiga digunakan untuk *flusshing* atau pembilasan agar tidak ada sisa - sisa sampel sebelumnya. Pada pengulangan keempat sampel dihisap sepertiga bagian tanpa adanya gelembung pada sampel. Adanya gelembung udara pada *srynge* akan mempengaruhi hasil titrasi. Sampel dalam *srynge* ditimbang dengan timbangan analitik untuk mengetahui bobot sebelum dan sesudah pengijeksian ke dalam alat titrasi *Karl Fisher*. Selisih bobot sampel akan digunakan untuk penginputan bobot sampel pada tampilan layar alat. Sampel diinjeksikan pada alat titrasi cukup dengan dua sampai tiga tetes. Setelah titrasi selesai, akan diperoleh nilai kadar air sampel pada layar tampilan alat.

- **Penampakan Visual**

Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis sifat fisika biodiesel, minyak solar dan biodiesel - solar meliputi kejernihan sampel sebelum dan setelah uji pengkondisian suhu dan kelembapan. Pada umumnya, bahan bakar harus dalam kondisi yang bersih dan terang atau suatu kondisi di mana bahan bakar bebas dari kabut atau kekeruhan. Air bebas dapat menyebabkan emulsi atau munculnya kabut pada solar dan biodiesel membuat bahan bakar tidak memenuhi spesifikasi untuk didistribusi. Pada pengujian ini dilakukan dengan mengacu kepada ASTM D 4176.

Kejernihan atau kebersihan bahan bakar dari kontaminasi partikulat dapat dinilai dengan menempatkan diagram batang standar di belakang sampel dan

membandingkan penampilan visualnya. *Distillate fuel bar chart* menjadi parameter bersih atau jernihnya bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 5. *Distillate fuel bar chart* memiliki kriteria warna garis, lebar, dan spasi yang berbeda. Kelima garis hitam pada diagram terdapat lebarnya yang bertambah, dimulai dengan garis pertama yang paling tipis mempunyai lebar 0,6 mm, garis kedua selebar 1,6 mm, dan setiap garis berikutnya selebar 1,6 mm hingga maksimum 6,4 mm. Rangkaian *Distillate fuel bar chart* ini merupakan standar pengujian kejernihan pada sampel dengan tingkat kejernihan yang berbeda. Garis pada *Distillate fuel bar chart* terdapat nomor dari 1 sampai 5, dengan garis tertipis terdapat pada nomor 1 sedangkan garis tertebal yaitu pada nomor 5.



(ASTM D 4176)

Gambar 5. *Distillate Fuel Bar Chart*

Percobaan dilakukan dengan mendekatkan sampel ke cahaya, pengamatan dilakukan secara visual untuk menganalisis adanya keberadaan timbul kabut atau kekeruhan pada sampel. Pengambilan gambar kejernihan visual perlu dilakukan untuk membedakan kejernihan awal dan sesudah pengujian suhu dan kelembapan terkendali. Wadah sampel ditempatkan pada keadaan yang cukup terang, dan terhindar dari pantulan cahaya pada bagian depan wadah. *Distillate fuel bar chart*

ditempatkan pada bagian belakang botol, dengan garis mengarah ke wadah dan sejajar dengan dasar botol. Penempatan *Destillate fuel bar chart* ditempatkan dengan garis tersempit pada diagram berada dibagian bawah dan bagian garis tebal di bagian atas. Kejernihan dan kebersihan sampel bahan bakar ditandai dengan ketebalan garis pada *Destilatte fuel bar chart*, dengan membandingkan foto sampel sebelum dan sesudah percobaan.

- **Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)**

Analisis dengan menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) bertujuan untuk mengamati perubahan gugus fungsi atau senyawa kimia yang terkandung pada sampel. Analisis dilakukan sebelum dan sesudah pengujian pengkondisian suhu dan kelembapan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kurva saturasi dan laju penyerapan kandungan air pada biodiesel dan campurannya dengan minyak solar dalam kondisi terkontrol. Dalam pelaksanaannya dilakukan karakterisasi awal terlebih dahulu terhadap biodiesel dan minyak solar. Kemudian, dilanjutkan proses pencampuran biodiesel dengan minyak solar. Pencampuran dilakukan dengan %-volume Biodiesel murni (B100) yaitu 10, 20, 30, 40 dan 50% di dalam Minyak Solar (B0). Verifikasi dilakukan pada setiap pencampuran dengan mengukur nilai kandungan FAME dari bahan bakar untuk memastikan kesesuaian formulasi. Biodiesel (B100), minyak solar (B0) dan campuran biodiesel - solar diuji dengan berbagai variasi kelembapan yaitu 60%, 75% dan 90%. Pengujian dilakukan per 6 jam dalam 14 hari. Setiap 6 jam pengujian, dilakukan evaluasi terhadap kadar air untuk memperoleh laju penyerapan dan kurva saturasi pada masing - masing sampel.

4.1 Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel dan Minyak Solar

Pada penelitian ini digunakan sampel yaitu biodiesel (B100) dan minyak solar (B0) yang didapat dari sampel pengujian rutin di Laboratorium Bahan Bakar dan Aviasi. Sampel biodiesel dan minyak solar berasal dari salah satu perusahaan bahan bakar yang ada di Indonesia. Biodiesel dan minyak solar di karakterisasi terlebih dahulu untuk mengetahui karakterisasi awal sebelum dilakukan pengujian dalam kondisi terkontrol. Biodiesel yang digunakan pada penelitian ini yaitu biodiesel yang berasal dari minyak sawit. Minyak nabati pada umumnya terdapat lima jenis asam lemak yaitu asam stearat, asam palmitat, asam oleat, asam linoleat dan asam linolenat. Asam stearat dan asam palmitat termasuk jenis asam lemak jenuh, asam oleat, asam linoleat, asam linolenat termasuk asam lemak tak jenuh, jika asam lemak terlepas dari trigliseridanya maka akan menjadi lemak asam bebas (Tim Departemen Teknologi Pertanian, 2005).

Spesifikasi biodiesel mengacu pada SK Direktur Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) No. 189 Tahun 2019 yang mengatur tentang spesifikasi bahan bakar nabati jenis Biodiesel yang dipasarkan di dalam negeri. Sedangkan spesifikasi minyak solar ditetapkan pada keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 146.K/10/DJM/2020 yang mengatur

tentang spesifikasi minyak solar yang beredar di Indonesia. Karakteristik pada biodiesel dan minyak solar yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 8. Beberapa parameter penting dari biodiesel dan minyak solar diantaranya kadar air, titik nyala, angka asam, densitas, viskositas dan stabilitas oksidasi.

Berdasarkan hasil pengujian, biodiesel memiliki kadar air yang lebih tinggi daripada minyak ditunjukkan dengan nilai kadar air yang lebih tinggi sebesar 190 ppm, sedangkan pada minyak solar nilai kadar air sebesar 61 ppm. Kadar air biodiesel yang lebih tinggi disebabkan karena adanya senyawa kimia metil ester yang secara alami bersifat lebih polar, sehingga memiliki afinitas terhadap air. Diperoleh kandungan asam biodiesel lebih rendah dibandingkan dengan minyak solar. Kandungan asam pada biodiesel berasal dari penyusun utama minyak yaitu asam karboksilat, sedangkan kandungan asam pada minyak solar dapat berasal dari kandungan sulfur yang teroksidasi oleh air. Massa jenis dan viskositas biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Hal ini dikarenakan biodiesel merupakan minyak nabati yang sifatnya lebih kental daripada minyak solar.

Tabel 8. Karakteristik Biodiesel dan Minyak Solar

No	Karakteristik	Unit	Metode	Biodiesel (B100)		Minyak Solar (B0)	
				Batasan Mutu	Hasil Uji	Batasan Mutu	Hasil Uji
1	Kadar Air	ppm	ASTM D 6304	Maks. 350	190,3	maks. 500	61,9
2	Angka Asam	mg KOH/g	ASTM D 664	Maks. 0,4	0,075	maks. 0,6	0,099
3	Densitas	kg/m ³	ASTM D 4052	850-890	856	815-870	840
4	Viskositas	mm ² /s	ASTM D 445	2,3-6	3,8	2,0-5,0	3,3
5	Titik Nyala	°C	ASTM D 93	130	170	52	87
6	Stabilitas Oksidasi	menit	EN 15751	600	494	35	60

4.2 Verifikasi Hasil Blending Biodiesel – Solar (BXX)

Pada penelitian ini digunakan dua jenis bahan bakar, yaitu bahan bakar biodiesel (B100) dan minyak solar (B0). Umumnya, biodiesel dihasilkan dari proses transesterifikasi minyak sawit, sedangkan minyak solar dihasilkan dari

proses penyulingan minyak bumi. Pencampuran dilakukan berdasarkan volume untuk membuat beberapa formulasi pencampuran yaitu 10, 20, 30, 40, 50% kandungan biodiesel pada minyak solar.

Verifikasi dilakukan pada setiap pencampuran dengan mengukur nilai kandungan FAME dari bahan bakar untuk memastikan kesesuaian formulasi. Kandungan biodiesel diverifikasi dengan menggunakan metode *Fatty Acid Methyl Ester analyzer* (FAME) ASTM D7806. Formulasi dan verifikasi biodiesel pada campuran biodiesel - solar ditunjukkan pada Tabel 9.

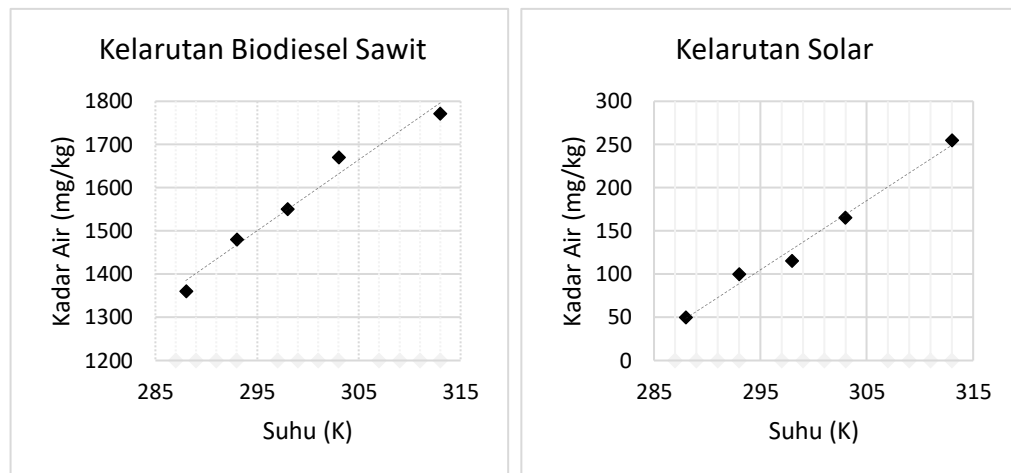
Tabel 9. Kandungan FAME Pada Biodiesel - Solar

Kode Bahan Bakar	Persentase Biodiesel di Dalam Minyak Solar (%-volume)	Kandungan FAME (%)
B0	0	0.78
B10	10	10.90
B20	20	20.12
B30	30	29.31
B40	40	39.56
B50	50	> 45
B100	100	> 45

4.3 Kurva Saturasi Bahan Bakar Solar, Biodiesel dan Biodiesel - Solar

Bahan bakar biodiesel dan minyak solar memiliki kemampuan nilai kandungan air maksimum yang dapat dipertahankan pada suhu tertentu. Penelitian yang dilakukan oleh Abdurrojaq (2023), diperoleh saturasi maksimum minyak solar pada suhu 313,5 K sebesar 255 mg.kg⁻¹. Biodiesel minyak sawit memiliki saturasi air maksimum sebesar 1771 mg.kg⁻¹ pada suhu 313,15 K.

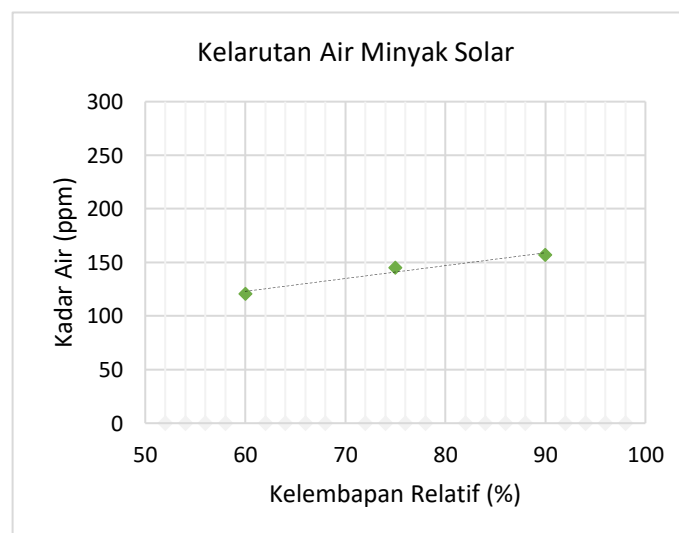
Pengujian ini dilakukan selama 8 hari. Kurva saturasi air maksimum ditunjukkan pada Gambar 6. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya kadar air pada solar dan biodiesel bergaris lurus dengan tingginya suhu penyimpanan (Abdurrojaq, 2023).



Sumber : Abdurrojaq (2023)

Gambar 6. Kurva Saturasi Air Maksimum Biodiesel dan Minyak Solar

Dalam penelitian ini, dilakukan percobaan untuk menentukan kurva saturasi dan laju penyerapan pada biodiesel, solar dan campuran biodiesel - solar. Percobaan dilakukan dengan suhu dan kelembapan relatif yang terkontrol. Suhu yang digunakan adalah suhu tetap 25 °C, yang merupakan kisaran suhu normal di Indonesia. Kelembapan relatif (RH) digunakan secara bervariasi yaitu 60%, 75% dan 90%.



Gambar 7. Kurva Saturasi Air Minyak Solar Per 6 Jam Selama 14 Hari

Kurva saturasi minyak solar per 6 jam selama 14 hari ditunjukkan pada Gambar 7. Dari hasil yang dianalisis, menunjukkan peningkatan kandungan air minyak solar terendah berada pada RH60% dengan persamaan regresi (1) dan nilai R^2 sebesar 0,9915. Sedangkan peningkatan tertinggi berada pada RH90%, dengan persamaan

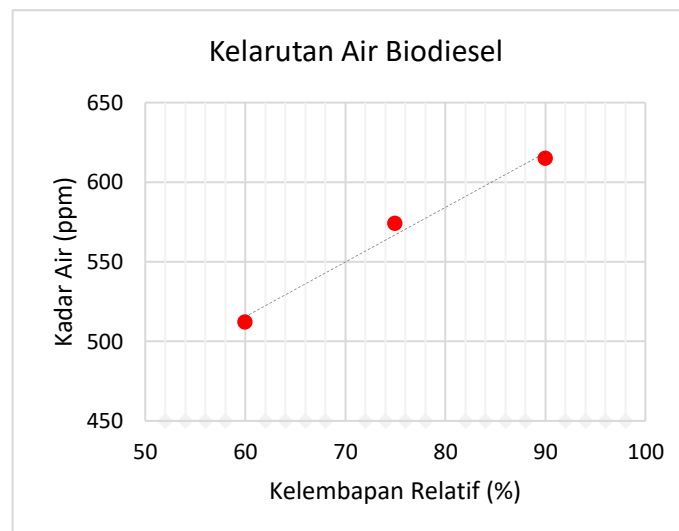
regresi (2) dan nilai R^2 cukup tinggi sebesar 0,9919 (mendekati 1). Meningkatnya kandungan air pada minyak solar dapat dipengaruhi oleh uap air di lingkungan yang mengalami kondensasi. Bahan bakar solar mengandung hidrokarbon minyak bumi yang sebagian besar terdiri dari senyawa organik yang mengandung atom karbon hidrogen.

$$y = 4,0198x + 64,352 \quad (1)$$

$$y = 6,8923x + 65,593 \quad (2)$$

Menurut *Fregolente et al*, bahan bakar diesel terdiri dari rantai karbon 11 hingga 17 atom karbon. Dengan rantai karbon yang panjang, menyebabkan bahan bakar diesel lebih disukai oleh molekul non-polar (*Fregolente et al*, 2012).

Biodiesel memiliki sifat lebih higroskopis dibandingkan minyak solar, hal ini menyebabkan biodiesel dapat menyerap lebih banyak air dari lingkungan. Dalam penelitian ini, kadar air awal biodiesel yaitu 190 ppm. Terjadi peningkatan kandungan air biodiesel pada RH60% sebesar 512 ppm, RH75% sebesar 574 ppm dan RH90% meningkat sebesar 615 ppm.



Gambar 8. Kurva Saturasi Air Biodiesel Per 6 Jam Selama 14 Hari

Kurva saturasi biodiesel per 6 jam selama 14 hari ditunjukkan pada Gambar 8. Dari hasil yang dianalisis, menunjukkan bahwa kenaikan air biodiesel yang paling rendah berada pada RH60% dengan persamaan regresi (3) dan nilai R^2 sebesar 0,9902. Sedangkan peningkatan paling tinggi terjadi pada RH90% dengan persamaan (4) dan diperoleh nilai R^2 sebesar 0,9906. Hal ini menunjukkan bahwa

pada biodiesel kelembapan relatif yang tinggi dapat mempengaruhi tingkat higroskopis pada biodiesel.

$$y = 4,0198x + 64,352 \quad (3)$$

$$y = 29,91x + 187,89 \quad (4)$$

Setiap formulasi campuran biodiesel - solar (B10, B20, B30, B40 dan B50) dilakukan percobaan dengan suhu dan kelembapan relatif yang sama dengan percobaan biodiesel dan minyak solar. Kurva saturasi pada biodiesel – solar per 6 jam selama 14 hari ditunjukkan pada Gambar 9. Kadar air awal disetiap formulasi berbeda-beda, hal ini dikarenakan minyak solar memiliki ketahanan terhadap kandungan air yang terdapat pada biodiesel.

Peningkatan kandungan air campuran biodiesel – solar ditunjukkan pada Tabel 10. Kandungan air awal B10 sebesar 102-114 ppm, B20 114-133 ppm, B30 130-141 ppm, B40 138-174 ppm dan B50 sebesar 168-186 ppm. Hal ini menunjukkan semakin besar persentase biodiesel yang ditambahkan dengan minyak solar, maka semakin besar kandungan air pada campuran.

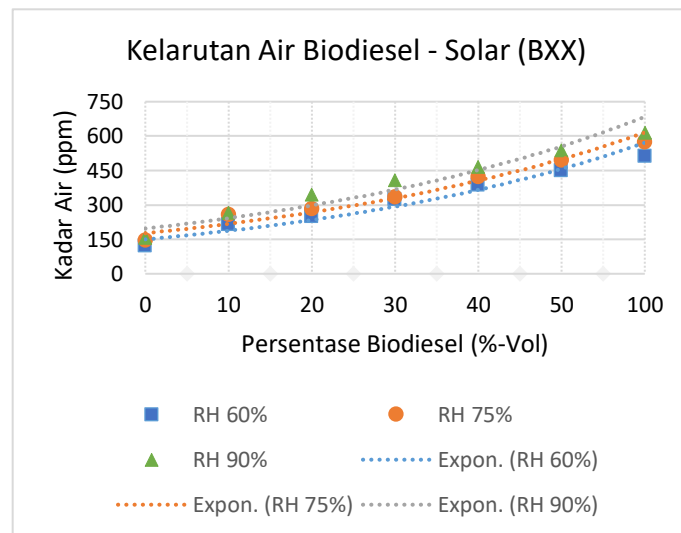
Tabel 10. Peningkatan Kandungan Air Biodiesel – Solar Per 6 Jam Selama 14 Hari

Biodiesel (% - Volume)	Kandungan Air (ppm)					
	RH 60%		RH 75%		RH 90%	
	Awal	Akhir	Awal	Akhir	Awal	Akhir
0	62	121	62	145	62	157
10	114	215	102	258	108	265
20	125	248	114	283	133	345
30	130	324	136	334	141	406
40	138	385	159	423	174	464
50	175	448	168	493	186	538
100	190	512	190	574	190	615

Dari hasil yang dianalisis, menunjukkan terjadinya peningkatan kandungan air biodiesel - solar pada B10 sebesar 215 ppm (RH60%), 258 ppm (RH75%) dan 265 ppm (RH90%). Kandungan air B20 meningkat 248 ppm (RH60%), 283 (RH75%) ppm dan 345 ppm (RH90%). B30 meningkat 324 ppm (RH60%), 334 (RH75%) dan 406 (RH90%). B40 meningkat 385 ppm (RH60%), 423 ppm (RH75%), dan

464 ppm (RH90%). B50 meningkat 448 ppm (RH60%), 493 ppm (RH75%), dan 538 ppm (RH90%).

Hasil analisis menunjukkan bahwa kelembapan relatif berpengaruh terhadap peningkatan kandungan air pada masing - masing formulasi biodiesel - solar. Selain itu, konsentrasi biodiesel juga berpengaruh terhadap meningkatnya kandungan air pada biodiesel - solar. RH60% menjadi tingkat penyerapan air terendah, sedangkan pada RH90% menjadi tingkat penyerapan air tertinggi.



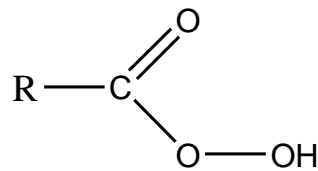
Gambar 9. Kurva Saturasi Air Biodiesel – Solar Per 6 Jam Selama 14 Hari

4.4. Analisis Sifat Higroskopis Biodiesel dan Campurannya Dengan Minyak Solar

Pada dasarnya biodiesel secara alami memiliki sifat yang higroskopis, Higroskopis merupakan kemampuan suatu zat untuk menyerap molekul air dari lingkungannya baik melalui absorpsi ataupun adsorpsi. Biodiesel terdiri dari monoalkil ester dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewani. Asam lemak Metil Ester (FAME) adalah senyawa higroskopis yang membuat biodiesel jauh lebih hidrofilik daripada minyak solar. Hal ini dikarenakan, asam lemak metil ester bersifat polar dari gugus karboksil. Gugus karboksil yang terdapat pada biodiesel berasal dari asam karboksilat, dimana asam karboksilat merupakan komposisi utama pada minyak. Struktur gugus karboksil ditunjukkan pada Gambar 10.

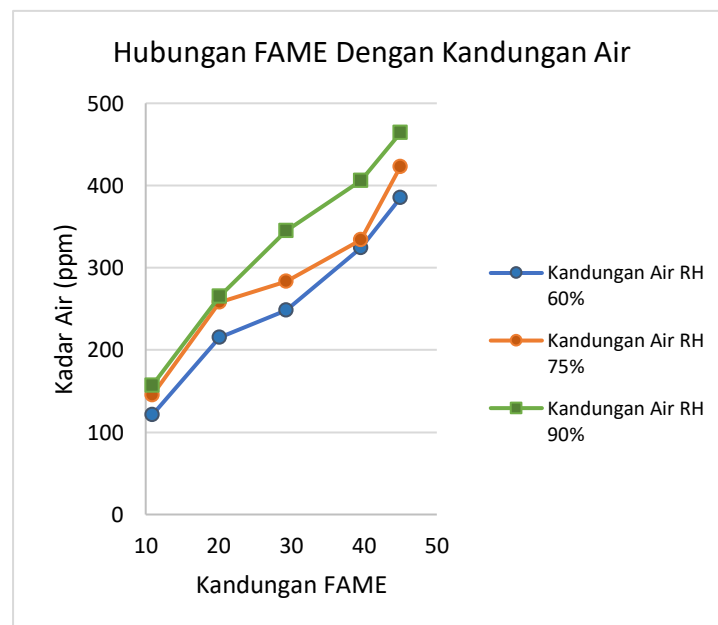
Nilai higroskopis yang meningkat dapat dipengaruhi oleh keberadaan gugus yang bersifat hidrofilik seperti OH^- , COOH^- , dan SO_3^- . Gugus yang bersifat hidrofil

tersebut akan meningkatkan nilai higroskopis karena sifatnya yang menyerap air. Gugus karboksil adalah gugus yang mengandung gugus karbonil dan gugus hidroksil yang mengakibatkan suatu senyawa yang memiliki gugus tersebut dapat mengikat air melalui ikatan hidrogen. Gugus hidroksil (-OH) merupakan gugus fungsi dengan satu atom hidrogen dan satu atom oksigen. Molekul air dan alkohol mengandung gugus hidroksil yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air atau alkohol lain (McHugh, 2003).



Gambar 10. Gugus Karboksil

Gugus karbonil (C-O) adalah gugus fungsi yang terdiri dari ikatan atom karbon dengan atom oksigen. Pada gugus karbonil ini juga dapat membuat biodiesel bersifat polar karena adanya oksigen dalam gugus karbonil. Hal ini dikarenakan atom oksigen lebih elektronegatif daripada atom karbon dan gugus karbonil merupakan dipol bermuatan tetapi polaritasnya lemah.



Gambar 11. Hubungan FAME Dengan Kandungan Air

Hubungan FAME dengan kandungan air ditunjukkan pada Gambar 11. FAME (*Fatty Acid Metil Ester*) merupakan molekul utama biodiesel. Kandungan

FAME akan meningkat seiring besar %-volume biodiesel yang dicampurkan dengan minyak solar. Pada penelitian ini, B10 mengandung FAME paling rendah yaitu 10.90% dan B50 mengandung FAME tertinggi yaitu lebih dari 45%. Berdasarkan hasil yang dianalisis, kandungan FAME pada campuran biodiesel - solar berpengaruh terhadap peningkatan kandungan air di setiap formulasi. Hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kandungan FAME, maka semakin banyak gugus karboksil di dalam biodiesel yang terkandung.

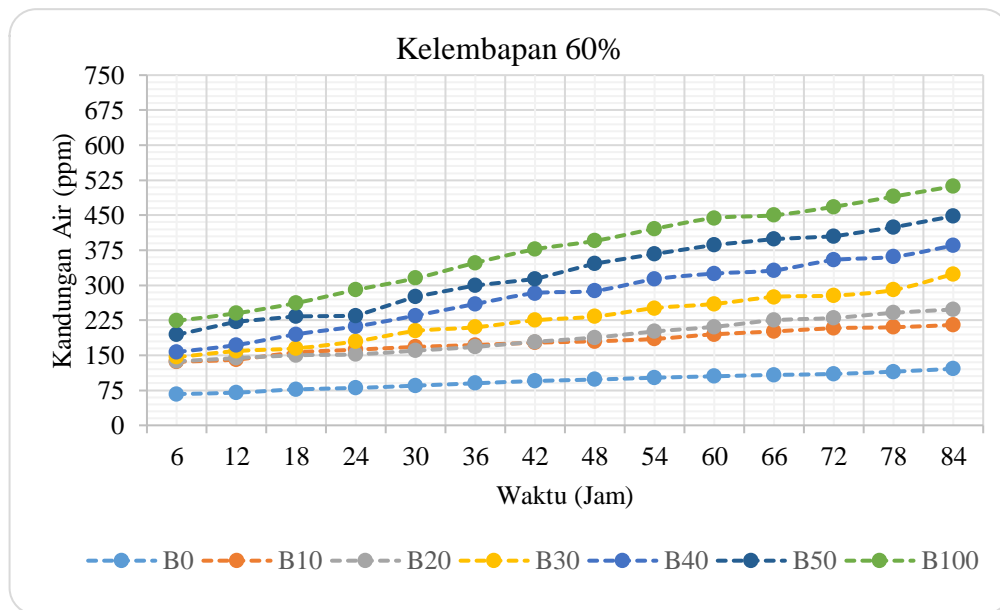
Tabel 11. Kandungan Air RH 60% Per 6 Jam Selama 14 Hari

Kelembapan 60%														
Formulasi	Waktu (6 Jam/Hari)													
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
B0	67	70	77	80	85	90	95	98	102	105	108	110	115	121
B10	136	141	156	162	168	172	177	180	185	195	201	208	210	215
B20	137	144	150	152	160	168	179	188	201	211	225	230	241	248
B30	146	159	165	180	202	210	225	233	251	260	275	278	290	324
B40	157	172	195	212	235	260	283	288	313	325	332	354	361	385
B50	194	222	233	235	276	300	313	346	367	386	399	405	424	448
B100	224	240	262	290	315	348	377	395	421	444	450	468	490	512

Sifat biodiesel yang lebih higroskopis dapat menyebabkan terjadinya peningkatan kandungan air. Hal ini dapat menyebabkan penurunan panas pembakaran, menyebabkan korosi pada logam dan dapat menyumbat filter bahan bakar. Dalam percobaan selama 14 hari, evaluasi dilakukan perhari setiap 6 jamnya untuk mendapatkan jumlah kandungan air per 6 jam yang terserap oleh biodiesel, solar dan biodiesel-solar. *Humidity Chamber* digunakan untuk mengontrol temperatur baik suhu maupun kelembapan. Untuk menentukan kadar air pada biodiesel, solar dan biodiesel-solar digunakan metode Titrasi *Karl Fisher* Coulometer karena kandungan air yang terkandung pada bahan bakar nilainya relatif rendah.

Kandungan air biodiesel murni (B100) meningkat meningkat 4-5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar (B0). Kandungan air biodiesel murni (B100) pada RH60% (Tabel 11) diperoleh nilai rata-rata penyerapan air sebesar 23 ppm/6jam. Kandungan air biodiesel pada RH75% (Tabel 12) diperoleh nilai rata-rata penyerapan air biodiesel sebesar 27 ppm/6jam. Sedangkan kandungan air

biodiesel pada RH90% (Tabel 13) diperoleh nilai rata-rata penyerapan air sebesar 30 ppm/6jam.



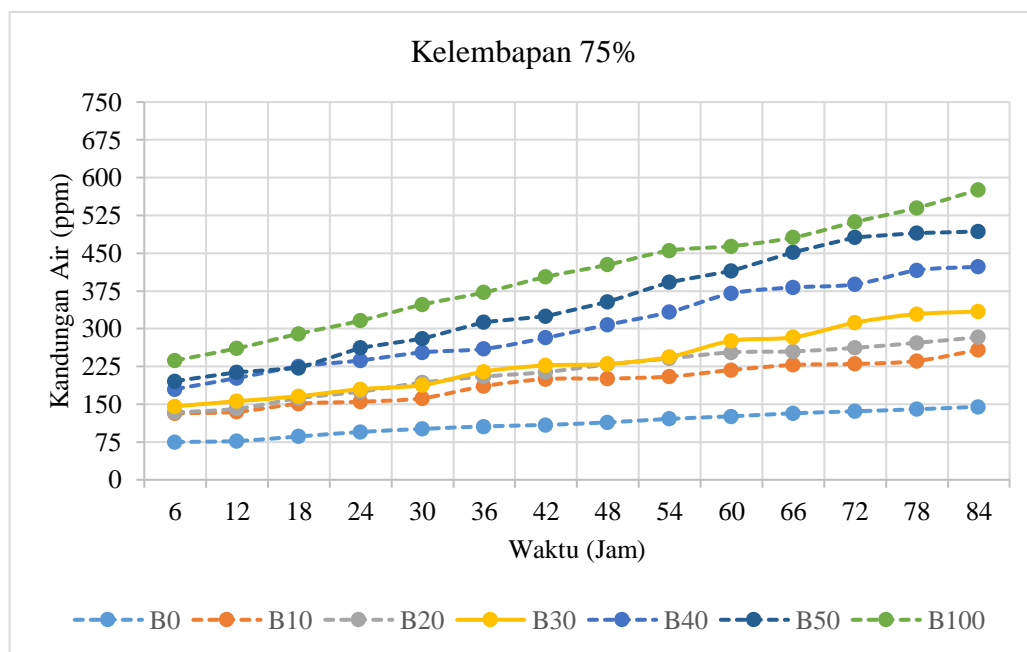
Gambar 12. Kenaikan Kandungan Air RH 60% Per 6 Jam Selama 14 Hari
 Dari hasil yang dianalisis, tingkat penyerapan air B100 paling rendah selama 14 hari percobaan terdapat pada RH60% dengan nilai rata - rata penyerapan air sebesar 23 ppm/6jam. Sedangkan tingkat penyerapan air paling tinggi berada pada RH90% dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 30 ppm/6jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kelembapan relatif yang dikontakkan, maka laju penyerapan air pada biodiesel akan semakin cepat.

Tabel 12. Kandungan Air RH 75% Per 6 Jam Selama 14 Hari

Kelembapan 75%														
Formulasi	Waktu (6 Jam/Hari)													
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
B0	75	77	86	95	101	106	109	114	121	126	132	136	140	145
B10	132	135	151	155	162	186	200	201	205	218	228	230	236	258
B20	134	141	162	175	193	205	214	229	241	253	255	262	272	283
B30	146	156	166	180	188	215	227	230	244	276	283	312	329	334
B40	180	202	225	237	253	260	282	308	333	370	382	388	416	423
B50	196	214	222	262	280	313	325	353	393	415	452	482	490	493
B100	237	261	290	316	348	372	403	427	455	464	481	512	540	574

Disisi lain, pada minyak solar (B0) juga terjadi sedikit peningkatan air. Pada RH60%, kandungan air meningkat dengan rata – rata 4 ppm/6jam. Sedangkan

tingkat penyerapan tertinggi terjadi pada RH90% dengan rata – rata penyerapan air sebesar 7 ppm/6jam .



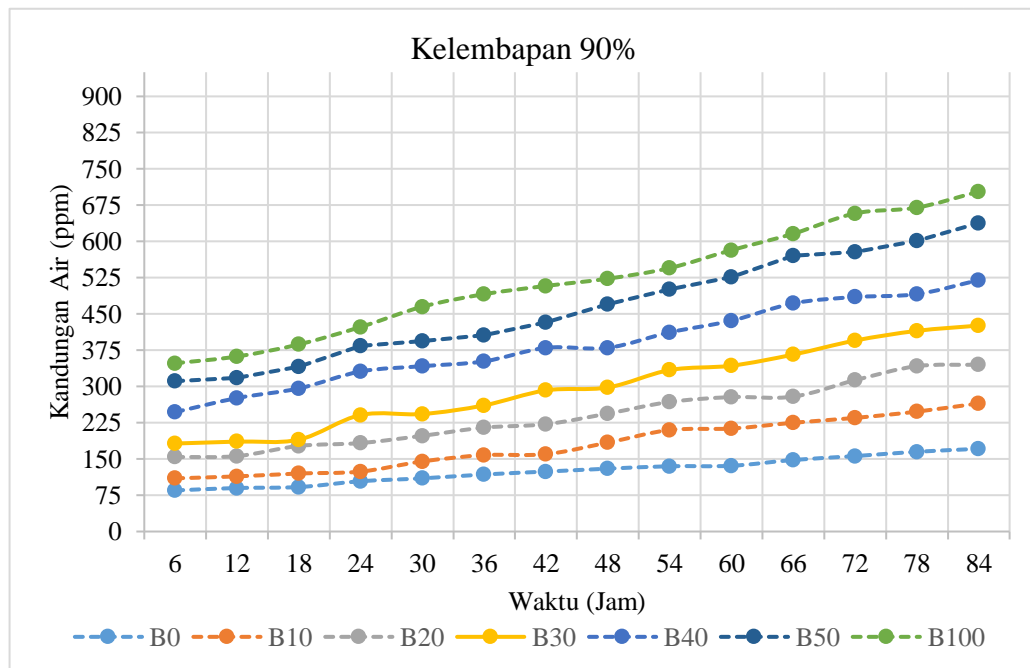
Gambar 13. Kenaikan Kandungan Air RH 75% Per 6 Jam Selama 14 Hari

Tabel 13. Kandungan Air RH 90% Per 6 Jam Selama 14 Hari

Kelembapan 90%														
Formulasi	Waktu (6 Jam/Hari)													
	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
B0	85	90	92	104	110	118	124	130	135	136	148	156	165	167
B10	110	114	120	124	145	158	160	184	210	213	225	235	248	265
B20	154	156	177	183	198	215	222	244	268	278	279	313	342	345
B30	162	168	170	221	223	231	272	278	314	323	346	375	395	406
B40	187	216	236	273	284	294	322	322	354	378	416	429	435	464
B50	211	218	241	284	294	306	333	370	401	426	470	478	501	538
B100	232	246	271	307	349	375	390	415	437	474	508	570	582	615

Campuran biodiesel-solar (BXX) juga dievaluasi seperti biodiesel (B100) dan minyak solar (B0). Dalam percobaannya, terjadi peningkatan kandungan air di setiap formulasi (B10, B20, B30, B40 dan B50). Kandungan air B10 meningkat dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 7 ppm/6jam (RH60%), 11 ppm/6jam (RH 75&90). B20 sebesar 9 ppm/6jam (RH60%), 12 ppm/6jam (RH75%), 15 ppm/6jam (RH90%). B30 sebesar 14 ppm/6jam (RH60&75%) dan 19 ppm/6jam (RH90%). B40 sebesar 18 ppm/6jam (RH60%), 19 ppm/6jam (RH75%) dan 21 ppm/6jam

(RH90%). Pada B50 diperoleh nilai rata-rata sebesar 20 ppm/6jam (RH60%), 23 ppm/6jam (RH75%) dan 25 ppm/6jam (RH90%).



Gambar 14. Kenaikan Kandungan Air RH 90% Per 6 Jam Selama 14 Hari

Dari hasil yang dianalisis, laju penyerapan air paling rendah pada campuran biodiesel – solar (BXX) terdapat pada sampel B10 dengan RH60%, dimana kandungan air B10 meningkat dengan nilai rata – rata penyerapan air sebesar 7 ppm/6jam. Sedangkan tingkat penyerapan air paling tinggi terdapat pada B50 dengan RH90%, dimana kandungan air B50 meningkat dengan nilai rata-rata penyerapan sebesar 25 ppm/6jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan biodiesel dan kelembapan relatif akan menyebabkan bahan bakar dapat menyerap air lebih cepat.

4.5 Analisis Penampakan Visual dan Gugus Fungsi Senyawa Kimia Biodiesel, Minyak Solar dan Biodiesel - Solar

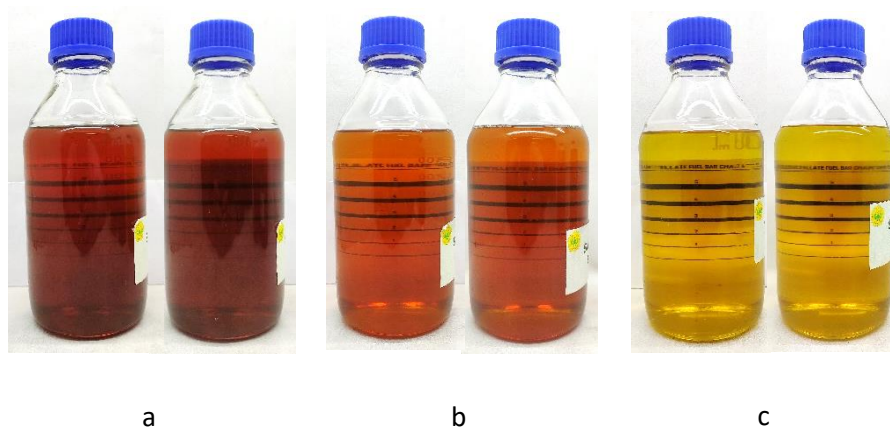
Karakterisasi bahan bakar setelah pengujian bertujuan untuk menganalisis efek kandungan air yang tinggi terhadap biodiesel murni (B100), minyak solar (B0) dan biodiesel-solar (B50). Sampel yang digunakan yaitu sampel setelah pengujian pada RH90%, dimana RH90% merupakan kelembapan relatif tertinggi. Biodiesel-solar (B50) mewakili campuran antara minyak solar dan biodiesel. Hal ini dikarenakan sampel (B50) merupakan sampel dengan peningkatan kandungan air paling tinggi pada masing – masing formulasi. Analisis sampel B0, B50 dan B100 dilakukan

dengan membandingkan sampel sebelum dan sesudah percobaan. Sifat fisika yang dianalisis yaitu penampakan visual dari masing-masing sampel. Sedangkan sifat kimia yang dianalisis yaitu struktur kimia dari masing-masing sampel dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR).

a. Penampakan Visual

Kandungan air dalam bahan bakar dapat diklasifikasikan dalam air bebas, air terlarut dan air teremulsi. Air bebas terdapat pada bagian permukaan bahan atau benda yang sifat airnya sangat reaktif, tetapi dapat dengan mudah menguap apabila terjadi pengeringan. Air terlarut yaitu air yang terikat secara fisik karena adanya tenaga penyerapan dan memiliki sifat yang tidak mudah menguap. Sedangkan air teremulsi yaitu air dengan konsentrasi lebih tinggi yang bebas dan tersebar (keruh) ke seluruh bahan bakar (Winarno, 1997). Penampakan visual sampel B100, B50 dan B0 ditunjukkan pada Gambar 15.

Penampakan visual pada B0 dan B50 sedikit terlihat mengalami perubahan warna sedikit gelap yang membuat sedikit hilangnya garis. Hal ini menunjukkan bahwa adanya sedikit kekeruhan yang terjadi akibat air teremulsi. Menurut *Fregolente et al*, munculnya kabut atau kekeruhan pada bahan bakar terdapat pada kadar air yang cukup tinggi kisaran 1000-1800 ppm. Hal ini menjelaskan, bahwa kandungan air dibawah 1000 ppm berpotensi munculnya kekeruhan itu sangat rendah (*Fregolente et al*, 2012).



Gambar 15. Penampakan Visual Sampel (a) Minyak Solar Murni, (b) B50, (c) Biodiesel Murni

b. Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dilakukan sebelum dan sesudah pengujian pengkondisian suhu dan kelembapan. Analisa FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) bertujuan untuk mengamati perubahan gugus fungsi secara kualitatif dalam suatu senyawa kimia yang terdapat pada biodiesel, minyak solar dan campuran biodiesel - solar. Pengukuran FTIR dilakukan untuk mendeteksi perubahan relatif yang terjadi pada B0, B50 dan B100 dalam kondisi setelah perlakuan.

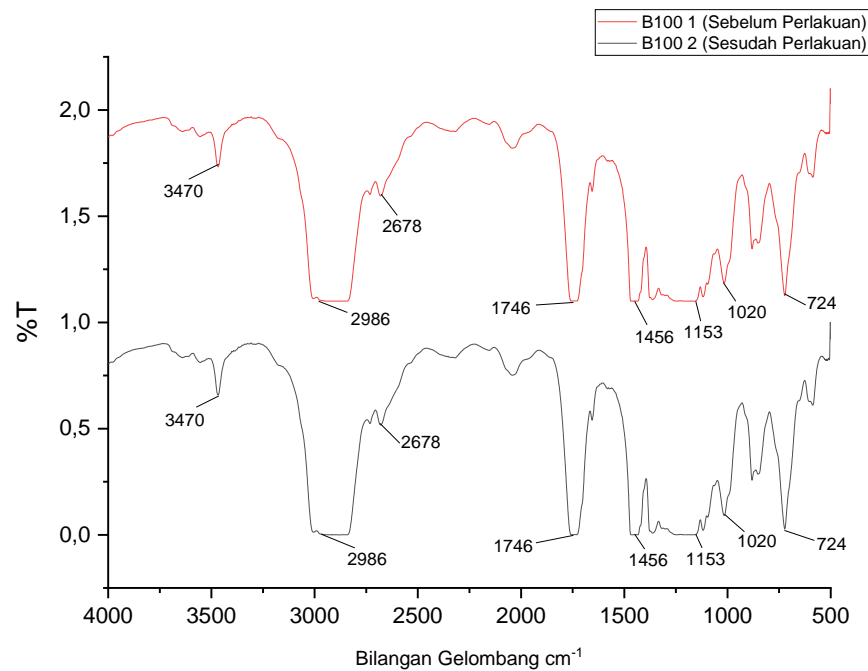
- Biodiesel Murni (B100)

B100 1 merupakan biodiesel murni pada kondisi sebelum perlakuan, sedangkan B100 2 merupakan biodiesel murni pada sesudah perlakuan. Hasil analisis pada sampel B100 sebelum dan sesudah pengkondisian suhu dan kelembapan terkontrol, menunjukkan spektrum inframerah gugus fungsi dari senyawa kimia yang terkandung dalam sampel. Spektrum FTIR B100 sebelum dan sesudah perlakuan ditunjukkan pada Gambar 16.

Bilangan gelombang 3470 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi OH (Ameen dkk, 2018). Gugus OH dapat berasal dari asam lemak bebas dan kandungan air. Pada bilangan gelombang $2986\text{ cm}^{-1} - 2678\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan serapan vibrasi ulur dari ikatan C-H alifatik pada struktur kimia CH, CH₂ ataupun CH₃ yang didukung dengan puncak serapan pada bilangan gelombang $1365 - 1456\text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsi tersebut diindikasikan sebagai bagian dari molekul bahan bakar B100. Serapan vibrasi gugus fungsi karbon C=O terdeteksi pada bilangan gelombang 1746 cm^{-1} (Coronado et al., 2017). Serapan tersebut didukung dengan puncak serapan pada $1153 - 1020\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan vibrasi ulur C-O. Gugus C-O merupakan gugus karbonil yang diperoleh dari asam karboksilat komposisi minyak. Bilangan gelombang 724 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi cincin aromatik (Nandiyanto dkk, 2018).

Hasil analisis spektrum FTIR B100 1 dan B100 2, terdapat perbedaan absorbansi pada gugus OH. Pada dasarnya, persen transmittan berbanding terbalik dengan nilai absorbansi. Diperoleh persen transmittan gugus OH pada B100 2 yang lebih kecil daripada persen transmittan B100 1. Hal ini menunjukkan bahwa nilai

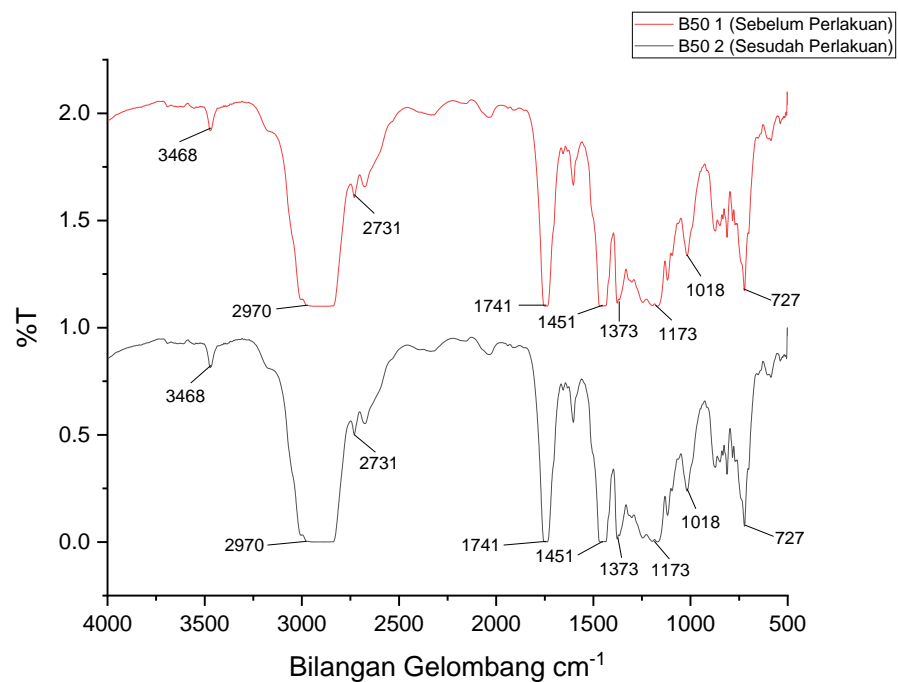
absorbansi gugus OH pada B100 2 lebih besar. Besarnya nilai absorbansi gugus OH dapat disebabkan oleh peningkatan kandungan air pada B100 2 sesudah perlakuan.



Gambar 16. Spektrum FTIR B100

- B50

B50 yaitu biodiesel - solar dengan kadar 50% biodiesel dan 50% minyak solar. B50 1 merupakan campuran biodiesel – solar pada kondisi sebelum perlakuan, sedangkan B50 2 biodiesel – solar sesudah perlakuan. Hasil analisis pada sampel B100 sebelum dan sesudah pengkondisian suhu dan kelembapan, menunjukkan spektrum inframerah gugus fungsi dari senyawa kimia yang terkandung dalam sampel. Berdasarkan hasil spektrum FTIR B50 sebelum dan sesudah perlakuan pada Gambar 17, menunjukkan adanya gugus OH pada gelombang 3468 (Ameen dkk, 2018). Gugus OH dapat berasal dari asam lemak bebas dan kandungan air pada biodiesel.



Gambar 17. Spektrum FTIR B50

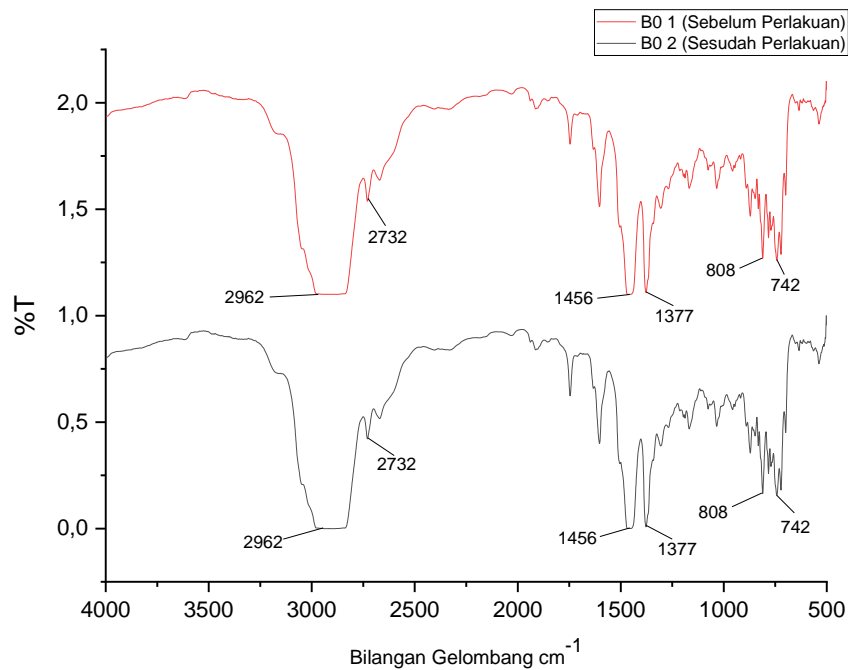
Pada bilangan gelombang 2970 – 2731 cm^{-1} menunjukkan serapan vibrasi ulur dari ikatan C-H alifatik pada struktur kimia CH, CH₂ ataupun CH₃ yang didukung dengan puncak serapan pada bilangan gelombang 1451 - 1373 cm^{-1} . Serapan vibrasi gugus fungsi karbon C=O terdeteksi pada bilangan gelombang 1741 cm^{-1} dan didukung dengan puncak serapan 1173 – 1018 cm^{-1} yang menandakan vibrasi ulur C-O. *Coronado et al.*, 2017). Gugus C-O merupakan gugus karbonil yang diperoleh dari asam karboksilat komposisi minyak. Pada bilangan gelombang 727 cm^{-1} merupakan ikatan cincin aromatik (Nandiyanto dkk, 2018).

Hasil analisis bilangan gelombang FTIR hasil pengujian FTIR B50 1 dan B50 2, menunjukkan absorbansi B50 2 (sesudah perlakuan) lebih besar daripada B50 1 (sebelum perlakuan). Ditunjukkan dengan persen transmitan pada B50 2 yang lebih kecil. Besarnya nilai absorbansi gugus OH dapat disebabkan oleh peningkatan kandungan air pada B50 2 sesudah perlakuan.

- Minyak Solar Murni (B0)

B0 1 merupakan minyak solar murni pada kondisi sebelum perlakuan, sedangkan B0 2 merupakan minyak solar murni sesudah perlakuan. Hasil analisis pada sampel B100 sebelum dan sesudah pengkondisian suhu dan kelembapan

terkontrol, menunjukkan spektrum inframerah gugus fungsi dari senyawa kimia yang terkandung dalam sampel. Pada bilangan gelombang 2962 – 2732 cm^{-1} menunjukkan serapan vibrasi ulur dari ikatan C-H alifatik pada struktur kimia CH ataupun CH_3 yang didukung dengan puncak serapan pada bilangan gelombang 1456 – 1377 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 743 cm^{-1} merupakan ikatan cincin aromatik (Nandiyanto dkk, 2018).



Gambar 18. Spektrum FTIR B0

Spektrum FTIR B0 sebelum dan sesudah perlakuan ditunjukkan pada Gambar 18. Hasil analisis pengujian FTIR B0 sebelum dan sesudah pengkondisian suhu dan kelembapan tidak terdapat perubahan spektrum inframerah gugus fungsi dari senyawa kimia yang terkandung dalam sampel. Pada sampel B0 tidak menunjukkan adanya gugus fungsi OH seperti halnya pada B100 dan B30. Hal ini membuat B0 lebih bersifat hidrofobik yang dikarenakan memiliki rantai karbon yang panjang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Hasil analisis kurva saturasi pada biodiesel - solar menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi biodiesel dan kelembapan relatif akan menyebabkan bahan bakar semakin banyak menyerap kandungan air atau semakin higroskopis.
2. Hasil analisis laju penyerapan kandungan air pada biodiesel – solar menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi biodiesel dan kelembapan relatif akan menyebabkan bahan bakar dapat menyerap air lebih cepat. Ditunjukkan pada peningkatan kandungan air biodiesel - solar paling rendah terjadi pada B10 (RH60%) dengan nilai rata-rata penyerapan air sebesar 7 ppm/6jam. Sedangkan peningkatan air paling tinggi terjadi pada formula B50 (RH90%) dengan nilai rata-rata penyerapan sebesar 25 ppm/6jam.
3. Hasil analisis penampilan fisik menunjukkan adanya sedikit perubahan warna terhadap sampel B0 dan B50. Analisis bilangan gelombang FTIR pada B100 dan B50 sebelum dan sesudah perlakuan menunjukkan adanya perubahan nilai absorbansi pada gugus OH. Hal ini dapat dipengaruhi oleh meningkatnya kandungan air pada sampel. Sedangkan pada B0, tidak menunjukkan adanya gugus OH.

5.2 Saran

Bagi penelitian selanjutnya, hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai referensi dan sebagai pertimbangan untuk memperdalam penelitian mengenai sifat higroskopis biodiesel, minyak solar ataupun biodiesel - solar. Sebaiknya dalam melakukan pengujian kadar air, sampel yang akan diuji harus dalam keadaan tertutup agar sampel tidak terkontaminasi atau bereaksi dengan udara di sekitar.

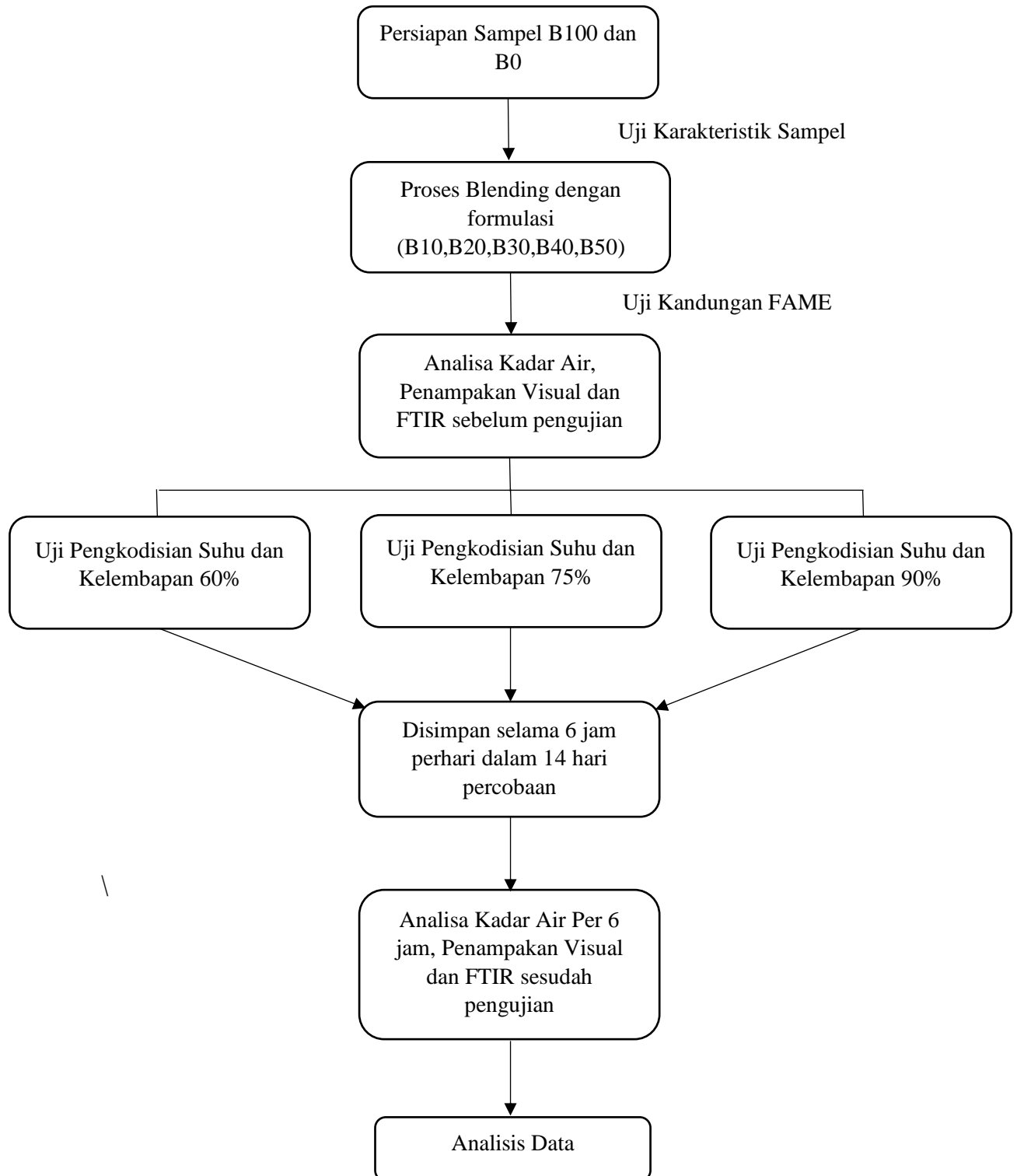
DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A., I. Gusti, dan I. Made. 2015. Pengujian Performance Biodiesel Biji Alpakat Ditinjau Dari Karakteristik Panjang Penyemprotan dan Ukuran Butiran. Universitas Udayana, Bali.
- A Hardjono. (2001). Teknologi Minyak Bumi. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Ameen, I., Tripathi, A. K., Siddiqui, A., Kapil, G., Pandey, S., & Tripathi, U. N. (2018). *Synthesis , characterizations and photo-physical properties of novel lanthanum(III)complexes.3655(Iii)*.<https://doi.org/10.1080/16583655.2018.1516028>.
- ASTM Standards. 2003. D6751-03a. *Specification for biodiesel fuel (B100) blend Stock for distillate fuels*. West Conshohocken, Penn.: ASTM.
- ASTM Standards. 2004. D4176-04. *Standard Test Method for Free Water and Particulate Contamination in Distillate Fuels (Visual Inspection Procedures)*. West Conshohocken, Penn.: ASTM.
- ASTM Standards. 2007. D6304-07. *Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration*. West Conshohocken, Penn.: ASTM.
- Coronado, M. A., Montero, G., Garcia, C., Valdez, B., Ayala, R., & Perez, A. (2017). *Quality assessment of biodiesel blends proposed by the new Mexican policy framework*. *Energies*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/en10050631>
- C.R. Martin Mittelbach, "II. *Fuel properties, quality specifications and fuel analysis for biodiesel and fossil diesel,*" in *Biodiesel: The Comprehensive Handbook* vol. 116-1331 ed. (no. 1) Austria
- Dirjen EBTKE. 2019. "FAQ : Program Mendatori Biodiesel 30% (B30)."
- ESDM. 2019. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Jenis Minyak Solar Campuran Biodiesel 30% (B30) Dengan Angka Setana (CN) 48 Yang Dipasarkan Dalam Negeri Nomor 234.K/ 10/ DJM.S/ 2019. Jakarta: KESDM

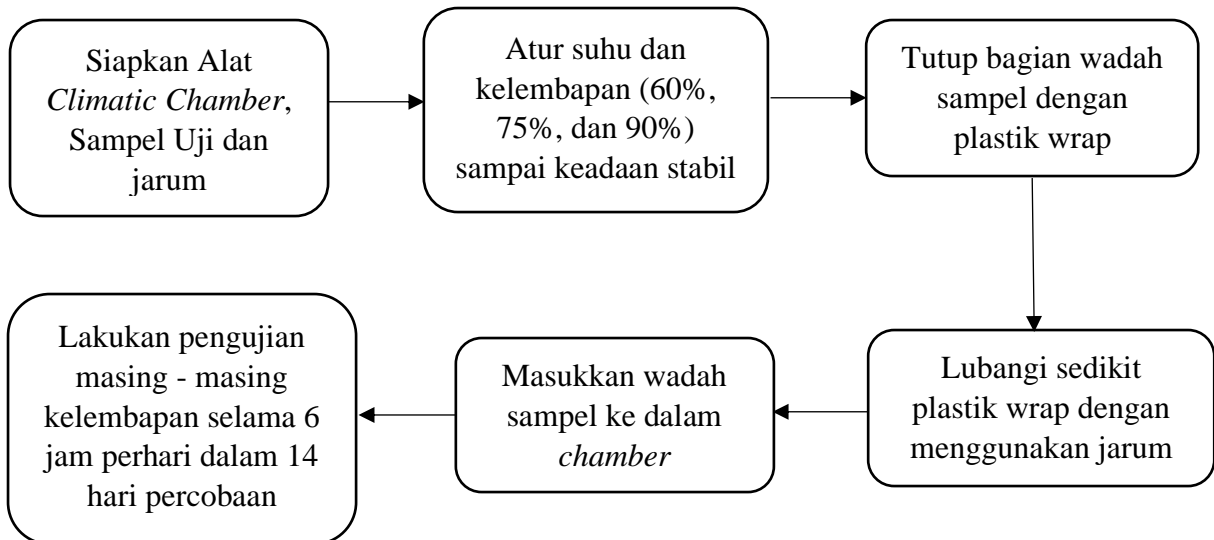
- ESDM. 2019. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Solar yang Dipasarkan Di dalam Negeri Nomor 146 K/ 10/ DJM/ 2020. Jakarta: KESDM
- ESDM. 2019. Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain Yang Dipasarkan Di dalam Negeri Nomor 189 K/ 10/ DJE/ 2019. Jakarta: KESDM
- Hakim, Y.Z dan Zulys, A. 2016. A Fluorescence Study of Pyrazole Derrivative 2-(1,5-diphenyl-4,5-dihydro-1H-pyrazole-3-yl)pyridine Upon Addition of La³⁺ and Eu³⁺ Ions. International Conference on Materials, Manufacturing and Mechanical Engineering. ISBN: 978-1-60595-413-4.
- He, B. B.; Thompson, J. C.; Routt, D. W.; Van Gerpen, J. H. Moisture Absorption in Biodiesel and its Petro-Diesel Blends. *Appl. Eng. Agric.* 2007, 23, 71–76
- Lapuerta, M., J. Sanchez-Valdepanas, and E.Sukjit, *Effect of ambient humidity and hygroscopy on the lubricity of diesel fuels. Wear*, 2014.309(1): p.200-207.
- Mc.Hugh DJ. Production, properties and uses, of alginates. Chapter 2. Dalam McHugh, DJ. Production and Utilization of Product From Commercial Seaweed. FAQ. Fisheries Technical Paper, Rome, 1987.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopie of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>.
- Oliveira, M.B.; Varanda, F.R.; Marrucho, I.M.; Queimada, AJ; Coutinho, A. P. Prediksi Kelarutan Air dalam Biodiesel dengan Persamaan CPA Negara. *Ind.Eng. kimia Res.* 2008, 47, 4278–4285.
- Panjaitan, Suminar H. (2021). Studi Eksperimen Pengaruh Penyimpanan Bahan Bakar Campuran Biodiesel Terhadap Sifat Bahan Bakar, Performa, Uji Ketahanan, Dan Emisi Mesin Diesel. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Patricia Bogalhos Lucente Fregolente, 2012. *Water Content in Biodiesel, Diesel, and Biodiesel–Diesel Blends*. Separation Process Development Laboratory, Chemical Engineering School, State University of Campinas, 13083-852, Campinas, Saõ Paulo, Brazil
- Pedoman Umum Penanganan dan Pencampuran Biodiesel (B100) dan Campuran

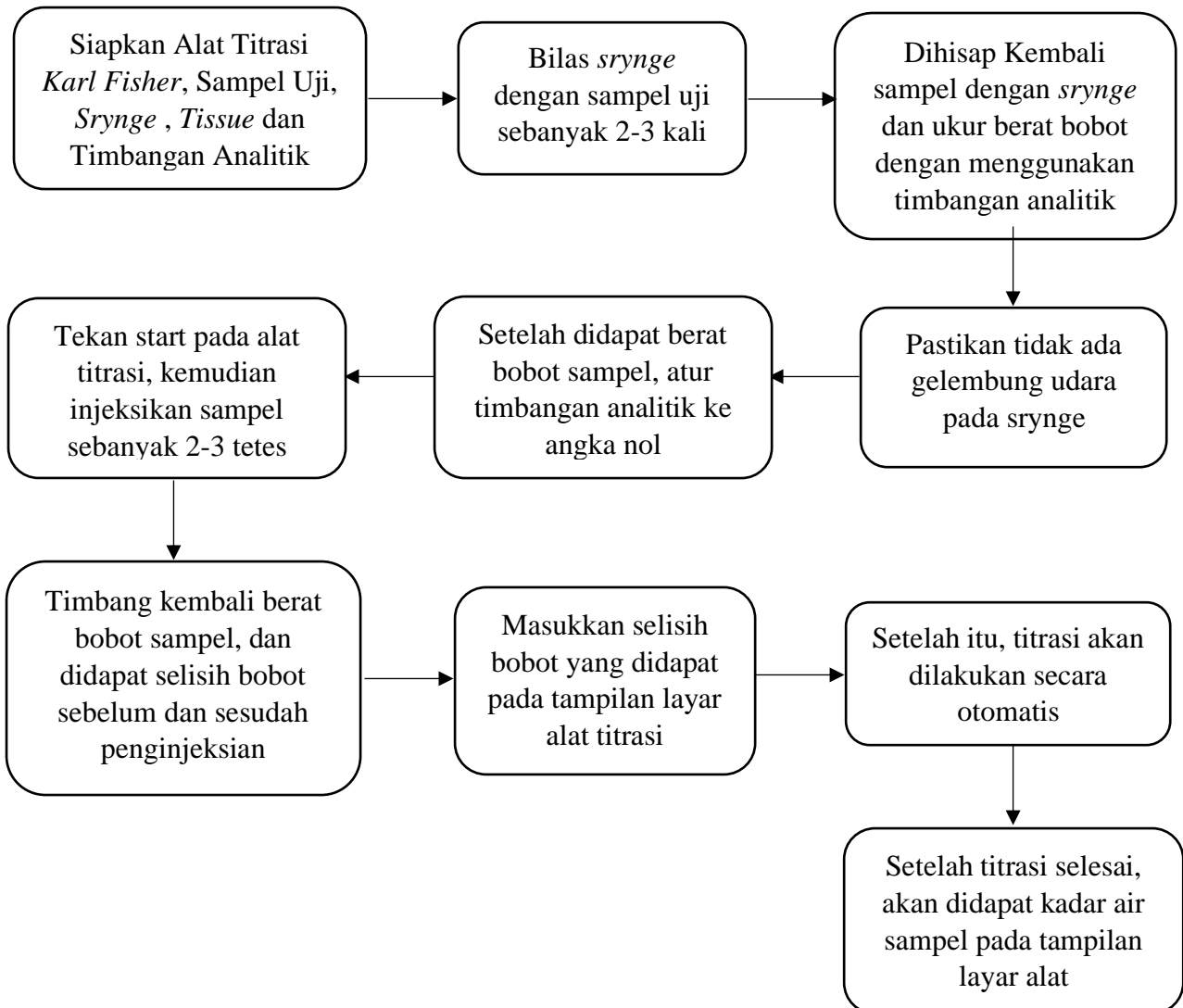
- Biodiesel(BXX).2017.Available:<https://ebtke.esdm.go.id/post/2018/08/29/2002/pedoman.umum.penanganan.dan.penyimpanan.bahan.bakar.biodiesel.b100.dan.campuran.biodiesel.bxx>
- Raden Wahid Hanafi,2013. Pengaruh Konsentrasi Katalis dan Lama Pengadukan Pada Reaksi Transesterifikasi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk (*Ceiba pentandra L*). Skripsi. Yogyakarta: FMIPA UNY.
- Shah, P.; Wee, C.; White, J. M.; Sanford, S.; Meier, G, 2010. Experimental Determination and Thermodynamic Modeling of Water Content in Biodiesel-Diesel Blends. Renewable Energy Group; <http://www.refuel.com>.
- Solikhah, M.D., Bina R.B., Feri K., Andrias R. W., Khairil A. 2020. Pedoman Penanganan dan Penyimpanan Biodiesel dan Campurannya (B30). Tangerang Selatan: Balai Teknologi bahan Bakar dan Rekayasa Disain.
- Soudagar, M. E. M., Nik-Ghazali, N. N., Abul Kalam, M., Badruddin, I. A., Banapurmath, N. R., & Akram, N, 2018. *The Effect of nano-additives in diesel-biodiesel fuel blends: A comprehensive review on stability, engine performance and emission characteristics. Energy Conversion and Management,178(June),146,177.*<https://doi.org/10.1016/j.encoman.2018.10.019>
- Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri, D. Migas SK Dirjen Migas No. 146.K/10/DJM/2020, 2020.
- Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri DJEBTKE-ESDM SK Dirjen EBTKE No. 189.K/10/DJE/2019.
- Tim Departemen Teknologi Pertanian. 2005. Proses Pembuatan Minyak Jarak Sebagai Bahan Bakar Alternatif. Fakultas Pertanian USU Medan. (Diakses pada tanggal 14 Juni 2018).
- Wahyudi, D., Mas Fawzi, Beny Cahyono, Dita Artanti. 2021. *Influences of Marine Environment to the Characteristics of Palm Oil Biodiesel during Storage*. Surabaya: Universitas Muhammadiyah Surabaya
- Winarno, F.G., 1997. Kimia Pangan dan Gizi, Gramedia Pustaka.

- Win Lee S., Herage T., and Young B. *Emission reduction potential from the Combustion of soy methyl ester fuel blended with petroleum distillate fuel. Fuel* 2004, 83(11-12), 1607-1613.
- Yuwono, T., & Rahardjo, B.S. 2010. Kinerja Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar Solar, Dme dan Campuranya Dengan Simulasi Dinamika Fluida. *Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink)*, 6 (1), 16-24. <https://doi.org/10.29122/elk.v6il.1564>
- Zakaria, H., Amir Khalid, Mohamad Farid Sies. 2014. *Effect of Storage Temperature and Storage Duration On Biodiesel Properties And Characteristics*. Johor: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

LAMPIRAN**Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian**

**Lampiran 2. Bagan Alir Uji Pengkondisian Suhu dan Kelembapan Dengan
*Climatic Chamber***



Lampiran 3. Bagan Alir Uji Kadar Air Dengan Alat Titrator *Karl Fisher*

Lampiran 4. Hasil Formulasi Pencampuran Minyak Biodiesel – Solar (B0, B10, B30, B30, B40, B50 dan B100)



B0

B10

B20

B30



B40

B50

B100

Lampiran 5. Data Hasil Pengkondisian Suhu dan Kelembapan

- Kelembapan Relatif 60%

Kelembapan 60%															
Sampel	Kadar Air Awal	Waktu (Jam)													
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
B0	62	67	70	77	80	85	90	95	98	102	105	108	110	115	121
B10	114	136	141	156	162	168	172	177	180	185	195	201	208	210	215
B20	125	137	144	150	152	160	168	179	188	201	211	225	230	241	248
B30	130	146	159	165	180	202	210	225	233	251	260	275	278	290	324
B40	138	157	172	195	212	235	260	283	288	313	325	332	354	361	385
B50	175	194	222	233	235	276	300	313	346	367	386	399	405	424	448
B100	190	224	240	262	290	315	348	377	395	421	444	450	468	490	512

Sampel	Kenaikan Air Total Per 6 jam (ppm)	Laju Rata-Rata (6 jam)
B0	59	4
B10	101	7
B20	123	9
B30	194	14
B40	247	18
B50	273	20
B100	322	23

Perhitungan :

Kenaikan Air Total per 6 jam = Kandungan Air Akhir – Kandungan Air Awal

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

- **B0**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{59 \text{ (ppm)}}{14}$$

$$= 4,2 \text{ ppm/6jam}$$

- **B100**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{322 \text{ (ppm)}}{14}$$

$$= 23 \text{ ppm/6jam}$$

- **B50**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{273 \text{ (ppm)}}{14}$$

$$= 19,5 \text{ ppm/6jam}$$

• **Kelembapan Relatif 75%**

Kelembapan 75%															
Sampel	Kadar Air Awal	Waktu (Jam)													
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
B0	62	70	77	86	95	101	106	109	114	121	126	132	136	140	145
B10	102	132	135	151	155	162	186	200	201	205	218	228	230	236	258
B20	114	134	141	162	175	193	205	214	229	241	253	255	262	272	283
B30	136	146	156	166	180	188	215	227	230	244	276	283	312	329	334
B40	159	180	202	225	237	253	260	282	308	333	370	382	388	416	423
B50	168	196	214	222	262	280	313	325	353	393	415	452	482	490	493
B100	190	224	261	290	316	348	372	407	427	455	464	481	512	540	574

Sampel	Kenaikan Air Total Per 6 jam (ppm)	Laju Rata-Rata (6 jam)
B0	83	6
B10	156	11
B20	169	12
B30	198	14
B40	264	19
B50	325	23
B100	384	27

Perhitungan :

Kenaikan Air Total per 6 jam = Kandungan Air Akhir – Kandungan Air Awal

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

- **B0**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{83 \text{ (ppm)}}{14} = 5,9 \text{ ppm/6jam}$$

- **B100**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{384 \text{ (ppm)}}{14} = 27,4 \text{ ppm/6jam}$$

- **B50**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{325 \text{ (ppm)}}{14} = 23,2 \text{ ppm/6jam}$$

- **Kelembapan Relatif 90%**

Kelembapan 90%															
Sampel	Kadar Air Awal	Waktu (jam)													
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84
B0	62	70	81	88	92	101	104	112	121	131	134	146	150	155	157
B10	108	110	114	120	124	145	158	160	184	210	213	225	235	248	265
B20	133	154	156	177	183	198	215	222	244	268	278	279	313	342	345
B30	141	162	168	170	221	223	231	272	278	314	323	346	375	395	406
B40	174	187	216	236	273	284	294	322	322	354	378	416	429	435	464
B50	186	211	218	241	284	294	306	333	370	401	426	470	478	501	538
B100	190	232	246	271	307	349	375	390	415	437	474	508	570	582	615

Sampel	Kenaikan Air Total Per 6 jam (ppm)	Laju Rata-Rata (6 jam)
B0	95	7
B10	157	11
B20	212	15
B30	265	19
B40	290	21
B50	352	25
B100	425	30

Perhitungan :

Kenaikan Air Total per 6 jam = Kandungan Air Akhir – Kandungan Air Awal

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

- **B0**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{95 \text{ (ppm)}}{14} = 6,7 \text{ ppm/6jam}$$

- **B100**

$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

$$= \frac{625 \text{ (ppm)}}{14} = 30,3 \text{ ppm/6jam}$$

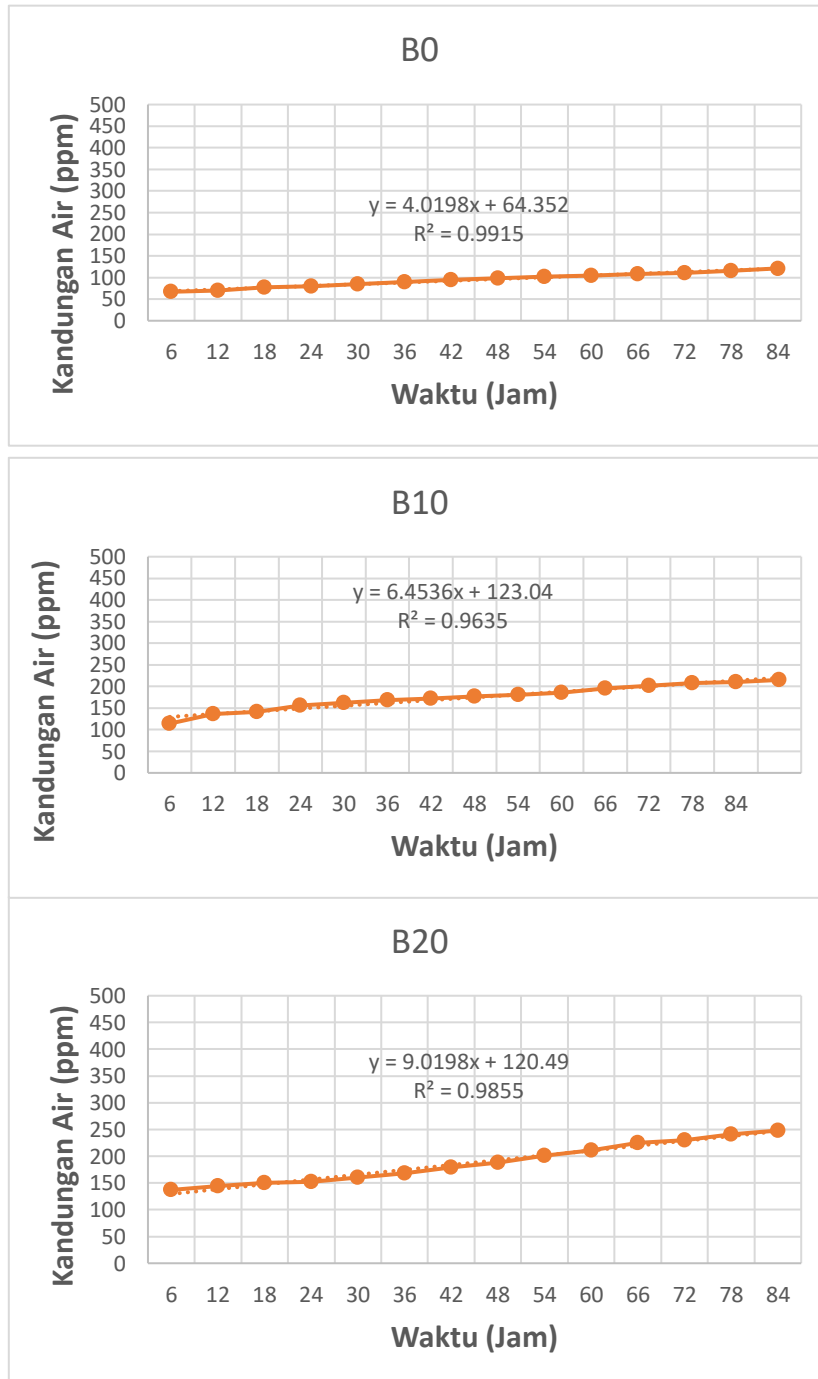
- **B50**

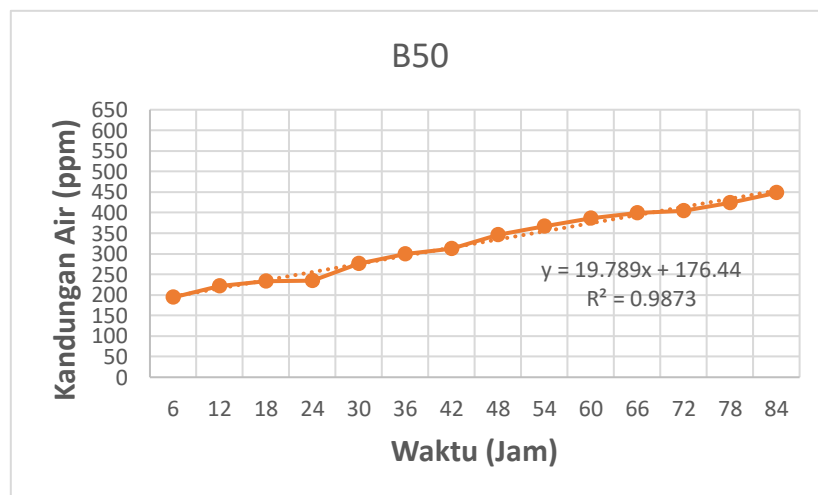
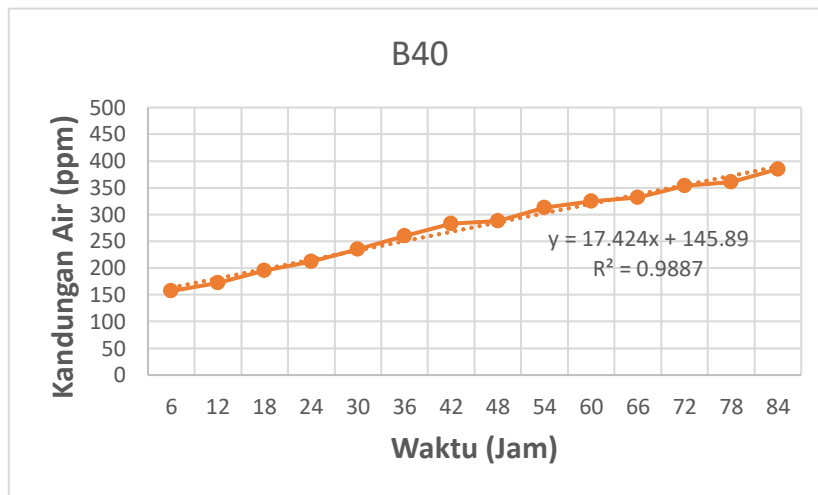
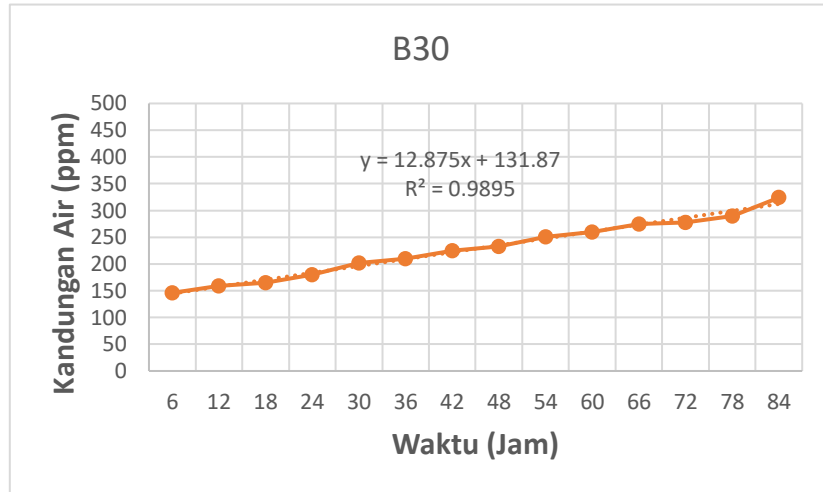
$$\text{Laju rata – rata/6jam} = \frac{\text{Kenaikan Air Total per 6 jam (ppm)}}{\text{Jumlah Pengujian}}$$

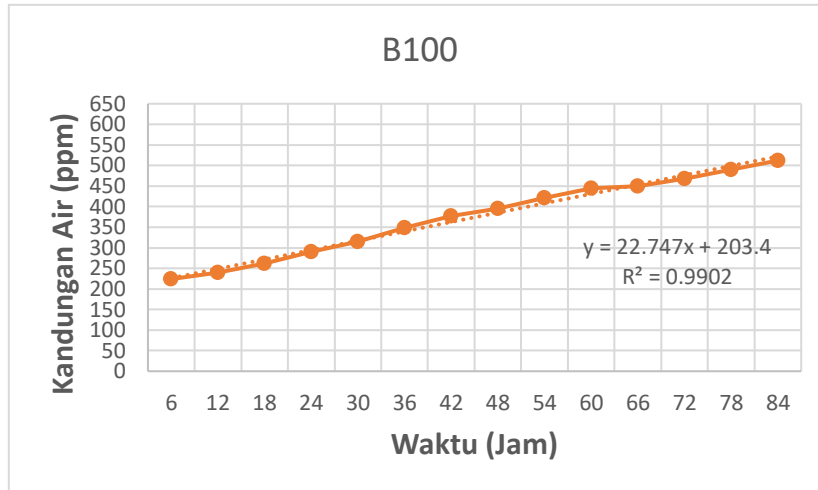
$$= \frac{352 \text{ (ppm)}}{14} = 25,1 \text{ ppm/6jam}$$

Lampiran 6. Grafik Regresi Linier Biodiesel, Minyak Solar dan Biodiesel – Solar

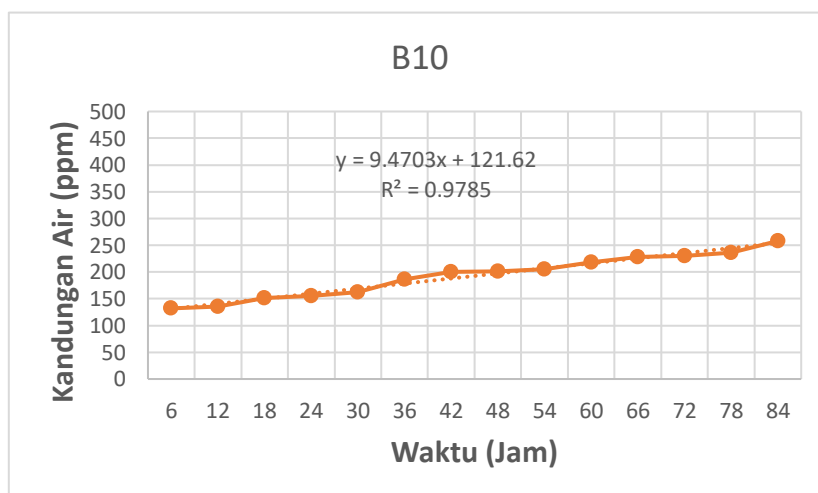
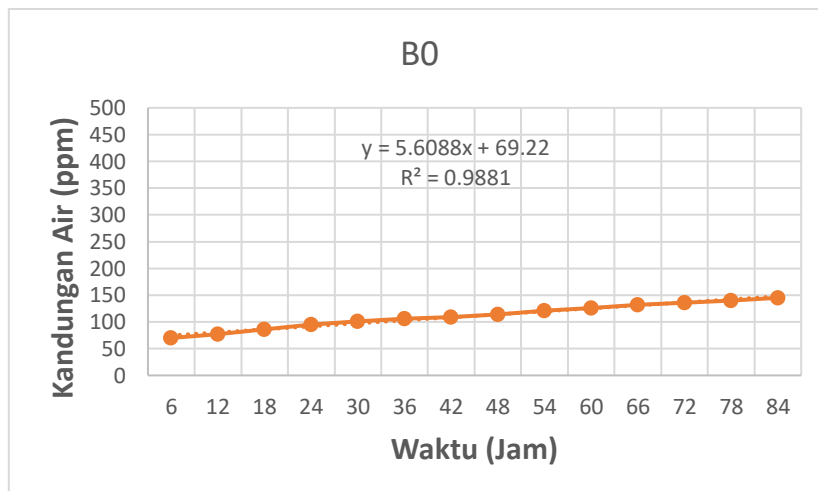
- Kelembapan Relatif 60%

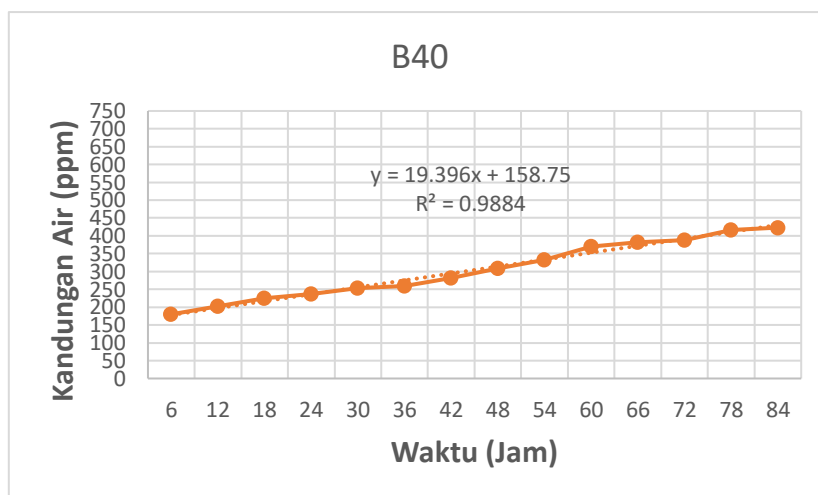
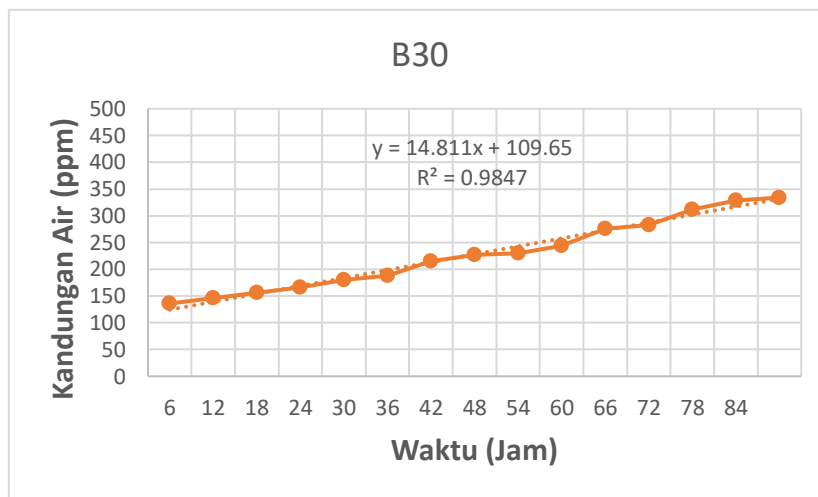
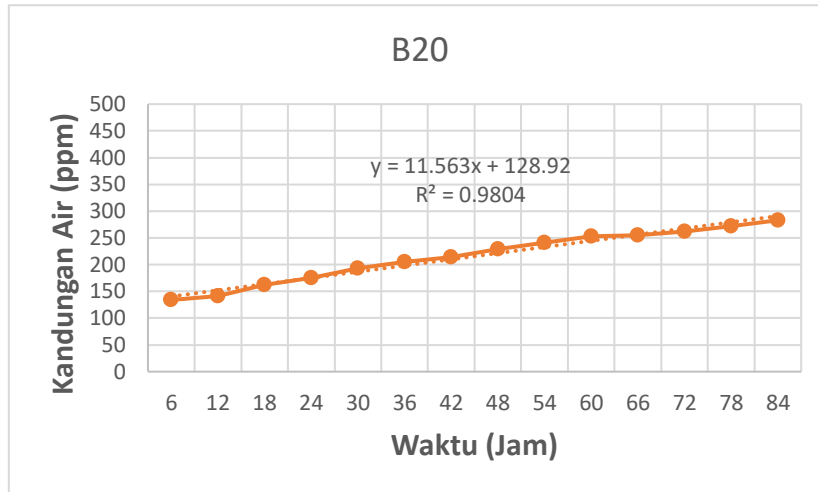


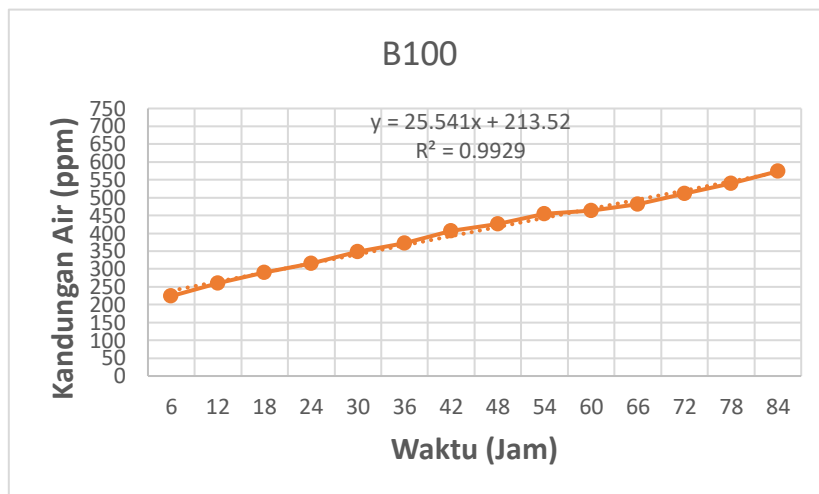
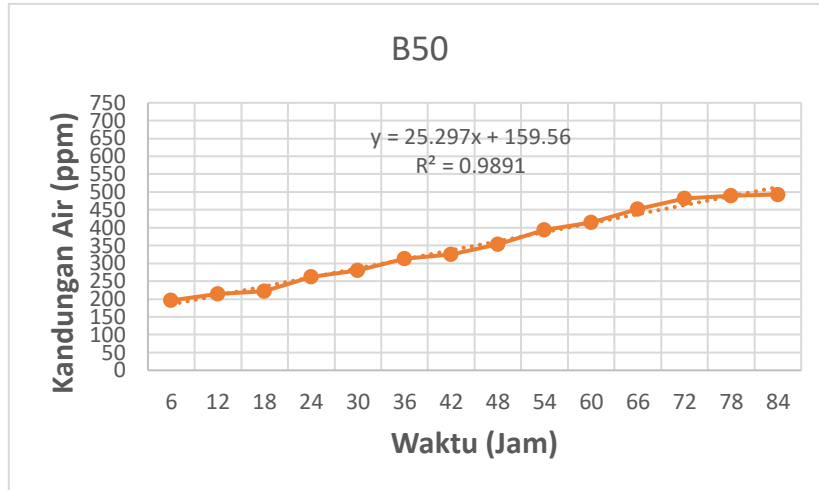




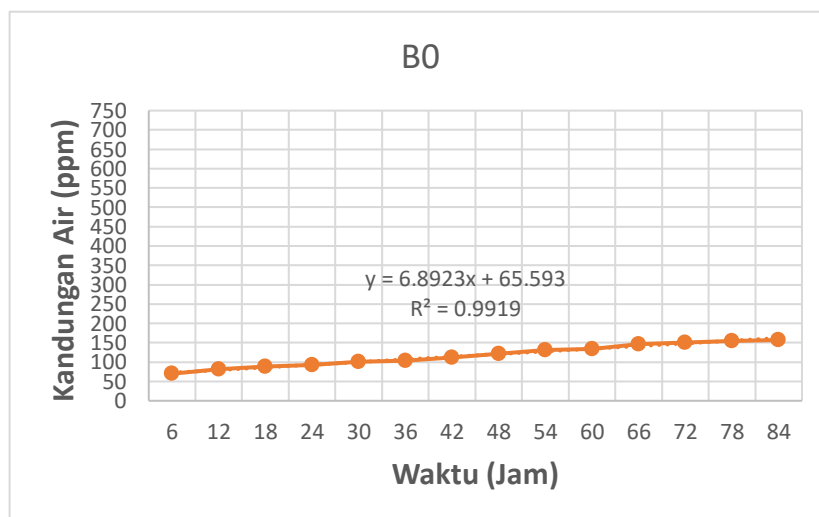
- **Kelembapan Relatif 75%**

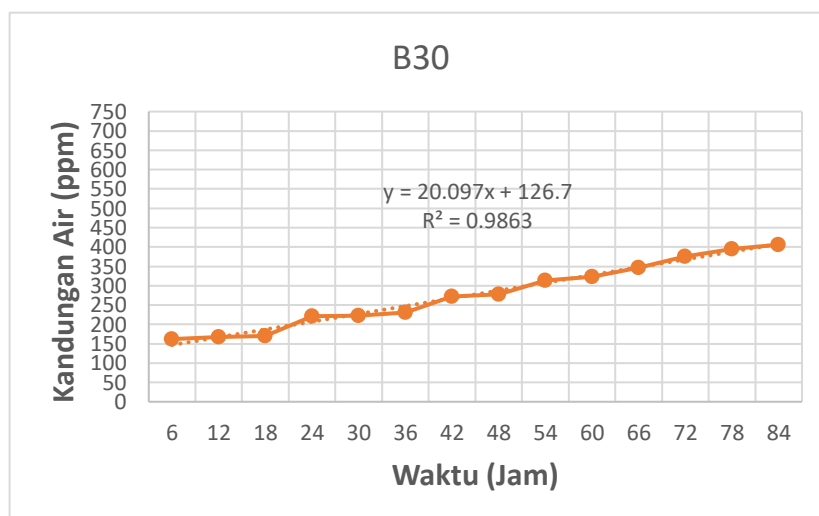
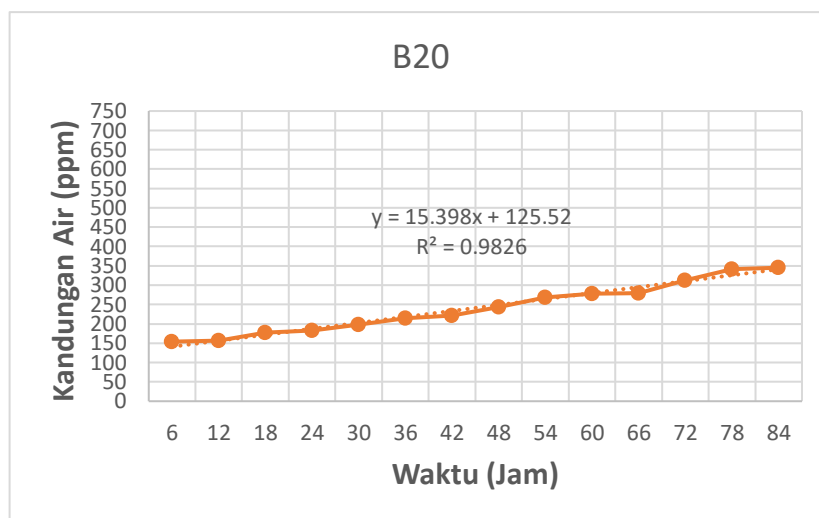
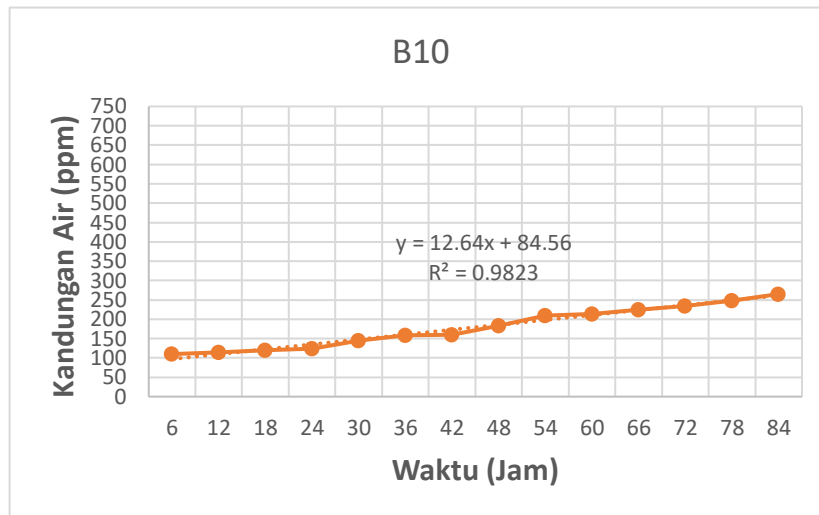


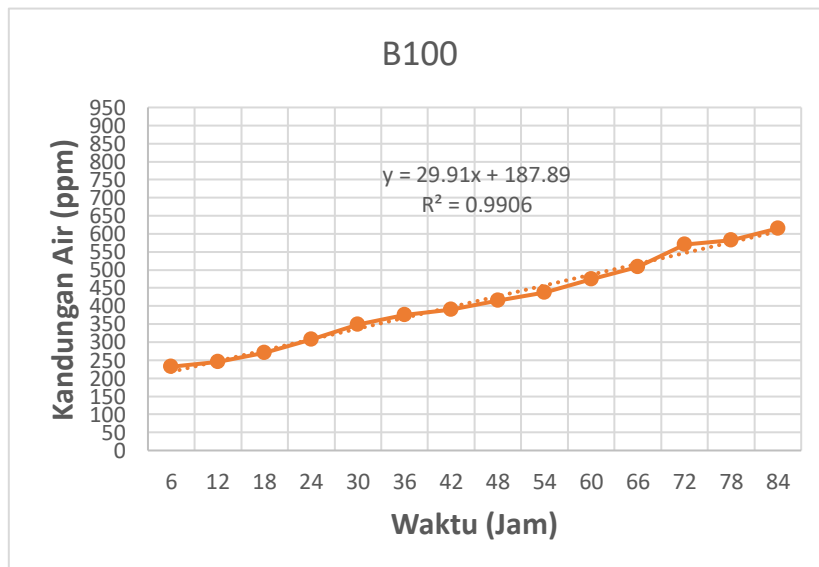
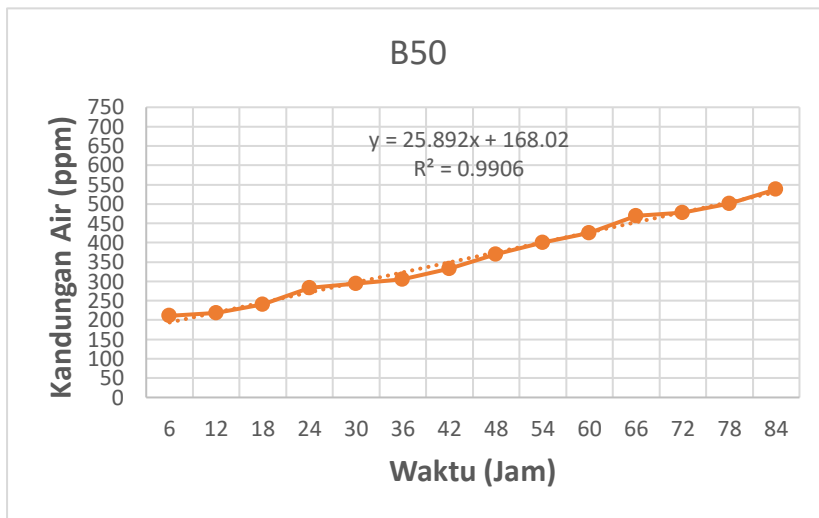
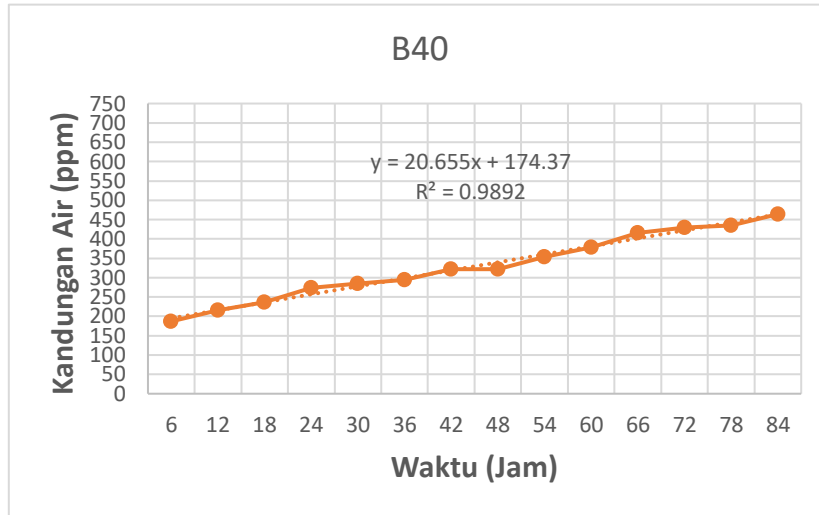




- **Kelembapan Relatif 90%**







- **Tabel Regresi**

Formulasi	<i>Relative Humidity (RH)</i>					
	Kelembapan 60%		Kelembapan 75%		Kelembapan 90%	
	Regresi	R2	Regresi	R2	Regresi	R2
B0	$y = 4,0198x + 64,352$	0,9915	$y = 5,6088x + 69,22$	0,9881	$y = 6,8923x + 65,593$	0,9919
B10	$y = 6,4536x + 123,04$	0,9635	$y = 9,4703x + 121,62$	0,9785	$y = 12,64x + 84,560$	0,9823
B20	$y = 9,0198x + 120,49$	0,9855	$y = 11,563x + 128,92$	0,9804	$y = 15,398x + 125,52$	0,9826
B30	$y = 12,875x + 131,87$	0,9895	$y = 14,811x + 109,65$	0,9847	$y = 20,097x + 126,7$	0,9863
B40	$y = 17,424x + 145,89$	0,9887	$y = 19,396x + 158,75$	0,9884	$y = 20,655x + 174,37$	0,9892
B50	$y = 19,789x + 176,44$	0,9873	$y = 25,297x + 159,56$	0,9891	$y = 25,892x + 168,02$	0,9906
B100	$y = 22,747x + 203,40$	0,9902	$y = 25,541x + 213,52$	0,9929	$y = 29,91x + 187,89$	0,9906

Dokumentasi



