

Rancang Bangun Mesin Filter Oli Bekas Berbasis Arduino

Patrio Fausi Lewa^{1*}, Yosrhil², Lewi³ dan Firman Hamzah⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: yosrhil25@gmail.com

Abstract: *The increasing use of lubricating oil in Indonesia has resulted in a significant amount of used oil waste, which is classified as hazardous and toxic material (B3). One liter of used oil can contaminate millions of liters of groundwater and reduce soil fertility, with an estimated waste volume of around 520 million liters per year. This research aims to design a used oil filter machine based on Arduino as a solution for reusing waste oil. The system employs an Arduino Uno integrated with temperature, pressure, level (ultrasonic and float), and flow rate sensors to monitor the filtration process in real time, along with LED indicators for pump and pressure status. Test results show that the filter is capable of reducing viscosity, removing particles, and improving the color of used oil, thereby enhancing its quality and feasibility for recycling and reuse, although additional substances are still required for broader applications.*

Keywords: *used oil; filtration; mikrokontroler; automation system*

Abstrak: Penggunaan minyak pelumas di Indonesia terus meningkat sehingga menghasilkan limbah oli bekas yang tergolong B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Satu liter oli bekas dapat mencemari jutaan liter air tanah dan menurunkan kesuburan tanah, dengan estimasi limbah mencapai sekitar 520 juta liter per tahun. Penelitian ini bertujuan merancang mesin filter oli bekas berbasis Arduino sebagai solusi pemanfaatan kembali oli bekas. Sistem menggunakan Arduino Uno yang terintegrasi dengan sensor suhu, tekanan, level (ultrasonik dan pelampung), serta laju aliran untuk memantau proses filtrasi secara real time dan LED sebagai indikator pompa dan tekanan. Hasil pengujian menunjukkan filter yang digunakan mampu mengurangi kekentalan dan membersihkan oli dari partikel – partikel dan memperbaiki warna oli bekas, sehingga meningkatkan kualitas dan kelayakan oli bekas untuk di daur ulang dan digunakan kembali walaupun perlu tambahan zat lain untuk penggunaan yang lebih luas.

Kata kunci: oli bekas; filtrasi; mikrokontroler; sistem otomasi

I. PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan minyak pelumas pada sektor industri dan otomotif menyebabkan bertambahnya volume limbah oli bekas setiap tahunnya. Oli bekas termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) karena mengandung berbagai senyawa berbahaya seperti logam berat, hidrokarbon aromatik polisiklik, serta residu aditif kimia yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik [1], [2]. Limbah oli bekas yang dibuang secara sembarangan berpotensi mencemari tanah dan air tanah, bahkan satu liter oli bekas dapat mencemari jutaan liter air bersih dan menurunkan kualitas lingkungan secara signifikan [3]. Oleh karena itu, pengelolaan dan pemanfaatan kembali oli bekas menjadi salah satu upaya penting dalam mengurangi dampak pencemaran lingkungan.

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mengolah oli bekas adalah proses filtrasi atau penyaringan. Metode ini bertujuan untuk memisahkan partikel padat, kotoran, dan kontaminan yang terkandung di dalam oli sehingga kualitasnya dapat diperbaiki dan memungkinkan untuk digunakan kembali dalam aplikasi tertentu [4]. Teknologi filtrasi memiliki keunggulan karena relatif sederhana, mudah diterapkan, dan dapat meningkatkan kejernihan serta stabilitas oli setelah proses pemurnian.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan metode pemurnian oli bekas dengan menggunakan kombinasi media filtrasi seperti karbon aktif, zeolit, pasir silika, serta membran keramik. Media filtrasi tersebut terbukti mampu menyerap kontaminan dan memperbaiki sifat fisik oli, seperti warna, kejernihan, dan viskositas [5], [6]. Namun demikian, sebagian besar sistem filtrasi yang

digunakan masih bersifat manual sehingga proses penyaringan kurang efisien dan sulit dipantau secara konsisten.

Perkembangan teknologi otomasi dan sistem kendali berbasis mikrokontroler memberikan peluang untuk meningkatkan kinerja sistem filtrasi secara lebih efektif dan terkontrol. Mikrokontroler seperti Arduino banyak digunakan dalam berbagai sistem otomasi karena memiliki biaya yang relatif rendah, mudah diprogram, serta mampu mengintegrasikan berbagai sensor dan aktuator dalam satu sistem kontrol terpadu [7]. Dengan memanfaatkan teknologi ini, proses filtrasi dapat dimonitor dan dikendalikan secara otomatis berdasarkan parameter tertentu seperti tekanan, suhu, ketinggian cairan, serta laju aliran fluida.

Pada sistem filtrasi oli bekas, penggunaan sensor tekanan dan sensor aliran sangat penting untuk memantau kinerja pompa dan memastikan proses penyaringan berlangsung secara stabil. Selain itu, sensor level seperti sensor ultrasonik dan pelampung dapat digunakan untuk mendeteksi volume cairan dalam tangki penyimpanan sehingga mencegah terjadinya kelebihan kapasitas atau kekosongan tangki selama proses operasi [8]. Integrasi berbagai sensor tersebut dengan sistem kontrol mikrokontroler memungkinkan proses filtrasi berjalan secara otomatis dan real time.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin filter oli bekas berbasis mikrokontroler Arduino yang mampu mengontrol proses penyaringan secara otomatis dengan memanfaatkan berbagai sensor sebagai parameter pemantauan. Sistem yang dirancang dilengkapi dengan pompa, katup solenoid, sensor tekanan, sensor suhu, sensor level, serta sensor laju aliran yang terintegrasi dengan Arduino sebagai pusat kendali. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan tampilan LCD dan indikator LED untuk memudahkan pengguna dalam memonitor kondisi operasi alat.

Dengan adanya sistem filtrasi otomatis ini diharapkan proses pemurnian oli bekas dapat dilakukan secara lebih efisien, aman, dan terkontrol sehingga mampu meningkatkan kualitas oli hasil penyaringan. Selain itu, pengembangan mesin ini juga diharapkan dapat menjadi salah satu solusi teknologi yang mendukung pengelolaan limbah oli bekas secara lebih ramah lingkungan serta memperluas penerapan teknologi otomasi berbasis mikrokontroler dalam bidang rekayasa lingkungan dan teknik mesin [9], [10].

II. METODE PENELITIAN

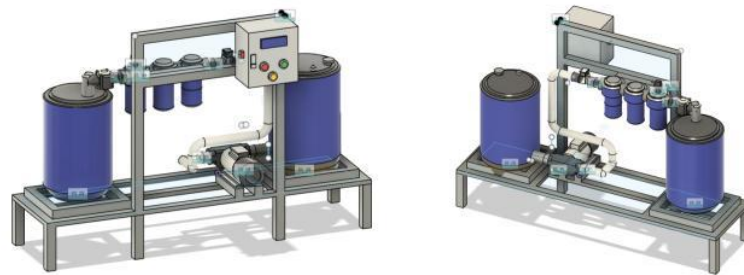
A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2024 hingga Agustus 2025. Proses perancangan dan pembuatan alat dilakukan di Laboratorium Otomasi Program Studi Mekatronika dan Bengkel Mekanik Jurusan Teknik Mesin, sedangkan pengujian karakteristik oli dilakukan di Laboratorium Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang.

B. Prosedur Perancangan

1. Perancangan Mekanik

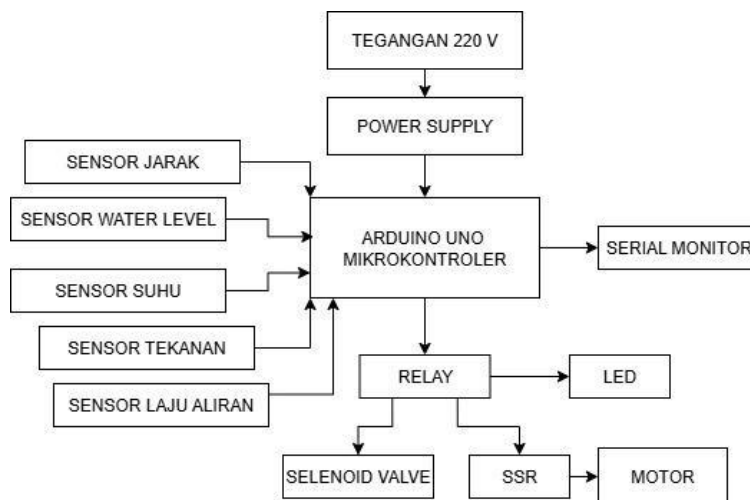
Perancangan mekanik dilakukan dengan merancang struktur mesin filtrasi yang terdiri dari dua tabung utama sebagai wadah oli sebelum dan sesudah proses penyaringan. Tabung pertama berfungsi sebagai tempat penampungan oli bekas yang akan difiltrasi, sedangkan tabung kedua digunakan sebagai penampung oli hasil filtrasi. Sistem ini dilengkapi dengan pompa, rangkaian pipa, serta tiga filter bertingkat dengan ukuran pori yang berbeda untuk menyaring partikel kotoran dari oli bekas. Desain struktur mesin dibuat untuk memastikan aliran oli dapat mengalir secara stabil melalui setiap tahap filtrasi sehingga proses penyaringan dapat berlangsung secara optimal. Rancangan mekanik mesin filter oli bekas yang dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Mekanik Mesin Filter Oli

2. Perancangan elektronik

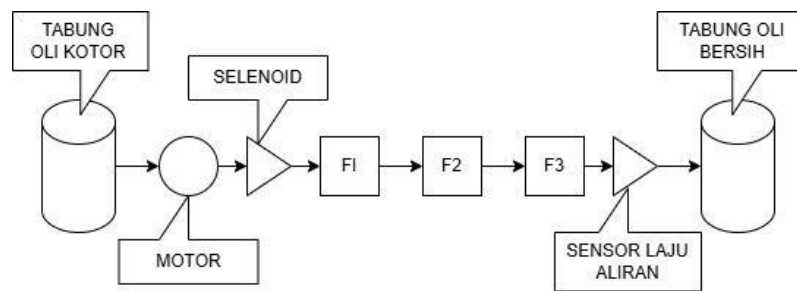
Perancangan sistem elektronik dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali sistem. Sistem ini terintegrasi dengan beberapa sensor, yaitu sensor tekanan, sensor suhu, sensor ultrasonik, sensor level (pelampung), serta sensor laju aliran (flow rate) untuk memantau kondisi proses filtrasi secara real-time. Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh Arduino untuk mengontrol kerja pompa dan katup solenoid melalui modul relay. Informasi parameter operasi seperti tekanan, suhu, ketinggian oli, dan laju aliran ditampilkan pada LCD sehingga memudahkan operator dalam memantau kondisi sistem. Selain itu, LED indikator digunakan sebagai penanda status pompa dan kondisi tekanan pada sistem filtrasi. Rancangan sistem elektronik yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Elektronik

3. Skema Siklus

Skema siklus proses filtrasi oli bekas pada sistem yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem ini dirancang untuk melakukan proses penyaringan secara bertahap melalui beberapa filter dengan ukuran pori yang berbeda sehingga partikel kotoran dapat dipisahkan secara lebih efektif.



Gambar 3. Skema siklus

Ukuran filter yang digunakan pada setiap tahap proses filtrasi ditunjukkan pada Tabel 1. Sistem filtrasi terdiri dari tiga tahap penyaringan yang dilakukan secara berurutan untuk meningkatkan kualitas oli hasil filtrasi.

Tabel 1. Ukuran filter

FILTER 1	FILTER 2	FILTER 3	
10 µm	0,5 µm	0,3 µm	PROSES FILTRASI 1
10 µm	0,5 µm	0,3 µm	PROSES FILTRASI 2
0,5 µm	0,3 µm	0,1 µm	PROSES FILTRASI 3

Berdasarkan skema tersebut, proses filtrasi dilakukan melalui tiga tahap penyaringan bertingkat menggunakan filter dengan ukuran pori yang berbeda. Pada tahap pertama, filter berukuran 10 µm, 0,5 µm, dan 0,3 µm digunakan untuk menyaring partikel kasar yang terdapat dalam oli bekas. Tahap kedua menggunakan ukuran filter yang sama untuk meningkatkan efektivitas proses penyaringan dan memastikan partikel yang masih tersisa dapat tersaring dengan lebih baik. Selanjutnya, pada tahap ketiga digunakan filter dengan ukuran yang lebih halus, yaitu 0,5 µm, 0,3 µm, dan 0,1 µm, sehingga partikel yang berukuran sangat kecil dapat dipisahkan dari oli. Dengan proses filtrasi bertingkat ini, kualitas oli hasil penyaringan menjadi lebih bersih dan lebih mendekati karakteristik oli yang layak untuk digunakan kembali.

4. Pemrograman

Program kendali sistem dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ pada Arduino IDE. Program ini berfungsi untuk membaca data dari seluruh sensor dan mengontrol kerja pompa serta katup solenoid secara otomatis. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa ketika level oli mencukupi dan menghentikan proses filtrasi secara otomatis ketika level oli pada tangki input telah mencapai batas minimum.

C. Langkah Pengujian

1. Pengujian Kinerja Sistem Otomasi

Pengujian sistem otomasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor dan aktuator dalam mengontrol proses filtrasi oli bekas. Parameter yang diamati meliputi tekanan, suhu, level oli, dan laju aliran, yang dipantau secara real-time melalui LCD. Sistem diuji dengan menjalankan proses filtrasi hingga tangki input kosong untuk memastikan pompa dan katup solenoid dapat bekerja secara otomatis sesuai dengan logika kendali yang telah diprogram.

2. Pengujian Viskositas Oli

Pengujian viskositas dilakukan untuk mengetahui perubahan tingkat kekentalan oli sebelum dan sesudah proses filtrasi. Pengujian dilakukan menggunakan viscometer digital tipe rotational viscometer di Laboratorium Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Metode pengujian mengacu pada standar ASTM D445 mengenai pengukuran viskositas kinematik cairan pelumas. Sampel oli yang diuji terdiri dari empat kondisi, yaitu:

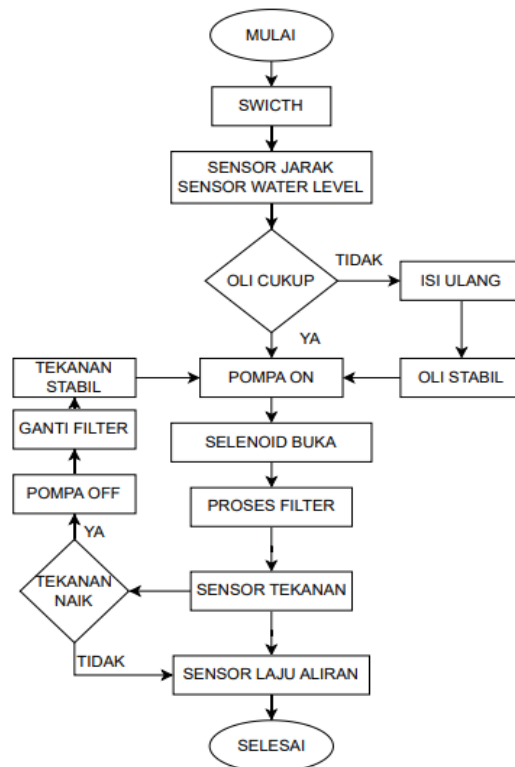
1. Oli bekas sebelum proses filtrasi
2. Oli setelah filtrasi tahap pertama
3. Oli setelah filtrasi tahap kedua
4. Oli setelah filtrasi tahap ketiga

Setiap sampel diuji sebanyak tiga kali pengulangan untuk memperoleh nilai rata-rata viskositas yang lebih akurat. Selama pengujian, suhu oli dijaga pada kisaran 35–36 °C untuk menjaga konsistensi kondisi pengujian.

3. Pengujian Warna Oli

Pengujian warna oli dilakukan untuk mengetahui perubahan tingkat kejernihan oli sebelum dan sesudah proses filtrasi. Metode pengujian menggunakan standar ASTM D1500, yaitu dengan membandingkan warna sampel oli terhadap skala warna ASTM secara visual pada kondisi pencahayaan yang sama. Nilai hasil pengamatan dinyatakan dalam skala warna ASTM untuk menunjukkan tingkat kegelapan oli serta perubahan warna yang terjadi setelah proses filtrasi.

Selain itu, alur kerja sistem filtrasi oli bekas secara keseluruhan digambarkan dalam bentuk diagram alir (flowchart) yang menunjukkan tahapan proses mulai dari pengisian oli, proses penyaringan, hingga penghentian sistem secara otomatis. Diagram alir prinsip kerja sistem tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Prinsip kerja

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem

Hasil perancangan menunjukkan bahwa mesin filter oli bekas yang dikembangkan terdiri dari dua tabung utama yang dihubungkan melalui sistem pipa, pompa, serta tiga filter bertingkat untuk memisahkan partikel kotoran dari oli bekas. Tabung pertama berfungsi sebagai wadah oli bekas yang akan difiltrasi, sedangkan tabung kedua digunakan sebagai penampung oli hasil penyaringan. Bentuk fisik mesin filter oli bekas yang telah dirancang dan direalisasikan dalam penelitian ini ditunjukkan

pada Gambar 5.

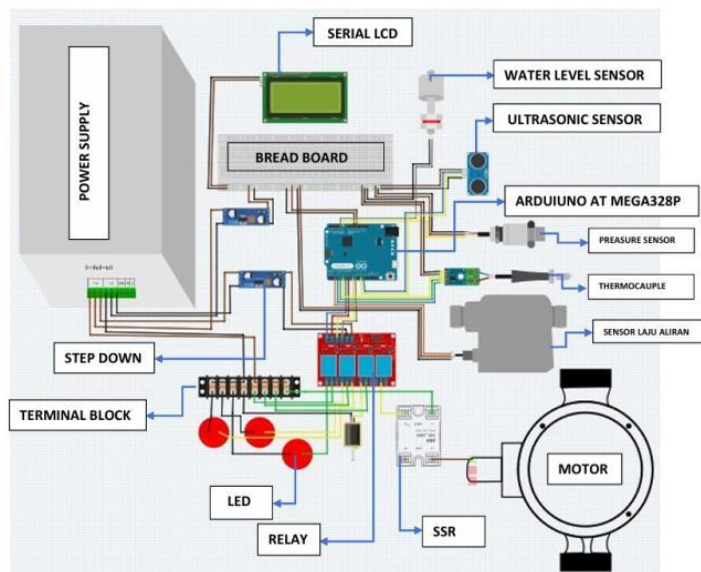
Seluruh proses filtrasi dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Uno yang terintegrasi dengan beberapa sensor, yaitu sensor tekanan, sensor suhu, sensor ultrasonik, sensor pelampung (water level), serta sensor laju aliran (flow rate) untuk memantau kondisi sistem secara real-time. Rangkaian sistem kendali elektronik yang menghubungkan berbagai sensor, aktuator, serta mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 6.

Sistem kendali otomatis memungkinkan pompa dan katup solenoid bekerja berdasarkan pembacaan sensor sehingga proses filtrasi dapat berlangsung secara stabil dan terkontrol. Penggunaan sistem kendali berbasis mikrokontroler ini memberikan keunggulan dibandingkan sistem filtrasi manual karena mampu meningkatkan efisiensi proses, mempermudah pemantauan kondisi operasi, serta mengurangi potensi kesalahan manusia selama proses filtrasi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [5] yang menyatakan bahwa sistem filtrasi bertingkat mampu meningkatkan kualitas oli bekas dengan menyaring partikel kontaminan secara bertahap. Selain itu, penggunaan sistem kontrol otomatis berbasis mikrokontroler juga dilaporkan dapat meningkatkan stabilitas proses filtrasi serta mempermudah pengoperasian sistem secara lebih efisien.



Gambar 5. Mesin filter oli



Gambar 6. Wiring Diagram

B. Hasil Kendali Otomatis

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali otomatis mampu mengontrol proses filtrasi sesuai dengan logika pemrograman yang telah dirancang. Pompa dan katup solenoid bekerja berdasarkan pembacaan sensor tekanan, level cairan, serta sensor ultrasonik. Ketika level oli dalam tangki mencapai batas tertentu, pompa akan aktif untuk memulai proses filtrasi dan akan berhenti secara otomatis ketika level oli pada tangki input mencapai sekitar 42 cm yang menandakan tangki telah kosong.

Sensor tekanan juga berfungsi sebagai sistem proteksi untuk mencegah terjadinya tekanan berlebih pada rangkaian filtrasi. Ketika tekanan meningkat mendekati ambang batas, sistem akan menonaktifkan pompa sehingga operator dapat melakukan pemeriksaan atau penggantian filter. Parameter operasi seperti suhu, tekanan, jarak, dan laju aliran ditampilkan secara real-time pada LCD, sehingga operator dapat memantau kondisi sistem dengan lebih mudah.

Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi sensor dan mikrokontroler mampu meningkatkan efisiensi dan keamanan sistem filtrasi. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Banzi dan Shiloh [7] yang menyatakan bahwa penggunaan mikrokontroler Arduino dalam sistem otomasi memungkinkan integrasi berbagai sensor untuk mengontrol proses industri secara lebih efisien dan terpantau secara real-time.

C. Data Sensor

Berdasarkan hasil pengujian, proses filtrasi dimulai dengan tekanan awal sebesar 2,68 bar dan suhu sekitar 36°C. Seiring berjalannya waktu, tekanan sistem meningkat secara bertahap hingga mencapai sekitar 4,10 bar, sedangkan suhu relatif stabil pada kisaran 35–36°C. Stabilitas suhu ini menunjukkan bahwa proses filtrasi tidak menyebabkan perubahan temperatur yang signifikan pada oli selama proses berlangsung. Data hasil pembacaan sensor selama proses filtrasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Sensor ultrasonik menunjukkan perubahan jarak dari 32,7 cm hingga 41,3 cm, yang menandakan berkurangnya volume oli pada tangki input selama proses filtrasi berlangsung. Pada saat yang sama, volume oli hasil filtrasi terus meningkat hingga mencapai sekitar 8,2 liter, yang menunjukkan bahwa sistem filtrasi mampu bekerja secara stabil selama proses operasi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis sensor mampu memantau kondisi operasi secara real-time dan memastikan proses filtrasi berjalan dengan baik. Penelitian sebelumnya oleh Morris dan Langari [8] juga menjelaskan bahwa penggunaan sensor tekanan, suhu, dan level pada sistem kontrol industri dapat meningkatkan keandalan sistem pemantauan serta mengurangi risiko kesalahan operasi.

Tabel 2. Data Sensor

Float	Jarak (cm)	Tekanan (bar)	Suhu (°C)	Total L (L)	Pump	Runtime (min)	LastRun (min)
1	32.7	2.68	36.0	0.9	1	0	0
1	35.0	2.89	36.0	2.0	1	1	0
1	36.7	3.52	36.2	3.1	1	2	0
1	39.0	3.58	36.0	4.3	1	3	2
1	40.0	3.62	35.7	5.3	1	4	2
1	41.5	3.66	35.7	6.6	1	5	2
1	41.3	4,10	36.0	8.2	1	6	2
1	41.3	4,10	36.0	8.2	1	6	2

D. Hasil Filter

1. Analisis Viskositas

Hasil pengujian viskositas menunjukkan adanya penurunan nilai viskositas oli setelah melalui

proses filtrasi. Oli bekas sebelum proses filtrasi memiliki viskositas sebesar 227 cP, yang menunjukkan kondisi oli yang sangat kental akibat adanya partikel kotoran, residu pembakaran, serta kontaminan lainnya. Setelah melalui proses filtrasi bertingkat, viskositas oli mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai 125 cP pada tahap filtrasi ketiga. Data hasil pengujian viskositas pada setiap tahap filtrasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Penurunan viskositas ini menunjukkan bahwa proses filtrasi mampu menghilangkan sebagian partikel padat dan kontaminan yang terkandung di dalam oli bekas. Penyaringan bertahap menggunakan media filter dengan ukuran pori yang berbeda memungkinkan partikel dengan ukuran besar hingga sangat kecil dapat dipisahkan secara lebih efektif. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Abdullah dan Al-Lami [6] yang melaporkan bahwa penggunaan media filtrasi seperti karbon aktif dan media penyaring lainnya mampu menurunkan viskositas oli bekas dengan cara menghilangkan partikel kontaminan yang menyebabkan peningkatan kekentalan oli.

Tabel 3. Pengujian Kekentalan

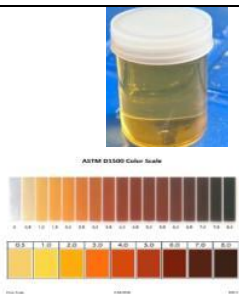

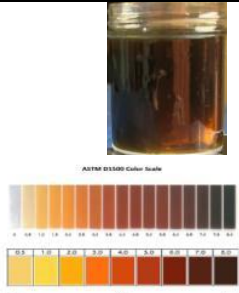
No	Kode Sampel	Tahap Filtrasi	Hasil Uji (cP)	Interpretasi
1	Sampel 1	Oli bekas sebelum filtrasi	227	Sangat kental, banyak kontaminan (partikel padat, karbon, sisa pembakaran)
2	Sampel 2	Setelah filtrasi pertama (kasar)	143	Penurunan signifikan, partikel besar tersaring, oli mulai lebih encer
3	Sampel 3	Setelah filtrasi kedua (sedang)	137	Viskositas semakin turun, partikel sedang tersaring
4	Sampel 4	Setelah filtrasi ketiga (halus)	125	Viskositas terendah, paling mendekati oli standar baru(100cP) SAE 15W-40 / 20W-50

2. Analisis Warna Oli

Pengujian warna oli dilakukan berdasarkan standar ASTM D1500 untuk mengetahui perubahan tingkat kejernihan oli sebelum dan sesudah proses filtrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa oli bekas sebelum proses filtrasi memiliki nilai skala warna sekitar 8,0, yang menunjukkan warna hitam pekat akibat adanya karbon, kotoran, serta produk oksidasi yang terbentuk selama penggunaan oli.

Setelah melalui proses filtrasi tiga tahap, warna oli mengalami perubahan menjadi coklat gelap dengan nilai skala warna sekitar 6,0, yang menunjukkan adanya peningkatan kejernihan oli. Perubahan warna ini menunjukkan bahwa proses filtrasi bertingkat mampu mengurangi kandungan karbon serta partikel halus yang menyebabkan kegelapan warna oli. Data perbandingan warna oli sebelum dan sesudah proses filtrasi dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Al-Zahrani [9] yang menyatakan bahwa proses pemurnian oli bekas melalui metode penyaringan maupun adsorpsi dapat meningkatkan kejernihan oli dengan cara mengurangi kontaminan yang terdapat di dalamnya.

Tabel 4. Perbandingan Warna

NO	Jenis Oli	Deskripsi Visual	Skala Warna ASTM D1500	Keterangan
1	 <p>Oli baru</p>	Kuning emas jernih	2.0	Warna asli oli baru, tanpa kontaminan
2	 <p>Oli bekas (belum di filter)</p>	Hitam pekat akibat kotoran, karbon, dan sisa pembakaran	8.0	Terjadi oksidasi dan kontaminasi berat
3	 <p>Oli bekas (sudah di filtrasi yang ketiga)</p>	Coklat gelap, lebih jernih dibanding oli bekas tanpa filtrasi	6.0	Filtrasi menurunkan tingkat kegelapan dan kandungan karbon

IV. KESIMPULAN

1. Penelitian ini berhasil merancang mesin filter oli bekas berbasis arduino yang mampu mengatur proses filtrasi oli dengan baik. Sensor suhu, water level, ultrasonik, serta tekanan bekerja saling mendukung dalam menjaga kestabilan volume oli, mendeteksi kondisi tabung, dan mengontrol pompa serta katup selenoid
2. Hasil analisis kinerja menunjukkan bahwa filter yang digunakan mampu mengurangi kekentalan dan membersihkan oli dari partikel – partikel dan memperbaiki warna oli bekas, sehingga meningkatkan kualitas dan kelayakan oli bekas untuk di daur ulang dan digunakan kembali walaupun perlu tambahan zat lain untuk penggunaan yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. A. Crowl and J. F. Louvar, *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*, 3rd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2019.

[2] United States Environmental Protection Agency, *Managing Used Oil: Advice for Small Businesses*, Washington DC, USA, 2020.

- [3] M. J. Rosen and R. A. Cohen, "Environmental impact of waste lubricating oil," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 142, no. 4, pp. 1–7, 2016.
- [4] F. M. White, *Fluid Mechanics*, 8th ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2016.
- [5] A. A. Mohammed, "Recycling of waste lubricating oil using different filtration techniques," *Energy Sources Journal*, vol. 38, no. 2, pp. 145–152, 2017.
- [6] H. A. Abdullah and M. S. Al-Lami, "Treatment of used lubricating oil using activated carbon adsorption," *Journal of Petroleum Technology*, vol. 69, no. 3, pp. 210–216, 2018.
- [7] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 3rd ed. Sebastopol, CA, USA: O'Reilly Media, 2015.
- [8] A. S. Morris and R. Langari, *Measurement and Instrumentation: Theory and Application*, 2nd ed. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 2016.
- [9] S. M. Al-Zahrani, "Used lubricating oil regeneration by various solvent extraction techniques," *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, vol. 18, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [10] S. Kalra and R. Tyagi, "Recycling and re-refining of used lubricating oil," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4463–4470, 2011.