



Studi perbandingan viskositas dan kelayakan beberapa merek oli SAE 10W-40 menggunakan prototipe alat falling ball viscometer

Setya Ardhi^{1*}, Suhatati Tjandra², Grace Levina Dewi³, Endang Sriwahyuni⁴, Arizky Putra Listyanto⁵, Devi Dwi Purwanto⁶

^{1,2,3,4,5} Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya (ISTTS)

⁶ Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

ARTICLE INFO

Article history:

Received November 20, 2024

Revised November 25, 2024

Accepted Desember 19, 2024

Available online Januari 21, 2025

Kata Kunci:

Viskositas kinematik, Falling Ball Viscometer (FBV), Pengukuran Kelayakan Oli.

Keywords:

Kinematic Viscosity, Falling Ball Viscometer (FBV), Oil Viability Measurement.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2025 by Author. Published by Universitas PGRI ADI BUANA SURABAYA.

ABSTRAK

Penentuan kelayakan oli kendaraan bermesin konvensional dilakukan dengan mengukur koefisien viskositas dan viskositas kinematik. Viskositas kinematik yang baik tidak boleh berkurang lebih dari 50% dari nilai awal. Penelitian ini menggunakan metode Falling Ball Viscometer (FBV) untuk mengukur viskositas lima merek oli SAE 10W-40: Enduro 4T Racing, Shell Advance 4T, Castrol Power 1 4T, Fastron Techno, dan Mobil Supermoto pada suhu 40°C dan 100°C. Pengujian dilakukan pada oli baru dan setelah menempuh jarak 3000 km. Hasilnya menunjukkan penurunan viskositas kinematik sebesar 21%-42% pada suhu 40°C dan 24%-30% pada suhu 100°C. Alat ini menggunakan sensor magnet reed switch dan mikrokontroler Arduino UNO untuk memproses serta menampilkan data di LCD. Perbandingan antara alat dan pengukuran manual menunjukkan selisih 0.12-0.7 pada 40°C dan 0.06-2.16 pada 100°C, dengan rata-rata koreksi 0.84-1.5 pada 40°C dan 0.23-0.40 pada 100°C. Penelitian ini penting bagi pengguna kendaraan dapat memberikan informasi yang lebih akurat terkait penurunan kualitas oli setelah pemakaian, membantu pengguna menentukan waktu penggantian oli secara optimal untuk menjaga efisiensi bahan bakar, performa, dan daya tahan mesin. Bagi industri pelumas, hasil penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan formulasi oli yang lebih tahan terhadap penurunan viskositas akibat suhu dan jarak tempuh, sehingga mampu memenuhi standar kualitas yang lebih tinggi di pasar.

ABSTRACT

The determination of oil quality in conventional engine vehicles is carried out by measuring the coefficient of viscosity and kinematic viscosity. Good kinematic viscosity should not decrease by more than 50% from its initial value. This research uses the Falling Ball Viscometer (FBV) method to measure the viscosity of five brands of SAE 10W-40 oil: Enduro 4T Racing, Shell Advance 4T, Castrol Power 1 4T, Fastron Techno, and Mobil Supermoto at temperatures of 40°C and 100°C. Testing was performed on new oil and after traveling 3000 km. The results showed a decrease in kinematic viscosity by 21%-42% at 40°C and 24%-30% at 100°C. The device uses a reed switch magnet sensor and Arduino UNO microcontroller to process and display data on an LCD. The comparison between the device and manual measurement showed a difference of 0.12-0.7 at 40°C and 0.06-2.16 at 100°C, with an average correction of 0.84-1.5 at 40°C and 0.23-0.40 at 100°. This research is crucial for vehicle users as it provides more accurate information regarding the degradation of oil quality after usage, helping users determine the optimal time for oil replacement to maintain fuel efficiency, performance, and engine durability. For the lubricant industry, the findings of this research can be utilized to improve oil formulations that are more resistant to viscosity reduction due to temperature and mileage, thereby meeting higher quality standards in the market.

*Corresponding author.

E-mail addresses: simonsupardi52@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Teknologi otomotif yang banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia salah satunya adalah sepeda motor. Namun, masyarakat masih awam apabila terjadi masalah atau gangguan pada mesin sehingga membawa sepeda motor ke bengkel. Perbaikan motor dibengkel hal yang dilakukan pertama kali adalah dengan melakukan pergantian oli pada sepeda motor dimana minyak pelumas (oli) adalah penopang utama dari kerja sebuah mesin atau dan pentingnya pelumas dalam kinerja mesin dalam memperpanjang umur mesin [1] serta pelumas adalah cairan yang diterapkan pada permukaan komponen bergerak untuk mengurangi gesekan [2], sehingga mesin dapat berfungsi dengan baik dan efisien, dimana kurang sistem pelumasan akan berdampak pada bagian mesin yang bergesekan satu sama lain [3]. Sistem pelumasan memiliki peran penting tidak hanya dalam menyediakan pelumas bersih pada lokasi yang tepat dalam mesin, tetapi juga harus mampu bertahan pada suhu tinggi, memperpanjang waktu penggantian, serta mengurangi konsumsi pelumas. Fungsi utama dari sistem ini adalah untuk mendistribusikan pelumas ke seluruh bagian mesin. Selain itu, pelumas berfungsi untuk membersihkan, mendinginkan, dan melindungi komponen mesin dari proses keausan [4]. Bahkan performa dan daya tahan mesin ditentukan oleh oli. Hal yang perlu diperhatikan pada oli salah satunya adalah kekentalan atau yang biasanya disebut sebagai viskositasnya, dimana apabila kekentalan mengalami penurunan maka gesekan pada komponen semakin tipis sehingga suhu mesin semakin panas[5][6].

Apabila terjadi perubahan temperatur maka viskositas dari oli juga mengalami perubahan pada mesin. Pada umumnya oli mengalami penurunan nilai viskositasnya jika ada kenaikan temperatur. Setelah temperatur turun atau dalam keadaan dingin, nilai viskositasnya tidak akan kembali naik seperti semula, tetapi mengalami penurunan secara perlahan sehingga pada akhirnya viskositas dari oli tidak memenuhi syarat untuk digunakan kembali oleh mesin pada sepeda motor [7][8], dan jika viskositas pelumas terlalu rendah, lapisan pelindung antara dua komponen mesin yang bergerak akan terganggu, mengakibatkan keausan akibat kontak langsung [9]

Selama ini sepeda motor berpedoman pada jarak tempuh atau dengan satuan seberapa banyak jarak tempuh kendaraan dalam kilometer [10] pada 1000-3000 km untuk menentukan oli tersebut masih layak digunakan atau sudah waktunya diganti dengan oli baru atau dengan memperhatikan jadwal *service* kendaraan [11]. Dengan pedoman. Berdasarkan beberapa hal yang dipaparkan dari wacana diatas, dapat menjadi dasar pembuatan alat untuk mengetahui nilai viskositasnya dengan menggunakan metode *Falling Ball Viscosimeter (FBV)* serta merancang alarm pengingat pergantian oli supaya masyarakat dapat mengetahui bahwa oli masih layak digunakan atau sudah waktunya diganti dengan oli baru, dimana cara untuk merawat kondisi kendaraan adalah salah satunya dengan melakukan penggantian oli secara rutin baik secara jarak atau waktu lama pemakaian [12].

Merujuk pada penelitian sebelumnya [10] dan [12], yang bertujuan untuk sistem monitoring penggantian oli pada sepeda motor berdasarkan jarak tempuh biasanya antara 1000-3000 km, penelitian ini menawarkan pendekatan yang lebih komprehensif. Penelitian ini tidak hanya memastikan penggantian oli berdasarkan jarak tempuh, tetapi juga mengukur nilai viskositas atau kekentalan oli secara langsung. Dengan demikian, pengguna dapat memilih jenis oli yang sesuai dengan kebutuhan mereka, baik dari segi kualitas maupun harga, sehingga lebih selaras dengan kemampuan ekonomi masing-masing. Pendekatan ini juga memungkinkan pengguna untuk menemukan oli yang optimal untuk performa dan jenis motor yang dimiliki.

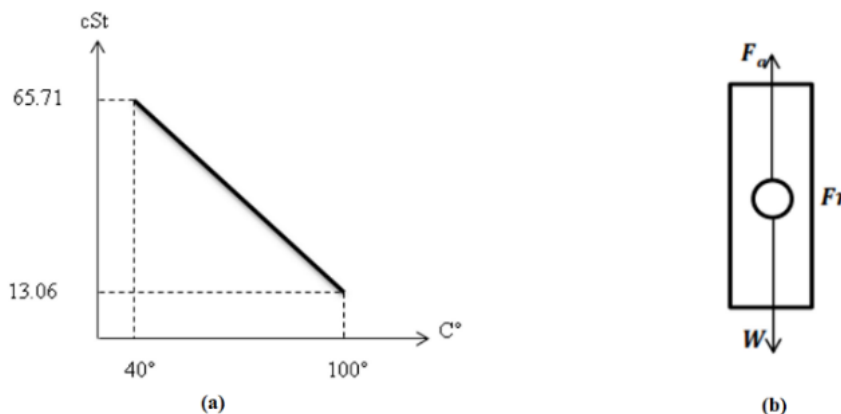
Berdasarkan penelitian yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya [14], prototipe viskometer bola jatuh menggunakan sensor magnet dan bola magnet telah dibuat, namun pengujiannya hanya dilakukan pada minyak goreng dan terbatas pada suhu ruangan (23°C). Dalam penelitian ini, pengembangan dilakukan dengan fokus pada pengujian viskositas oli kendaraan bermesin ringan, seperti Enduro 4T Racing, Shell Advance 4T, Castrol Power 1 4T, Fastron Techno, dan Mobil Supermoto. Pengujian juga dilakukan pada suhu 40°C dan 100°C, menyesuaikan dengan kondisi panas mesin saat digunakan.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini diuji kondisi oli dengan mengetahui nilai viskositasnya dengan menggunakan metode *Falling Ball Viscosimeter (FBV)*, dengan tujuan membuat Alat Ukur Kelayakan Oli dengan mengetahui nilai koefisien viskositas dan viskositas kinematik dari oli secara digital dari beberapa tipe oli. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan secara bertahap, dimulai dari tahap yaitu :

1. Studi literatur dan perancangan sistem
 - a. Melakukan kajian literatur terkait viskositas oli, metode Falling Ball Viscometer (FBV), dan karakteristik oli SAE 10W-40.
 - b. Mempelajari konsep hukum Stokes, yang menjadi dasar metode FBV, di mana bola dijatuhkan dalam fluida, dan waktu jatuhnya digunakan untuk mengukur viskositas.
2. Perancangan perangkat keras
 - a. Tabung Viscometer: Menyediakan tabung kaca yang diisi dengan oli untuk pengujian. Tabung ini harus mampu menampung cairan dengan viskositas yang bervariasi.
 - b. Bola Jatuh: Memilih bola pejal dengan ukuran dan massa yang tepat sesuai hukum Stokes untuk menentukan kecepatan jatuh bola dalam oli.
 - c. Sensor Reed Switch: Menggunakan sensor magnet reed switch untuk mendeteksi pergerakan bola dari posisi atas hingga bawah dalam tabung.
 - d. Mikrokontroler Arduino: Menghubungkan sensor ke Arduino yang berfungsi untuk menghitung waktu jatuh bola dan mengolah data viskositas.
 - e. Tampilan LCD dan Alarm: Menambahkan tampilan untuk menunjukkan hasil pengukuran dan buzzer sebagai peringatan ketika oli sudah tidak layak digunakan.
3. Pengembangan perangkat lunak
 - a. Pemrograman Arduino: Mengembangkan program pada mikrokontroler Arduino yang bertugas mengolah data dari sensor, menghitung viskositas, dan menampilkan hasil pengukuran.
 - b. Pengaturan Alarm: Menambahkan fungsi alarm berbasis buzzer yang akan berbunyi jika viskositas oli sudah berada di bawah standar yang ditentukan.
 - c. Tampilan Data: Menyajikan hasil pengukuran di layar LCD dengan data viskositas dan status kelayakan oli.

Pertama dengan Metode Observasi atau dilakukan pengamatan alat dan pengumpulan data yang berkaitan dengan uji coba viskositas oli. Minyak pelumas atau oli yang dipakai dibatasi pada beberapa produk Shell Advance 4T AX7, Enduro 4T Racing, Castrol Power 1 4T, Fastron Techno dan Mobil Super Moto dengan kekentalan oli semua pada SAE 10W-40. Tahap selanjutnya melihat grafik perubahan viskositas kinematik (cSt) akibat kenaikan temperatur pada minyak pelumas yang bisa dilihat pada gambar 1.a. Pada gambar 1.a. menunjukkan bahwa oli Castrol pada suhu 40°C memiliki viskositas kinematik sebesar 65.71 cSt, yang turun menjadi 13.06 cSt pada suhu 100°C . Hal ini menunjukkan bahwa viskositas berbanding terbalik dengan suhu; saat suhu meningkat, viskositas menurun. Suhu juga berpengaruh dalam mesin sepeda motor yang beroperasi, di mana gesekan tinggi menghasilkan panas, sehingga mengurangi viskositas minyak pelumas yang digunakan [13].



Gambar 1. a. Grafik Perubahan Viskositas Kinematik Akibat Kenaikan Temperatur Pada Minyak Pelumas Oli Castrol Power 1 4T SAE 10W-40. Gambar 1.b. Bola jatuh di oli

Hukum Stokes menjelaskan pengaruh fluida kental terhadap benda yang bergerak di dalamnya. Ketika sebuah bola bergerak melalui cairan diam yang memiliki kekentalan, gaya hambat akan muncul. Berdasarkan hukum ini, saat mengamati benda yang jatuh melalui medium cair, kita akan melihat bahwa gaya gesek semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan jatuh benda tersebut [14]. Prinsip Viskometer Bola Jatuh berfokus pada pengukuran durasi yang diperlukan oleh bola pejal ketika dijatuhkan secara vertikal ke dalam tabung gelas yang berisi cairan statis. Metode ini menentukan nilai koefisien viskositas cairan dengan mengikuti aturan yang ditetapkan oleh Hukum Stokes.

Dalam hukum stokes menyatakan bagaimana pengaruh fluida kental terhadap benda yang bergerak didalamnya, selain itu juga menyatakan bila bola bergerak didalam zat cair yang diam dimana zat cair tersebut mempunyai kekentalan maka akan terjadi gaya hambat tersebut . Berdasarkan hukum Stokes, saat sebuah benda jatuh melalui cairan, gaya gesek yang dialaminya meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan jatuh benda tersebut. Ketika benda mencapai kecepatan konstan, gaya gesek yang bekerja pada benda (F_r) dapat dinyatakan dengan hubungan berikut:

$$F_r = 6. \pi \mu. r v \quad (1)$$

Dengan menggunakan hukum stokes dapat dicari nilai koefisien viskositas oli. Selain terjadi gaya gesek (F_r), terjadi pula gaya apung (F_a), dan berat (W)

$$\begin{aligned} F_r &= W - F_a \\ F_r &= W - F_a \\ F_a &= \rho_{fluida} \cdot V_{bola} \cdot g \end{aligned} \quad (2)$$

Sehingga dengan rumus tersebut bisa diaplikasikan dalam memenuhi perubahan bola tembaga yang diuji pada sebuah tabung yang akan mendukung perhitungan viscometer pada oli yang bisa dilihat pada gambar 1.b. sehingga nilai viskositas bisa dihitung dengan kecepatan jatuhnya logam (v) pada larutan oli dengan melihat kerapatan logam (ρ) dan nilai kerapatan fluida (ρ_0) pada rumus 3.

$$\mu = \frac{2.r^2.g.(\rho-\rho_0)}{9.v} \quad (3)$$

Kalibrasi pada alat ukur kelayakan oli dilakukan dengan cara menguji 5 tipe oli sebanyak 10 kali pada temperatur 40° Celcius dan menguji oli sebanyak 10 kali pada temperatur 100° Celcius. Kemudian setelah mendapat nilai percobaan, setiap nilai percobaan dibagi dengan nilai acuan, lalu setelah mendapat nilai dari hasil pembagian antara nilai percobaan dengan nilai acuan, maka nilai hasil pembagian dirata-rata untuk mendapatkan nilai kalibrasi. Berikut adalah tabel 1 hasil percobaan sebelum dikalibrasi dimana rata-rata nilainya sebesar 1.21 cSt.

Tabel 1. Hasil Pengujian Oli Castrol Pada Temperatur 40° C Sebelum Di Kalibrasi

No.	Jenis oli	Massa jenis oli suhu 40° C	Nilai acuan	Viskositas kinematik yang diuji	Koefisien viskositas	Nilai dibagi
1	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	78.97 cSt	61.59 poise	1.19 cSt
2	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	79.44 cSt	61.96 poise	1.20 cSt
3	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	78.85 cSt	61.50 poise	1.19 cSt
4	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	78.68 cSt	61.37 poise	1.19 cSt
5	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	81.16 cSt	63.31 poise	1.22 cSt
6	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	80.07 cSt	62.45 poise	1.21 cSt
7	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	81.55 cSt	63.61 poise	1.23 cSt
8	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	79.34 cSt	61.88 poise	1.20 cSt
9	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	81.16 cSt	63.31 poise	1.22 cSt
10	castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	80.71 cSt	62.95 poise	1.22 cSt

Dalam tabel 2 setelah mendapat nilai rata-rata hasil pembagian, nilai rata-rata tersebut dijadikan nilai kalibrasi untuk dimasukkan kedalam program, apabila nilai yang dari hasil uji coba kurang dari

nilai acuan maka didalam program nilai rata-rata dikali dengan nilai koefisien viskositas, jika nilai dari hasil uji coba lebih dari nilai acuan maka nilai koefisien viskositas dibagi dengan nilai rata-rata. Dalam tabel 2 nilai hasil uji coba lebih dari nilai acuan sehingga nilai koefisien viskositas dapat dibagi dengan nilai rata-rata supaya nilai viskositas kinematik dapat mendekati nilai acuan. Berikut adalah tabel setelah dikalibrasi:

Tabel 2. Hasil Pengujian Oli Castrol Pada Temperatur 40° C Setelah Di Kalibrasi

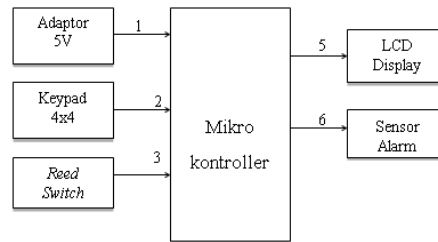
Nomor	Jenis oli	Massa jenis oli suhu 40° C	Nilai acuan	Viskositas kinematik yang diuji	Koefisien viskositas
1	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	65.81 cSt	51.33 poise
2	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	66.20 cSt	51.63 poise
3	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	65.71 cSt	51.26 poise
4	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	65.57 cSt	51.14 poise
5	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	67.64 cSt	52.76 poise
6	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	66.73 cSt	52.04 poise
7	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	67.96 cSt	53.01 poise
8	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	66.12 cSt	51.57 poise
9	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	67.64 cSt	52.76 poise
10	Castrol	0.78 gr/cm ³	66 cSt	67.26 cSt	52.46 poise
			Rata-rata	66.664 cSt	

Pada gambar tabel 3 diketahui bahwa oli Castrol Power 1 4T SAE 10W-40 pada temperatur 40° Celcius memiliki nilai viskositas kinematik 66 cSt dan pada temperatur 100° Celcius memiliki nilai viskositas kinematik 13.5 cSt pada 0 km yang tertera pada datasheet oli yang didapatkan dari sumber resmi castrol.

Tabel 3. Datasheet Oli Castrol Power 1 4T SAE 10W-40

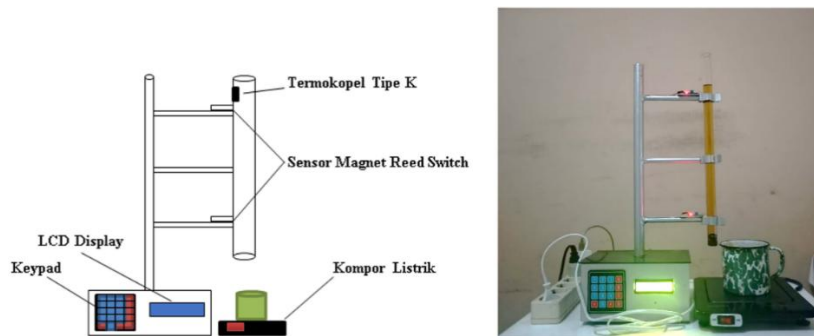
Characteristic	Method	Shell Advance 4T AX7 SAE 10W-40
SAE Viscosity Grade Density at 15° C, Relative	ASTMD-4052	Report
Kinematik Viscosity at 40° C, Cst	ASTMD-445	66
At 100° C, Cst	ASTMD-445	13.5
Viscosity Index	ISO 2909	145
Colour	-	Clear & Bright
Viscosity, CCS -25C (10W)	ASTM-D 5293	5000
Total Bose Number, mg KOH/g	ASTM-D 2896	9.8

Adapun ruang lingkup dalam pembatasan bahan dalam pembuatan seperti, ukuran dimensi luar tabung ± 20 mm, ukuran dimensi dalam tabung ± 18 mm, ukuran tinggi tabung ± 400 mm, Ukuran tinggi plat besi ± 500 mm untuk menyangga tabung, ukuran tinggi antar sensor ± 260 mm, ukuran bola magnet ± 13,1 mm, menggunakan sensor Termokopel tipe K MAX6675, menggunakan sensor magnet Reed Switch, tampilan output sebagai penampil hasil nilai kekentalan oli dengan menggunakan LCD 6x12, input memasukan nilai angka dengan menggunakan Keypad 4x4, penanda untuk terjadi kesalahan dengan bunyi dengan menggunakan buzzer, dan menggunakan kompor listrik untuk memanaskan oli. Diagram blok pada gambar 3 merupakan sistem, dimana fungsi yang diwakili oleh blok dihubungkan dengan garis. Diagram blok dapat memberikan gambaran dari cara kerja sistem untuk menyelesaikan masalah. Rancangan dari rancang bangun alat ukur kelayakan pakai oli sebagai berikut



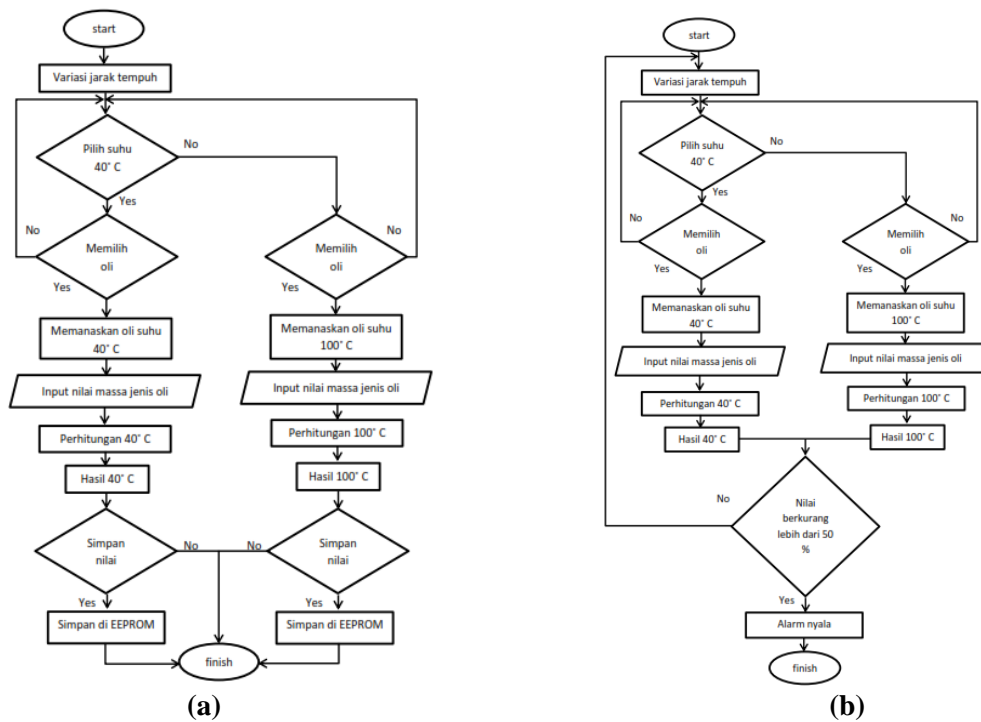
Gambar 3. Blok Diagram Alat Ukur Kelayakan Oli

Pada gambar 4 merupakan desain alat ukur kelayakan oli bagian depan. Perangkat keras yang terpasang adalah keypad, LCD, kompor listrik serta sensor magnet reed switch. Keypad berfungsi untuk memilih temperatur oli berapa yang diukur, memilih oli apa yang diukur, serta menginputkan nilai massa jenis oli.



Gambar 4. Blok Diagram Alat Ukur Kelayakan Oli

Setelah dilakukan pembentukan perangkat keras, bisa dilakukan dengan perancangan perangkat lunak untuk membantu proses perhitungan dengan waktu yang dibutuhkan bola magnet bisa melakukan proses jatuh pada tabung oli, sehingga bisa melihat viskositas oli tersebut. Pertama dengan menyalakan alat, kemudian diikuti memilih suhu pengukuran (40°C atau 100°C) melalui keypad, memilih oli: Pilih jenis oli (Enduro, Shell, Castrol, Fastron, Mobil) di keypad. Masukkan massa jenis dengan input nilai massa jenis oli melalui keypad. Mulai pengukuran dengan memasukkan bola magnet ke tabung, timer mulai saat bola melewati sensor pertama. Pada waktu penghentian timer yaitu timer berhenti saat bola melewati sensor kedua. Proses terakhir dengan proses perhitungan pada Arduino UNO menghitung dan menampilkan viskositas kinematik pada LCD. Dan hasil simpan hasil dengan menekan tombol "#" untuk menyimpan data ke EEPROM yang bisa dilihat pada gambar 5.a. Proses ini dilakukan untuk dilakukan perekaman nilai Oli pada waktu 0 km, dimana oli tersebut belum mengalami fungsi gesek, setelah disimpan data tersebut bisa menjadi referensi awal, dan kemudian nilai di cek pada waktu sudah mengalami proses berjalan mesin hingga 3000 km. Setelah mengetahui nilai viskositas kinematik, jika nilai viskositas kinematik lebih kecil kurang dari sama dengan 50% maka alarm buzzer akan menyala dan terdapat peringatan pada LCD sebagai tanda oli waktunya ganti. Ada pun flowchart yang dapat dilihat pada gambar 5b.



Gambar 5. a. Flowchart Program Saat 0 Km dan b. Flowchart Program Saat 3000 Km

Pada penelitian ada beberapa langkah validasi dan reliabilitas yang bisa dilakukan. Pada langkah validasi alat bertujuan untuk memastikan bahwa prototipe Falling Ball Viscometer mengukur viskositas dengan cara yang benar dan sesuai dengan standar yang berlaku. Beberapa langkah validasi yang bisa dilakukan adalah pengujian dengan cairan yang dikenal (standard fluid), pengujian pada berbagai kondisi suhu, pengujian dengan merek oli yang berbeda. Pada pengujian dengan cairan yang dikenal (Standard Fluid) yaitu dengan melakukan pengujian menggunakan cairan dengan viskositas yang sudah diketahui dan terukur, seperti air atau oli dengan viskositas yang terstandarisasi, untuk memverifikasi bahwa alat berfungsi dengan baik. Perbandingan hasil dengan nilai viskositas standar akan membantu memastikan alat bekerja sesuai dengan prinsip yang diharapkan. Standard fluid yang digunakan adalah dengan cairan oli standard keluaran pabrik pada merk yang diuji coba dan semuanya dengan kekentalan standard oli SAE 10W-40. Dan pengujian semua dengan merk oli yang berbeda yaitu Enduro 4T Racing, Shell Advance 4T, Castrol Power 1 4T, Fastron Techno, dan Mobil Supermoto. Dan Uji alat pada suhu yang berbeda (misalnya, 40°C dan 100°C) untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh stabil dan dapat diandalkan pada rentang suhu yang relevan dengan aplikasi kendaraan, mengingat viskositas sangat dipengaruhi oleh suhu.

Pada reliabilitas penelitian ini Reliabilitas alat mengukur sejauh mana alat memberikan hasil yang konsisten dan dapat dipercaya dalam berbagai percobaan. Langkah-langkah yang dapat meningkatkan reliabilitas alat adalah: Uji Reproduksibilitas dengan melakukan pengujian berulang kali pada oli yang sama dalam kondisi yang serupa untuk memastikan bahwa hasil pengukuran viskositas konsisten. Dan pada penelitian ini dilakukan 5-10 kali pengujian pada oli yang sama dan periksa seberapa besar variasi hasil yang didapatkan dan ini bisa dilihat pada bab hasil dan pembahasan, dimana jika hasil pengukuran sangat bervariasi, ada kemungkinan masalah dengan alat atau prosedur pengujian yang perlu diperbaiki. Pada pengujian dengan Variasi Parameter ini dilakukan pengujian dengan mengubah variabel tertentu, misalnya, variasi waktu jatuh bola atau jenis bola magnet yang digunakan yang bisa dilihat pada hasil tabel 5 dimana bisa memakai nilai parameter koefisien viskositas yang bisa dirubah beberapa macam dimana ini akan membantu mengidentifikasi dan meminimalkan potensi sumber kesalahan atau ketidakstabilan dalam hasil yang diukur. Pada pengujian kestabilan dimana melakukan pengujian pada alat setelah waktu yang lama untuk memastikan bahwa alat tetap stabil dalam memberikan hasil yang konsisten meskipun sudah digunakan dalam jangka waktu lama atau setelah banyak kali pengujian dan hasilnya nanti bisa diuji dengan data tabel uji coba dari pabrik untuk melihat seberapa jauh perbedaan hasilnya, ini bisa dilihat pada tabel 6.

III.HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan ini akan membahas prosedur pengujian dan hasil dari percobaan viskositas oli. Dalam prosedur pengujian, alat yang digunakan dalam alat ukur kelayakan oli seharusnya menggunakan mug listrik yang berfungsi untuk memanaskan oli dari suhu 40° Celcius dan 100° Celcius, menggunakan relay sebagai penghubung atau pemutus arus listrik apabila mug listrik telah mencapai target suhu yang diinginkan, serta sensor termokopel tipe K yang berfungsi untuk mengukur temperatur, namun setelah di uji coba termokopel tipe K terlalu lambat dalam membaca temperatur sehingga selisih temperatur yang di uji coba dengan yang diinginkan jauh, sehingga mempengaruhi waktu jatuh bola magnet dan nilai viskositas. Pada akhirnya mug listrik, relay dan termokopel tipe k tidak dipakai dan menggunakan 2 kompor listrik dengan watt yang berbeda yaitu 600 watt untuk mengukur temperatur 100° Celcius dan kompor 70 watt untuk mengukur temperatur 40° Celcius. Serta termokopel digital untuk mengukur temperatur.

Uji coba pada pembuatan alat ukur kelayakan pakai oli SAE 10W-40 menggunakan metode falling ball viscometer (FBV) berbasis mikrokontroler. Tahap uji coba dibagi menjadi 4 hal yaitu pengujian keypad, pengujian sensor magnet reedswitch, pengujian oli, dan pengujian keseluruhan. Gambar 6 menunjukkan keterangan untuk memilih temperatur yang diuji, temperatur yang dimaksud adalah temperatur 40° celcius atau temperatur 100° Celsius dan juga dalam pemilihan tipe oli.



Gambar 6. Keterangan Memilih Temperatur dan Memilih Oli

Pengujian selanjutnya adalah pengujian untuk mengetahui nilai koefisien viskositas oli dan nilai viskositas kinematik oli, pengujian dilakukan dengan menguji pada 2 temperatur yaitu temperatur 40° Celcius dan 100° Celcius dan jarak tempuh 0 km dan 3000 km. terdapat 5 oli yang diuji yaitu oli enduro SAE 10W-40, oli shell SAE 10W-40, oli castrol SAE 10W-40, oli fastron SAE 10W-40, dan oli mobil SAE 10W-40. Oli pertama yang diuji adalah oli enduro SAE 10W-40 pada temperatur 40° Celsius yang bisa dilihat pada tabel 4.

Tabel 5. Hasil Pengujian Oli Enduro Racing 4T SAE 10W-40 Pada Temperatur 40° C

No.	Jenis oli	Massa jenis oli suhu 40° C	Nilai acuan	Viskositas kinematik yang diukur	Koefisien viskositas	Mutlak koreksi
1	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	103.1 cSt	80.44 poise	1.8
2	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	103.5 cSt	80.75 poise	1.4
3	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	104.1 cSt	81.24 poise	0.8
4	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	102.6 cSt	80.08 poise	2.3
5	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	106.8 cSt	83.38 poise	1.9
6	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	104.3 cSt	81.39 poise	0.6
7	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	106.9 cSt	77.01 poise	2
8	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	104.4 cSt	75.23 poise	0.5
9	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	101.6 cSt	79.31 poise	3.3
10	Enduro	0.78 gr/cm ³	104.9 cSt	104.5 cSt	81.52 poise	0.4
			Rata-rata	104.18 cSt		1.5
			StDev	1.6738		

Pada tabel 5 merupakan hasil pengujian oli enduro SAE 10W-40 pada temperatur 40° Celcius dan 0 km dimana dari 10 kali percobaan didapat rata-rata nilai viskositas kinematik yaitu 104.18 cSt. Nilai mutlak koreksi yaitu 1.5, dan nilai standart deviasi yaitu 1.6738. Jika nilai mutlak koreksi lebih besar dari nilai standart deviasi maka tidak perlu melakukan kalibrasi kembali.

$$1 - 2,104 \left(\frac{d}{D}\right) + 2,09 \left(\frac{d}{D}\right)^3 - 0,9 \left(\frac{d}{D}\right)^5 \quad (4)$$

$$1 - 2,104 \left(\frac{13,1\text{mm}}{20\text{mm}} \right) + 2,09 \left(\frac{13,1\text{mm}}{20\text{mm}} \right)^3 - 0,9 \left(\frac{13,1\text{mm}}{20\text{mm}} \right)^5$$

$$1 - 2,104(0,655) + 2,09(0,655)^3 - 0,9(0,655)^5$$

$$1 - (1,37812) + (0,58731) - (0,10850) = 0,09$$

Berikut adalah urutan perhitungan untuk mengetahui nilai koefisien viskositas dan viskositas kinematik, berikut adalah contoh perhitungan dimana data yang diketahui adalah Salah satu nilai viskositas kinematik yang didapat dari hasil uji coba pada alat ukur kelayakan oli adalah 104,3 *poise*, massa bola = 6,20 gr. Diameter bola = 13.1 mm. Jari-jari bola = 6.55mm = 0,655 cm. Diameter tabung = 20 mm. Jari-jari tabung = 10 mm. Panjang lintasan aliran oli = 34 cm. kemudian dengan beberapa rumus $\rho = \frac{m}{V} = \frac{6,20\text{gr}}{\frac{4}{3}\pi.r^3} = 5,26 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$, $\rho_{40^\circ\text{C}} = 0,78 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$. Selanjutnya bisa dihitung faktor koreksi pada rumus (4) dan rumus (5) pada menghitung nilai koefisien viskositas dan viskositas kinematik dengan $t_{40^\circ\text{C}} = 0,80 \text{ sec}$

$$\mu = \left\{ \frac{2.r^2.g.(\rho_{\text{bola}}-\rho_{\text{fluida}}).f}{9.x} \right\} . t \quad (5)$$

$$\mu_{40^\circ\text{C}} = \left\{ \frac{2.(0,655\text{cm})^2.981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} . (5,26 - 0,78) \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} . 0,09}{9.34\text{cm}} \right\} . 0,80\text{sec}$$

$$= \left\{ \frac{0,86\text{cm}^2 . 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} . 4,48 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} . 0,09}{306\text{cm}} \right\} . 0,80\text{sec}$$

$$= 0,8893 \frac{\text{dyne. sec}}{\text{cm}^2}$$

$$= \frac{0,8893 \text{ poise}}{1,10}$$

$$= 0,8084 \text{ poise}$$

Dan akhirnya selisih nilai viskositas kinematik antara perhitungan manual dengan alat ukur kelayakan oli adalah 0,7 dengan menghitung viskositas kinematik.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (6)$$

$$v = \frac{0,8084 \frac{\text{dyne. sec}}{\text{cm}^2}}{0,78 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 1,036 \text{ stokes} = 103,6 \text{ centistokes}$$

Berikut adalah tabel 6 memperlihatkan perbandingan dari 5 oli antara nilai viskositas kinematik data tabel dari pabrik dengan nilai rata-rata viskositas kinematik data dari hasil uji coba alat kelayakan oli pada temperatur 40° Celcius:

Tabel 6. Perbandingan Antara Nilai Viskositas Kinematik Data Tabel Pabrik Dengan Nilai Data Hasil Uji Coba Pada Suhu 40° Celcius

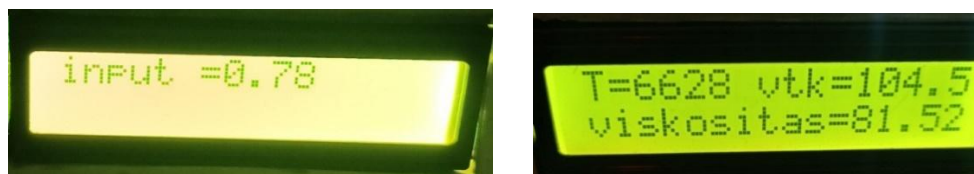
Nomor	Jenis Oli	Nilai Data Tabel Pabrik	Nilai Data Hasil Uji Coba	Nilai Koreksi	Standart Deviasi
1	Enduro	104.9 cSt	104.18 cSt	1.5	1.6738
2	Shell	98.6 cSt	97.60 cSt	1.248	1.1437
3	Castrol	66 cSt	66.66 cSt	0.846	0.9001
4	Fastron	99.28 cSt	90.25 cSt	0.855	1.2490
5	Mobil	100 cSt	100.91 cSt	1.3	1.453

Pada tabel 6 merupakan perbandingan nilai viskositas kinematik antara data perhitungan manual dengan nilai data dari hasil uji coba alat kelayakan oli pada temperatur 40° Celcius, didapat selisih nilai dari 5 tipe oli adalah 0.12 – 0.7. Pengukuran berikutnya adalah tabel 7 perbandingan dari 5 oli antara nilai viskositas kinematik data perhitungan manual dengan nilai rata-rata viskositas kinematik data dari hasil uji coba alat kelayakan oli pada temperatur 100° Celcius:

Tabel 7. Perbandingan Antara Nilai Viskositas Kinematik Data Tabel Pabrik Dengan Nilai Data Hasil Uji Coba Pada Suhu 100° Celcius

Nomor	Jenis Oli	Nilai Hasil Perhitungan	Nilai Hasil Uji Coba	Selisih Nilai
1	Enduro	17.85 cSt	15.69 cSt	2.16
2	Shell	15.25 cSt	15.84 cSt	0.59
3	Castrol	13.45 cSt	13.78 cSt	0.33
4	Fastron	13.78 cSt	14.52 cSt	0.74
5	Mobil	14.23 cSt	14.29 cSt	0.06

Setelah memilih oli yang pertama seperti pada gambar 6 yaitu oli enduro. Setelah memilih oli yang akan diuji maka selanjutnya adalah menginputkan nilai massa jenis oli. Kemudian menginputkan nilai massa jenis oli enduro pada temperatur 40° C yaitu 0.78. selanjutnya setelah menginputkan nilai massa jenis oli enduro pada temperatur 40° C adalah mengukur waktu lama bola jatuh pada gambar 7.

**Gambar 7. Keterangan inputkan Nilai Massa Jenis Oli, dan Hasil Pengukuran Oli**

Untuk memperluas analisis hasil dan membandingkan implikasi hasil terhadap efisiensi dan efektivitas perawatan mesin berdasarkan hasil pembahasan penelitian ini bisa dijabarkan yaitu pada hubungan hasil viskositas dengan kinerja mesin dimana efek viskositas terhadap gesekan dan performa mesin bagaimana perubahan viskositas oli mempengaruhi gesekan antar komponen mesin. Oli dengan viskositas yang lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai yang disarankan dapat menyebabkan gesekan yang lebih besar, yang pada gilirannya mengurangi efisiensi bahan bakar dan meningkatkan keausan mesin, dimana implikasi dengan mengetahui penurunan viskositas oli setelah jarak tempuh tertentu, pengguna kendaraan dapat lebih tepat dalam memilih waktu penggantian oli yang optimal, yang berdampak langsung pada pemeliharaan kinerja mesin dimana bisa dilihat hasil penurunan nilai viskositas pada 0 km dan 3000 km pada pengujian temperature 40 derajat Celcius pada tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Nilai Viskositas Kinematik Saat 0 KM Dan 3000 KM Pada Temperatur 40° C

Nomor	Jenis oli	Nilai viskositas kinematik 0 km	Nilai viskositas kinematik 3000 km	Selisih nilai
1	Enduro	104.61 cSt	60.40 cSt	42%
2	Shell	98.46 cSt	77.90 cSt	21%
3	Castrol	66.01 cSt	50.02 cSt	24%
4	Fastron	90.97 cSt	62.95 cSt	31%
5	Mobil	100.62 cSt	67.36 cSt	33%

Pada tabel 8 merupakan perbandingan nilai viskositas kinematik oli saat 0 km dan 3000 km pada temperatur 40° Celcius. Didapat selisih nilai yaitu 21% - 42%, dan alarm buzzer tidak berbunyi karena nilai viskositas kinematik dari 5 tipe oli berkurang tidak lebih dari 50%.

Tabel 9. Perbandingan Nilai Viskositas Kinematik Saat 0 KM Dan 3000 KM Pada Temperatur 100° C

Nomor	Jenis oli	Nilai viskositas kinematik 0 km	Nilai viskositas kinematik 3000 km	Selisih nilai
1	Enduro	15.58 cSt	11.76 cSt	25%
2	Shell	15.72 cSt	11.07 cSt	30%
3	Castrol	13.68 cSt	9.78 cSt	29%
4	Fastron	14.75 cSt	10.52 cSt	29%
5	Mobil	14.28 cSt	10.88 cSt	24%

Pada tabel 9 merupakan perbandingan nilai viskositas kinematik oli saat 0 km dan 3000 km pada temperatur 100° Celcius. Didapat selisih nilai yaitu 24% - 30%, dan alarm buzzer tidak berbunyi karena nilai viskositas kinematik dari 5 tipe oli berkurang tidak lebih dari 50%.

Dari tabel 8 dan 9 dilihat perbandingan oli dengan viskositas yang ideal, dimana dalam penelitian ini, oli yang diuji menunjukkan penurunan viskositas, misalnya, 21%-42% pada suhu 40°C setelah jarak 3000 km ataupun pada suhu 100°C akan berdampak dari penurunan viskositas tersebut terhadap kinerja mesin dan bagaimana perawatan mesin yang lebih tepat dapat dilakukan dengan mengganti oli pada saat yang tepat, apabila dilihat hasil standard keduanya tidak lebih dari 50% maka memungkinkan bisa lebih dari 3000 km, tetapi lebih baik idealnya mengganti waktu 3000 km karena implikasi dalam membandingkan viskositas oli yang masih dalam batas toleransi dengan oli yang sudah mengalami penurunan viskositas memungkinkan pengguna kendaraan untuk mengoptimalkan siklus penggantian oli, menghindari kerusakan mesin akibat oli yang sudah tidak optimal lagi.

Dari pengujian semuanya ini saran untuk industri pelumas yaitu pengembangan oli dengan stabilitas viskositas yang lebih baik dengan berdasarkan temuan mengenai penurunan viskositas oli yang signifikan pada suhu tertentu, saran untuk industri pelumas adalah untuk mengembangkan produk oli yang lebih tahan terhadap perubahan viskositas, dengan mempertimbangkan faktor suhu dan jarak tempuh yang lebih besar dengan implikasi dalam hasil penelitian ini dapat memberikan dasar bagi produsen oli untuk meningkatkan formulasi oli yang lebih stabil, yang tidak hanya memperpanjang umur mesin, tetapi juga memberikan nilai lebih bagi konsumen dalam hal efisiensi dan penghematan biaya.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan pada oli saat 0 km hingga 3000 km menunjukkan bahwa nilai viskositas dari 5 oli yang diukur pada temperatur 40° Celcius mengalami penurunan nilai viskositas kinematik sebesar 21%-42%. Pada temperatur 100° Celcius mengalami penurunan nilai viskositas kinematik sebesar 24%-30%.

Hasil perhitungan antara alat ukur kelayakan oli dengan perhitungan manual pada temperatur 40° Celcius memiliki selisih sebesar 0.12–0.7. Pada temperatur 100° Celcius memiliki selisih sebesar 0.06–2.16.

Hasil dari pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai viskositas kinematik pada alat ukur kelayakan oli yang dibuat dengan nilai tabel yang diberikan oleh pabrik dari 5 merk oli pada temperatur 40° Celcius memiliki rata-rata nilai koreksi 0.84-1.5. Pada temperatur 100° Celcius memiliki rata-rata nilai koreksi 0.23-0.40.

Alat ini bisa menjadi rekomendasi bagi bengkel atau usaha yang bergerak di bidang oli kendaraan dimana nilai yang dihasilkan pada penelitian dengan diukur dengan tabel hasil dari pabrik dan pengujian secara manual tidak memiliki perbedaan hasil yang jauh, dimana bisa dilihat nilai koreksi yang rendah, dan selisih dengan tabel oli yang relatif hampir kecil nilainya.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agus Supriyanto, & Wegie Ruslan, "Analisis Jenis Minyak Pelumas Terhadap Kinerja Mesin Pada Motor 110cc," *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, vol.1, no.2, pp. 1-6, 2021, doi.org/10.36805/jtmmx.v1i2.1389.
- [2] R. Meiliana, Syahputra, and Fauzan, "Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas Minyak Pelumas Shell Mysella S3N40 Pada Mesin Gas Type W18V50SG Di PLTMG Sumbagut -2 Peaker," *Jurnal Tektro*, vol. 6, no. 1, pp. 92–97, 2022.
- [3] Abdurohman, "Analisis Pengaruh Turunnya Tekanan Minyak Pelumas Terhadap Kinerja Motor Diesel Penggerak Utama," *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, vol. 4, no. 1, pp. 28–37, 2022, doi.org/10.51578/j.sitektransmar.v4i1.47.
- [4] Dumatubun, H., & Amir, A, "Pengaruh Kerusakan Precleaner Terhadap Sistem Pelumasan Pada Excavator Cat Type 349 PT. Trakindo Utama," *Jurnal Teknik AMATA*, vol. 1, no. 2, pp. 22–29, 2021. doi.org/10.55334/jtam.v2i2.131.
- [5] Surbakti, Renaldo Et Al, "Pengaruh Penggunaan Variasi Viskositas Oli Pada Motor Bakar 4 Tak Kapasitas

- 225cc Terhadap Daya, Torsi Dan Kebisingan Mesin,” *Jurnal Teknologi Mesin Uda*, [S.L.], vol. 3, no. 2, pp. 268 – 284, 2022.
- [6] Petrus Nainggolan, I Gede Eka Lesmana, Rovida Camalia Hartantrie, “Analisis Pengaruh Pelumas Berdasarkan Viskositas Terhadap Konsumsi Bahan Bakar, Daya, Dan, Torsi Pada Motor 150 CC,” *Kocenin Serial Konferensi*. vol. 1, no. 1, pp. 241-248, 2021.
- [7] Jalaluddin, S. Akmal, N. Za, and Ishak, “Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD),” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 8, no. 2, pp. 53–72, 2019.
- [8] Dika Septayama Putra, Ariyanto, Indra Feriadi, “Pengaruh Variasi Waktu Operasi Mesin Terhadap Perubahan Nilai Viskositas Dan Total Acid Number Untuk Pelumas Gearbox,” *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, vol. 1, no. 1, 2023.
- [9] J. Sentanuhady et al., “Analisis Pengaruh Biodiesel B20 Dan B100 Terhadap Degradasi Viskositas Dan Total Base Number Minyak Pelumas Pada Mesin Diesel Yang Beroperasi Dalam Jangka Panjang Dengan Metode ASTM D2896 Dan ASTM D445- 06,” *Teknik Jurnal Univ. Diponegoro*, vol. 41, no. 3, pp. 269–274, 2020, doi: 10.14710/teknik.v41i3.32515.
- [10] Nina Lestari, Muhamad Anton Fauzi, dan Aji Nurcahya, “Perancangan Sistem Monitoring Penggantian Oli pada Sepeda Motor Berdasarkan Jarak Tempuh,” *Jurnal Techno-Socio Ekonomika*, vol. 13, no. 1. 2020.
- [11] R. A. Santana, D. Risqiwati, and Z. Sari, “Rancang Bangun Sistem Informasi Servis Oli Sepeda Motor Menggunakan Odometer Berbasis LBS,” *Jurnal Kinetik*, vol. 1, no. 1 2017 , Doi: 10.22219/kinetik.v2i1.98
- [12] A. Trisetiyanto dan Djuniadi, “Pengembangan Sistem Peringatan Ganti Oli Pada Sepeda Motor,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol.3, no. 1. 2011.
- [13] Andi Hendrawan, Aris Sasongko, Muhamad Dafa, “Pengaruh Umur Pelumasan Terhadap Suhu Mesin Induk Km. Logistik Nusantara 4,” *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*. Vol. 3, no. 2, 2021.
- [14] Putri, Bias M. L., et al. "Pembuatan Prototipe Viskometer Bola Jatuh Menggunakan Sensor Magnet dan Bola Magnet." *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 5, no. 2, 2015.