

Penerapan *Automatic Particle Counter* untuk Pemantauan Kondisi Oli Hidrolik

Implementation of Automatic Particle Counter for Hydraulic Oil Condition Monitoring

¹Yuliadi Erdani*) dan ¹Riki Adiwijaya Gumadi

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung, Indonesia

*) *corresponding email: yul_erdani@yahoo.com*

Abstrak

Kontaminasi partikel padat yang tinggi pada oli hidrolik dapat menyebabkan kerusakan tidak normal pada komponen sistem hidrolik. Sebagai tindakan pencegahan, pemantauan tingkat kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik perlu dilakukan untuk memastikan selalu dalam batas yang diizinkan. Pemantauan kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik masih dilakukan secara manual dengan cara mengambil sampel oli kemudian mengukur tingkat kontaminasi partikel padat pada sampel oli tersebut. Karena itu masih ada kemungkinan tidak dilakukannya pemantauan kondisi oli karena kelalaian pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang dapat mengambil sampel secara otomatis dan memantau kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik. Kadar partikel padat pada oli hidrolik di tangki akan dibaca oleh sensor *Automatic Particle Counter* (APC) setiap interval waktu tertentu, kemudian datanya akan dikirim ke mikrokontroler. Mikrokontroler akan mengolah data tersebut dan memberikan informasi mengenai kadar partikel padat pada oli hidrolik secara waktu nyata. Penelitian ini menghasilkan suatu sistem yang dapat melakukan pemantauan secara waktu nyata dan menghasilkan luaran berupa nilai *ISO Cleanliness Code* serta sistem peringatan bila kadar partikel padat melebihi batas yang ditentukan. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu pengguna dalam pemantauan kondisi oli hidrolik dengan lebih mudah.

Kata Kunci: *Hidrolik, kontaminan, laser, oli, partikel padat, pemantauan.*

Abstract

High solid particle contamination in hydraulic oil can cause abnormal damage to hydraulic system components. Monitoring the hydraulic oil solid particle contamination level is necessary to ensure it is always within permissible limits. Monitoring of solid particle contamination in hydraulic oil is still done manually by taking an oil sample and then measuring the level of solid particle contamination in the oil sample. This method still relies on human power. Therefore, there is still a possibility that oil conditions are not monitored due to human negligence. This research aims to design a system that automatically samples hydraulic oil and measures solid particle contamination. The level of solid particles in the hydraulic oil is measured by the *Automatic Particle Counter* (APC) sensor, and then the data is sent to the microcontroller. The microcontroller will process this data and provide information regarding the level of solid particles in the hydraulic oil in real time. This research produces a system that automatically monitors and produces *ISO Cleanliness Code* values and a warning system when solid particle levels exceed specified limits. Therefore, this tool can help users monitor hydraulic oil conditions more easily.

Keywords: *Hydraulic, contaminant, laser, oil, solid particle, monitoring.*

Makalah diterima 14 Juni 2024 – makalah direvisi 14 Juli 2024 – disetujui 5 Agustus 2024

Karya ini adalah naskah akses terbuka dengan lisensi [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



1 Pendahuluan

Tingkat kontaminan partikel padat pada oli hidrolik yang tidak terkendali dapat menyebabkan keausan pada komponen. Jumlah partikel ausan dapat menyebabkan reaksi berantai yang menaikkan jumlah total kontaminan partikel padat pada oli [1]. Material ausan abrasif yang terbentuk dapat menjadi partikel yang lebih kecil dan menjadi lebih keras karena suatu proses. Hal ini akan menambah jumlah partikel yang lebih keras, digabungkan dengan kontaminan padat yang sudah ada, sehingga meningkatkan jumlah material abrasif di dalam oli.

Kontaminan partikel padat adalah kontaminan yang terbentuk dari zat padat yang tersusun atas partikel-partikel yang mempunyai bentuk dan volume yang tetap dan tidak larut dalam media fluida. Kontaminan partikel padat dapat berasal dari dua sumber, yaitu; sumber eksternal dan sumber internal. Sumber eksternal seperti debu ataupun partikel lainnya yang masuk ke dalam sistem oli hidrolik baik saat proses pengiriman

maupun saat oli berada pada tempat penyimpanan. Sumber internal seperti ausan komponen-komponen sistem hidrolik yang saling bergesekan.

Menjaga tingkat kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik dapat mencegah kerusakan yang tidak normal pada komponen sistem hidrolik, mengurangi waktu pemeliharaan akibat dari kerusakan yang tidak terjadwal dan menekan pengeluaran biaya pemeliharaan.

Salah satu standar yang umum digunakan di seluruh dunia untuk menyatakan tingkat kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik adalah ISO 4406 [2]. Menurut standar ISO 4406, jumlah partikel ISO adalah nilai jumlah partikel padat yang terkandung didalam setiap milliliter cairan hidrolik. Ukuran partikel padat yang dihitung adalah partikel padat dengan ukuran $\geq 4 \mu\text{m}$, $\geq 6 \mu\text{m}$, dan $\geq 14 \mu\text{m}$. ISO 4406 menetapkan suatu nilai kode yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah partikel padat pada cairan hidrolik [3]. Nilai kode tingkat kebersihan atau yang disebut *Cleanliness Code* terdiri dari 3 angka dan dapat dikonversikan menjadi informasi rentang jumlah partikel. Tabel 1 merupakan skala konversi rentang jumlah partikel padat pada cairan hidrolik menjadi *ISO Code*.

Tabel 1. Konversi *cleanliness code* ISO 4406 [3].

Jumlah Partikel /ml			Jumlah Partikel /ml			Jumlah Partikel /ml		
>	≤	Code	>	≤	Code	>	≤	Code
2.500.000		>28	2.500	5.000	19	2,50	5,00	9
1.300.000	2.500.000	28	1.300	2.500	18	1,30	2,50	8
640.000	1.300.000	27	640	1.300	17	0,64	1,30	7
320.000	640.000	26	320	640	16	0,32	0,64	6
160.000	320.000	25	160	320	15	0,16	0,32	5
80.000	160.000	24	80	160	14	0,08	0,16	4
40.000	80.000	23	40	80	13	0,04	0,08	3
20.000	40.000	22	20	40	12	0,02	0,04	2
10.000	20.000	21	10	20	11	0,01	0,02	1
5.000	10.000	20	5	10	10	0,00	0,01	0

Sebagai contoh nilai ISO *Cleanliness Code* 22/18/13. Berdasarkan Tabel 1, angka pertama (22) menunjukkan jumlah partikel dengan ukuran $\geq 4 \mu\text{m}$ berada pada rentang 20000-40000 partikel/ml. Angka kedua (18) menunjukkan jumlah partikel dengan ukuran $\geq 6 \mu\text{m}$ berada pada rentang 1300-2500 partikel/ml. Dan angka ketiga (13), menunjukkan jumlah partikel dengan ukuran $\geq 14 \mu\text{m}$ berada pada rentang 40-80 partikel/ml.

Rexroth Bosch Group memberikan rekomendasi tingkat kebersihan oli sesuai dengan aplikasi yang digunakan [4], seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekomendasi tingkat kebersihan oli hidrolik dari Rexroth Bosch Group [4].

<i>Application</i>	<i>Required Oil Cleanliness</i>	<i>Application</i>	<i>Required Oil Cleanliness</i>
<i>Systems with extremely high dirt sensitivity and very high availability requirements</i>	$\leq 16/12/9$	<i>Vane pumps, piston pumps, piston engines</i>	$\leq 19/14/11$
<i>Systems with high dirt sensitivity and high availability requirements, such as servo valve technology</i>	$\leq 18/13/10$	<i>Modern industrial hydraulic systems, directional valves, pressure valves</i>	$\leq 20/16/13$
<i>Systems with proportional valves and pressures > 160 bar</i>	$\leq 18/16/13$	<i>Industrial hydraulic systems with large tolerances and low dirt sensitivity</i>	$\leq 21/17/14$

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur dan menghitung jumlah kontaminan partikel padat yang terkandung pada oli hidrolik adalah menggunakan *Automatic Particle Counter* (APC) dengan teknik penyumbatan cahaya (*light extinction technique*) [5],[6]. Pada tahun 2019, Marián Kučera melakukan penelitian tingkat kontaminasi partikel padat pada oli transmisi dengan menggunakan APC [7], dimana proses pengambilan sampel oli hingga pengoperasian APC masih mengandalkan tenaga manusia.

Terdapat pula metode penghitungan partikel padat berdasarkan standar ISO 4407 [13],[14],[15], yaitu metode penghitungan partikel padat pada fluida dengan menggunakan mikroskop optik. Namun, metode ini dilakukan dengan cara menghitung partikel padat yang tertangkap oleh membran secara manual oleh operator dengan bantuan mikroskop sehingga faktor kesalahan perhitungan oleh manusia masih signifikan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pada penelitian ini dirancang suatu sistem yang dapat melakukan perhitungan jumlah kontaminan partikel menggunakan APC dengan teknik penyumbatan cahaya dengan teknik pengambilan sampel oli secara otomatis serta menyajikan informasi mengenai kadar partikel padat pada oli hidrolik secara waktu nyata dan memberikan peringatan kepada operator saat kadar partikel padat melebihi batas yang ditentukan. Pendekatan ini diharapkan dapat memperingan pekerjaan manusia dalam proses pemantauan kadar partikel padat pada oli hidrolik.

2 Metode

2.1 Perancangan Alat

2.1.1 Rancangan Sistem

Rancangan sistem dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1, diawali dengan pompa yang mengalirkan sampel oli dari botol menuju ke APC dan kembali ke botol. APC akan mengukur besarnya partikel dan menghitung jumlah partikel yang terdeteksi. Ukuran dan jumlah partikel yang terdeteksi oleh APC akan dikonversi menjadi nilai *ISO Code*. Jika nilai *ISO Code* melewati batas yang ditentukan maka *Monitoring Module* akan memberikan peringatan. Sehingga APC dapat melakukan pemantauan dan menyajikan informasi tingkat kontaminasi partikel padat secara waktu nyata. Pemantauan tingkat kontaminasi partikel padat secara waktu nyata, dapat memberikan peringatan dini kepada pengguna [8]. Sehingga pengguna dapat segera melakukan tindakan lebih lanjut.

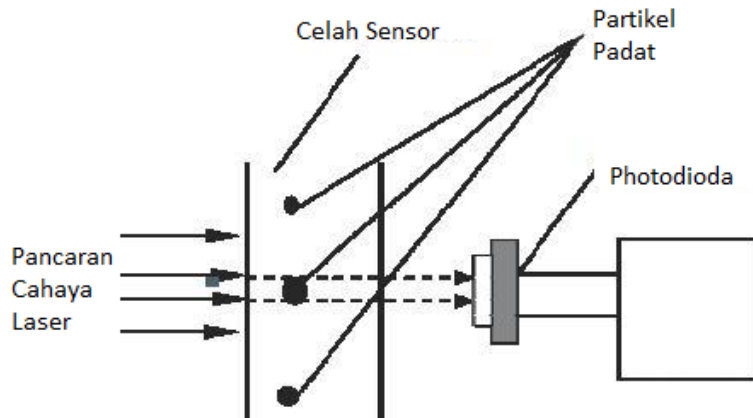


Gambar 1. Rancangan sistem.

2.1.2 Akuisisi Data

Akuisisi data merupakan metode yang berfungsi untuk mengambil dan memproses data yang didapatkan dari pengukuran kondisi fisik dunia nyata menjadi nilai numerik digital yang dapat dimanipulasi oleh komputer [9], [10]. Untuk mendapatkan nilai numerik digital dari ukuran partikel padat yang terkandung pada oli hidrolik, digunakan APC Yateks YJF-4 dengan metode penyumbatan cahaya (*light blockage*) [11]. Prinsip kerja dari metode penyumbatan cahaya ditunjukkan pada Gambar 2. Cahaya laser dipancarkan melalui celah sensor (sel pengukuran) dan ditangkap oleh fotodiode. Jika ada partikel padat yang melewati sel pengukuran, maka intensitas cahaya laser yang diterima oleh fotodiode akan berkurang. Semakin besar partikel padat yang

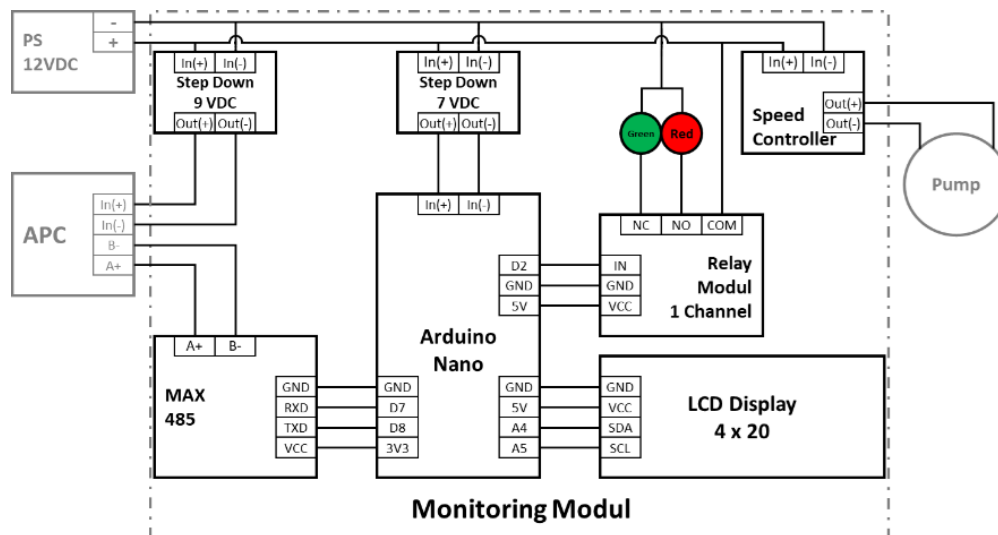
melalui sel pengukuran, semakin kecil intensitas cahaya yang ditangkap oleh fotodiode. Fotodiode merubah intensitas cahaya menjadi tegangan listrik, dimana besarnya tegangan listrik akan berbanding lurus dengan besarnya partikel yang melewati sel pengukuran.



Gambar 2. Prinsip kerja APC dengan metode penyumbatan cahaya.

2.1.3 Monitoring Module

Di dalam rancangan sistem ini terdapat modul pengamatan (*Monitoring Module*) yang berfungsi untuk mengolah hasil akuisisi data oleh APC. Data nilai *ISO Code* yang dihasilkan oleh APC diolah menggunakan mikrokontroler Arduino Nano, sehingga menghasilkan luaran berupa peringatan ketika tingkat kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik melebihi batas ketentuan. Rancangan *Monitoring Module* ditunjukkan pada Gambar 3.



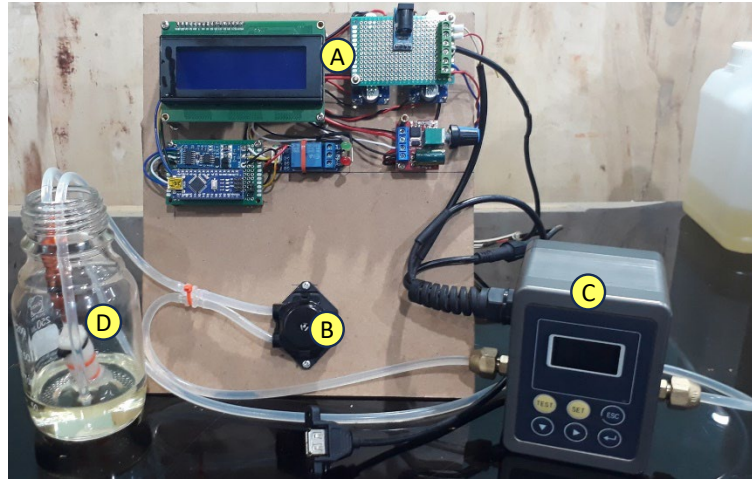
Gambar 3. Rancangan *monitoring module*.

APC Yateks YFJ-4 memiliki jalur komunikasi antarmuka serial RS-485. RS-485 merupakan komunikasi serial yang menggunakan transmisi yang mengubah tegangan TTL menjadi selisih tegangan antara output A dan B [12]. Agar dapat berkomunikasi dengan Arduino Nano maka digunakan modul konverter MAX485. Pada program Arduino ditambahkan *threshold*, yaitu batasan nilai *ISO Code*. Jika nilai *ISO Code* lebih tinggi dari nilai *threshold* maka Arduino Nano akan menyalakan modul *relay*, sehingga LED berwarna merah yang dihubungkan pada terminal NO (*Normally Open*) pada modul relay akan menyala. Sebaliknya, jika nilai *ISO Code* lebih rendah atau sama dengan nilai *threshold*, maka yang akan menyala adalah LED berwarna hijau. Nilai *ISO Code* dan jumlah partikel padat akan ditampilkan pada LCD Display 4x20, sesuai dengan standar ISO 4406.

3 Hasil dan Pembahasan

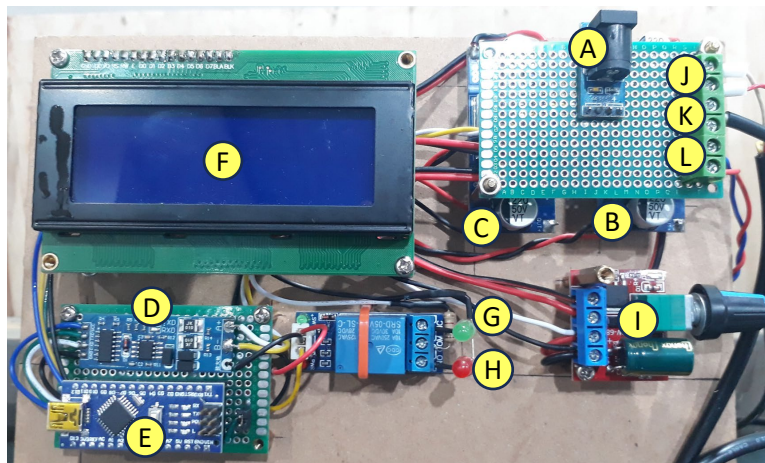
3.1 Hasil Perakitan Alat

Perakitan alat sesuai dengan rancangan ditunjukkan pada Gambar 4, dan Gambar 5 menunjukkan bagian-bagian yang terdapat pada *Monitoring Module*.



- A. Monitoring Modul
- B. Feeder Pump
- C. APC
- D. Oli Hidrolik

Gambar 4. Hasil perakitan alat pengujian.

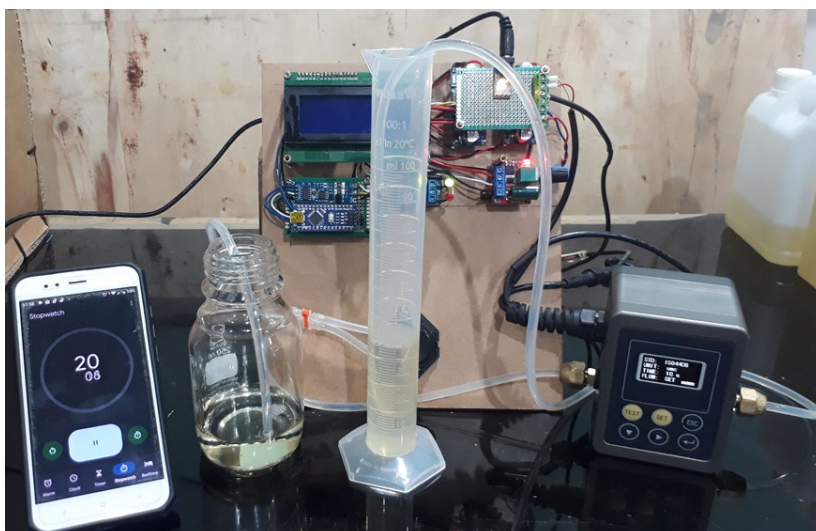


- A. Power input 12VDC
- B. Step Down to 9VDC
- C. Step Down to 7VDC
- D. MAX485
- E. Arduino Nano
- F. LCD Display
- G. LED (Hijau)
- H. LED (Merah)
- I. Speed Controller
- J. Data input dari APC
- K. Power output ke APC
- L. Power output ke pompa

Gambar 5. Perakitan *monitoring module*.

3.2 Kalibrasi *Flowrate* Pompa *Feeder*

Kalibrasi *flowrate* pompa *feeder* dibutuhkan untuk mendapatkan hasil pengukuran yang sesuai oleh APC. Pada percobaan ini digunakan oli hidrolik Pertamina Turalik 48 dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3. Kalibrasi *flowrate* oli yang dialirkan melalui APC dilakukan dengan cara mengatur kecepatan putaran pompa menggunakan *DC Speed Controller*. *Flowrate* disesuaikan dengan parameter yang diatur pada APC, parameter *flowrate* pada APC diatur sebesar 50 ml/min. Kecepatan putaran pompa diatur hingga mencapai *flowrate* sebesar 50 ml dalam waktu 60 detik menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*, seperti yang terlihat pada Gambar 6. Dari percobaan pengulangan *flowrate* didapat hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.



Gambar 6. Proses kalibrasi *flowrate*.

Tabel 3. Spesifikasi oli hidrolik Pertamina Turalik 48.

Karakteristik	Metode Uji	Nilai Karakteristik
<i>ISO Viscosity Grade</i>		46
<i>Density (15 °C, kg/l)</i>	ASTM D - 4052	0.8830
<i>Kinematic Viscosity (40 °C,cSt)</i>	ASTM D - 445	46.29
<i>Kinematic Viscosity (100 °C,cSt)</i>	ASTM D - 445	7,02
<i>Viscosity Index</i>	ASTM D - 2270	106
<i>ASTM Colour</i>	ASTM D - 1500	L 2.0
<i>Flash Point (°C)</i>	ASTM D - 92	220
<i>Pour Point (°C)</i>	ASTM D - 5950	-18

Tabel 4. Hasil percobaan pengulangan *flowrate* menggunakan oli Pertamina Turalik 48.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Time (sec)</i>	59,35	60,12	59,56	60,02	59,82	59,56	59,58	60,56	60,49	60,09
<i>Flowrate (ml/min)</i>	50,55	49,90	50,37	49,98	50,15	50,37	50,35	49,54	49,59	49,93
<i>Deviation (%)</i>	1,10	0,20	0,74	0,03	0,30	0,74	0,70	0,92	0,81	0,15

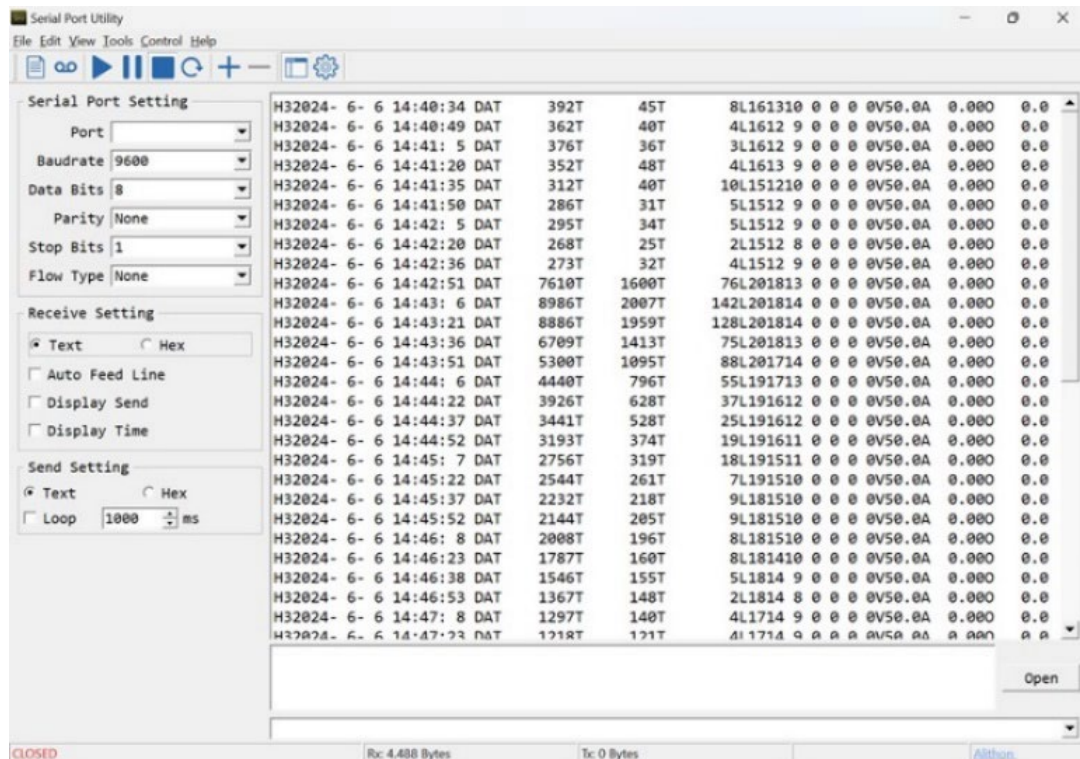
Tabel 4 menunjukkan bahwa terjadi penyimpangan *flowrate* hingga maksimum 1,10%. Hal ini akan menjalar pada penyimpangan hasil penghitungan jumlah partikel.

3.3 Pengujian Sistem

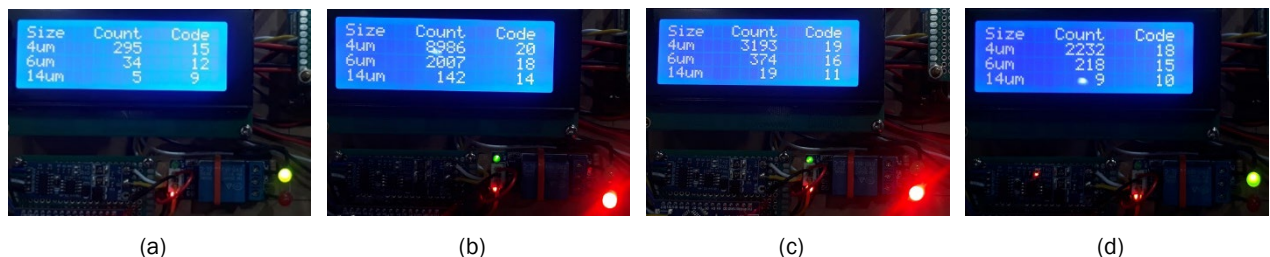
Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem ini. Pengujian meliputi pembacaan kualitas oli berdasarkan ISO 4406 dan pengujian sistem peringatan batas tingkat kontaminasi partikel padat.

Pada pengujian ini, parameter *threshold* diatur pada nilai *ISO Code 18/16/13*. Oli hidrolik di dalam botol disirkulasikan dengan menggunakan *filter* hingga tingkat kontaminasi berada di bawah nilai *threshold*. Lalu dicampurkan dengan oli yang tingkat kontaminasinya lebih tinggi sehingga akan terbaca adanya peningkatan tingkat kontaminasi. Setelah beberapa waktu, tingkat kontaminasi akan kembali turun karena kontaminan partikel padat tertangkap oleh *filter*.

Gambar 7 merupakan tampilan hasil pemantauan pada PC menggunakan software “Serial Port Utility”, yang menunjukkan data yang dikirim oleh APC dan diterima oleh mikrokontroler Arduino Nano. Hasil pemrosesan data oleh mikrokontroler, yaitu jumlah kandungan partikel dan nilai *ISO Code*, ditampilkan pada LCD Pemantauan pada *Monitoring Module* (Gambar 8). Hasil pemantauan secara keseluruhan ditampilkan pada Tabel 5.



Gambar 7. Tampilan data yang diterima oleh Arduino Nano dari APC.



Gambar 8. Tampilan pada LCD.

Pengujian sistem dapat diamati dengan memadankan hasil pemantauan kondisi oli hidrolik pada Tabel 5 dengan tampilan LCD pada Gambar 8, Pada awal pengujian jam 14:41:20 – 14:42:36, tingkat kontaminasi masih di bawah *threshold*. Terlihat nilai *ISO Code* pada jam 14:42:05 adalah 15/12/9, maka lampu LED hijau menyala (Gambar 8a). Pada jam 14:40:00 ditambahkan oli terkontaminasi. Karena itu pada 14:42:51, tampak peningkatan nilai *ISO Code* hingga 20/18/12 dan lampu LED merah menyala (Gambar 8b). Selanjutnya karena oli disirkulasikan melalui filter, kontaminan tertangkap oleh filter. Jam 14:44:52, nilai *ISO Code* mulai menurun namun masih berada di atas nilai *threshold* sehingga lampu LED merah masih menyala (Gambar 8c). Akhirnya pada jam 14:45:37, nilai *ISO Code* turun hingga berada di bawah nilai *threshold* sehingga lampu LED hijau menyala (Gambar 8d). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem telah mampu mendeteksi ukuran dan jumlah kontaminan pada oli dengan sistem pengambilan sampel oli secara otomatis.

Sebagai catatan, alat ini tidak menentukan jenis material kontaminan partikel padat. Untuk mengetahui kondisi oli hidrolik yang lebih detail, diperlukan alat yang dapat menganalisa lebih terperinci seperti *automatic laser particle counter and classifier* yang digunakan oleh Marián Kučera pada penelitiannya [7]. Penentuan

jenis material kontaminan partikel padat, dibutuhkan untuk menganalisa sumber dari kontaminan tersebut, sehingga dapat dilakukan tindakan perbaikan yang tepat pada sistem hidrolik.

Tabel 5. Hasil pemantauan kondisi oli hidrolik.

No	Jam	Jumlah Partikel /ml			ISO Code			LED
		$\geq 4 \mu\text{m}$	$\geq 6 \mu\text{m}$	$\geq 14 \mu\text{m}$	$\geq 4 \mu\text{m}$	$\geq 6 \mu\text{m}$	$\geq 14 \mu\text{m}$	
1	14:41:20	352	48	4	16	13	9	Hijau
2	14:41:35	312	40	10	15	12	10	Hijau
3	14:41:50	286	31	5	15	12	9	Hijau
4	14:42:05	295	34	5	15	12	9	Hijau
5	14:42:20	268	25	2	15	12	8	Hijau
6	14:42:36	273	32	4	15	12	9	Hijau
7	14:42:51	7610	1600	76	20	18	13	Merah
8	14:43:06	8986	2007	142	20	18	14	Merah
9	14:43:21	8886	1959	128	20	18	14	Merah
10	14:43:36	6709	1413	75	20	18	13	Merah
11	14:43:51	5300	1095	88	20	17	14	Merah
12	14:44:06	4440	796	55	19	17	13	Merah
13	14:44:22	3926	628	37	19	16	12	Merah
14	14:44:37	3441	528	25	19	16	12	Merah
15	14:44:52	3193	374	19	19	16	11	Merah
16	14:45:07	2756	319	18	19	15	11	Merah
17	14:45:22	2544	261	7	19	15	10	Merah
18	14:45:37	2232	218	9	18	15	10	Hijau
19	14:45:52	2144	205	9	18	15	10	Hijau
20	14:46:08	2008	196	8	18	15	10	Hijau
21	14:46:23	1787	160	8	18	14	10	Hijau
22	14:46:38	1546	155	5	18	14	9	Hijau
23	14:46:53	1367	148	2	18	14	8	Hijau
24	14:47:08	1297	140	4	17	14	9	Hijau
25	14:47:23	1218	121	4	17	14	9	Hijau

4 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dihasilkan sistem yang dapat memantau tingkat kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik dengan penerapan APC dan pengambilan sampel oli secara waktu nyata, serta memberikan peringatan ketika tingkat kontaminasi partikel padat melebihi ambang batas yang ditentukan. Hal tersebut memberikan kemudahan bagi pengguna dalam pemantauan kualitas oli hidrolik untuk mencegah kerusakan yang tidak normal akibat dari tingginya tingkat kontaminasi partikel padat pada oli hidrolik, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan komponen sistem hidrolik.

Referensi

- [1] V. Karanovic et. al., "Impact of Contaminated Fluid on the Working Performances," *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, vol. 65, no. 3, pp. 139-147, 2019.
- [2] V. Prabhakarachary et al., "Development of Differential Pressure Filtering System for," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 6, no. 4, pp. 271-278, 2016.
- [3] *Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles*, ISO 4406:2021, International Standardization Organization, Geneva.
- [4] Rexroth Bosch Group, "Recommended Oil cleanliness level" in Rexroth Oil Cleanliness Booklet, Bethlehem: Bosch Rexroth Corporation, 2013.
- [5] Noria Corporation, "Practicing Oil Analysis: Automatic Particle Counters for Fluid Contamination Control," *Machinery Lubrication*, 2002. [Online]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/351/particle-counters>. [Accessed 10 June 2024].
- [6] *Hydraulic fluid power – Monitoring the level of particulate contamination in the fluid*, ISO 21018-4:2019, International Standardization Organization.
- [7] K. Marián, et.al., "Applying of Automatic Laser Particle Counter as Technique to Morphology Assessment and Distribution of Wear Particles during Lifetime of Transmission Oils," *Key Engineering Materials*, vol. 669, pp. 417-425, 2016.
- [8] F. Ng et.al., "Improving hydraulic excavator performance through," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 83, pp. 176-193, 2016.
- [9] T. Prasetyo et.al., "Design a Data Acquisition System on Deflection Test," *Technium: Romanian Journal of*, vol. 16, pp. 293-298, 2023.
- [10] M. S. Gozali et.al., "Akuisisi Data Pressure Transmitter melalui CX Supervisor pada STEM Pressure Measurement and Control Plant," *Journal of Applied Electrical Engineering*, Vol. 7, No. 1, 2023.
- [11] Yateks, "Oil Analysis Equipment, [Online]. Available: <https://yateks.com/product/yfj-4-online-particle-counter-sensor/>. [Accessed 10 June 2024].
- [12] A. Mulyana and Tosin, "Perancangan dan Implementasi Komunikasi RS-485 Menggunakan Protokol Modbus RTU dan Modbus TCP pada Sistem Pick-by-Light," *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [13] *Hydraulic fluid power – Fluid contamination – Determination of particulate contamination by the counting method using an optical microscope*, ISO 4407:2002, International Standardization Organization, Geneva.
- [14] A. Jannifar et.al., "Analisa Partikel Kontaminasi Minyak Hidrolik Excavator Hitachi Pengusaha Galian C di Aceh Utara," *Jurnal Polimesin*, vol. 14, no. 1, 2016.
- [15] P. Dusa, et.al., "Configuring a System for Hydraulic Oil Contamination Management," in *MATEC Web of Conferences*, lasi, 2018.