

Prototipe Alat Monitoring Oksidasi Oli pada Mesin Hidrolik

Ikhsan Saputra¹, Kiki Prawiroredjo¹, Henry Candra¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti, Jakarta.

Informasi Artikel

Naskah Diterima: 09 April 2021

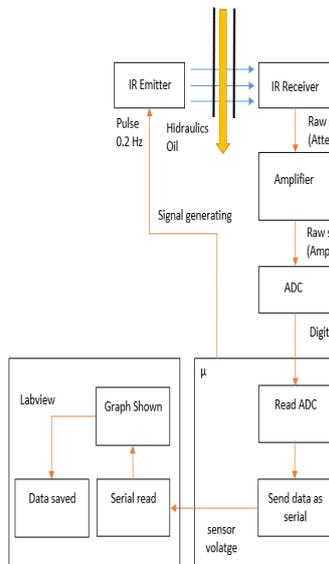
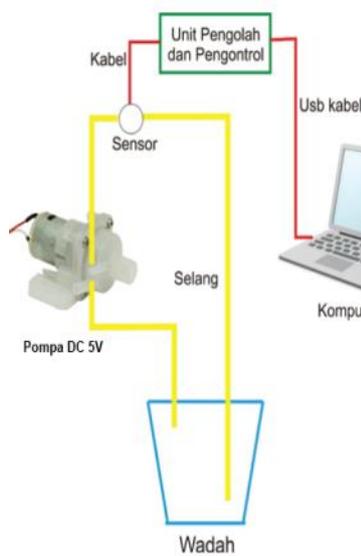
Direvisi : 15 Juni 2021

Disetujui : 16 Juni 2021

doi: 10.36055/setrum.v10i1.11000

*Korespondensi Penulis :
kiki.prawiroredjo@trisakti.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Changing hydraulic engine oil regularly over a period of time is considered irrelevant because the oil quality today is better than the oil quality in the past. The process of monitoring the quality of hydraulic engine oil with a real-time system provides an advantage to replace the engine hydraulic oil in the right time. Oxidation is the main factor affecting oil degradation the most. This research proposes a system that monitors the condition of hydraulic engine oil and monitors its oxidation level as a preliminary research to determine the oil replacement time. The system refers to T. Bley's research that detects oil degradation based on infrared emitters and thermopile. The system uses LabVIEW as a Graphical User Interface (GUI). Four types of oil samples are used, namely new oil, oil that has been used for 6 months, 9 months, and 1 year. The method of testing and demonstrating the tool is carried out by pumping oil through the sensor which will read the signal attenuation caused by oil oxidation. The results of the test show that the longer the oil is used, the higher the level of oxidation and it can be seen from the level voltages generated by the sensor's output is getting high.

Keywords: Infrared, thermopile, oxidation

Abstrak

Penggantian oli mesin hidrolik secara rutin selama kurun waktu tertentu dianggap sudah tidak relevan lagi karena kualitas oli pada dewasa ini sudah lebih baik dibandingkan dengan kualitas oli pada waktu yang lalu. Proses monitoring kualitas oli mesin hidrolik dengan sistem waktu nyata akan mwdahikan keuntungan karena waktu penggantian oli akan tepat sasaran. Oksidasi merupakan faktor utama yang paling mempengaruhi degradasi oli. Pada penelitian ini diajukan sebuah sistem yang dapat memonitor kondisi oli mesin hidrolik dan memantau tingkat oksidasinya sebagai penelitian awal untuk menentukan waktu penggantian oli pada waktu yang tepat. Sistem mengacu pada penelitian T. Bley dalam mendeteksi degradasi oli berbasis pemancar inframerah dan thermopile. Sistem menggunakan LabVIEW sebagai Graphical User Interface (GUI). Pada pengujian digunakan 4 jenis sampel oli yaitu oli baru, oli yang sudah digunakan selama 6 bulan, 9 bulan, dan 1 tahun. Metode pengujian dan peragaan alat dilakukan dengan memompa oli melewati sensor yang akan membaca peredaman sinyal yang disebabkan oleh oksidasi oli. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa semakin lama oli digunakan semakin tinggi tingkat oksidasinya terlihat dari level tinggi tegangan yang dihasilkan oleh keluaran sensor yang semakin tinggi.

Kata kunci: Inframerah, thermopile, oksidasi

© 2021 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

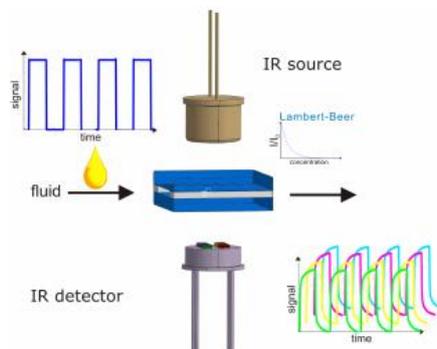
1. PENDAHULUAN

Proses fabrikasi yang dilakukan pada industri yang bergerak dalam pembuatan *steel tower* dan *steel structure* tidak dapat dipisahkan dari penggunaan mesin hidrolis. Kualitas oli yang digunakan pada suatu mesin hidrolis sangat mempengaruhi kinerja dan produktivitas dari mesin tersebut. Oli yang tidak sesuai dengan standar pengoperasian mesin dapat menyebabkan kegagalan yang tiba-tiba (*breakdown*) pada saat proses produksi sedang berlangsung. Beberapa parameter fisika dan kimia serta kandungan lain yang mengontaminasi oli akan berdampak langsung pada kemampuan oli dalam proses operasi.

Degradasi oli/pelumas yang disebabkan oleh mekanisme oksidatif merupakan suatu permasalahan yang serius. Beberapa dampak buruk dari oksidasi antara lain adalah : korosi akibat pembentukan *organic acid*, pembentukan polimer yang dapat membentuk lumpur dan resin, perubahan pada viskositas, dan penurunan hambatan listrik [1]. Korosi yang ditimbulkan oleh proses oksidasi pada oli akan merusak komponen-komponen mesin hidrolis; seperti *seal*, *piston*, dinding silinder, dll. Adanya lumpur (*sludge*) akan menyumbat filter pada tangki, yang mana akan berdampak pada kerusakan pompa hidrolis. Sementara itu, dampak dari perubahan viskositas sendiri adalah berubahnya tenaga yang dihasilkan oleh mesin, yang mana akan berhubungan langsung dengan optimalisasi kerja mesin.

Penentuan kualitas oli dapat dilakukan dengan melakukan uji laboratorium untuk mengetahui kandungan-kandungan dan parameter lain pada oli mesin hidrolis. Akan tetapi, biaya yang perlu dikeluarkan untuk melakukan pengujian secara rutin dan berkala dinilai masih tinggi. Ditambah lagi dengan beberapa kerugian lainnya seperti kondisi pengujian yang jauh berbeda dengan kondisi operasi mesin, dan waktu tunggu yang lama untuk memperoleh hasil analisis, membuat pengujian ini tidak populer digunakan. Cara paling efektif yang dapat dilakukan saat ini adalah dengan melakukan penggantian oli sesuai dengan kondisi dan parameter kualitas oli secara aktual. Sebuah sistem *monitoring* secara *real-time* terbukti menguntungkan dan sesuai dengan kondisi kebutuhan pemeliharaan mesin karena interval waktu penggantian yang tepat dinilai sangat krusial bagi pelaku pemelihara mesin [2]. Penggantian oli akan tepat sasaran mengingat oli yang masih baik tidak akan diganti, yang mana akan menghemat biaya konsumsi pada kegiatan operasional perusahaan.

T. Bley dkk. melakukan penelitian mengenai pembuatan sensor untuk mendeteksi degradasi oli berbasis inframerah. Gambar 1 memperlihatkan sistem pengujian yang dilakukan oleh T. Bley dkk. Prinsip kerja sensor pada sistem ini adalah dengan memancarkan cahaya inframerah dengan *spectral range* 1-20 mikron pada aliran oli. Gelombang inframerah yang melewati aliran oli kemudian akan diredam dan ditangkap oleh sebuah *thermopile*. Pada *thermopile* digunakan sebuah *filter* optikal *Narrow Band Pass* (NBP) dengan *center wave number* 1700-1800 cm^{-1} dimana pada *wave number* ini terjadi interaksi antara partikel oli yang sudah teroksidasi dengan cahaya inframerah yang menyebabkan cahaya inframerah diredam [3]. Pengukuran parameter degradasi oli disini menggunakan hukum Lambert-Beer yang menyatakan adanya hubungan linier antara penyerapan cahaya terhadap konsentrasi sampel, ketebalan sampel dan molaritas sampel.



Gambar 1. Sistem Sensor untuk Mengukur Tingkat Oksidasi Oli

Persamaan Hukum Lambert-Beer adalah $A = \epsilon cl$ dimana A adalah penyerapan atau redaman cahaya, ϵ adalah *absorptivity* dari material pembatas ditambah *absorptivity* oli, c adalah konsentrasi

molekul oli, serta l adalah ketebalan sampel [4]. Hukum ini dapat digunakan untuk mendeteksi tingkat oksidasi dari oli apabila dilewatkan sebuah cahaya inframerah. Oli yang sudah teroksidasi akan menyerap cahaya inframerah lebih tinggi dari pada oli yang masih baru. Dengan prinsip ini intensitas cahaya yang telah melewati oli dapat dideteksi dan dengan proses lebih lanjut dapat ditentukan tingkat oksidasi olinya. Dengan metode ini, T. Bley membuktikan bahwa sistem sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan parameter oksidasi dan kandungan air pada oli mesin hidrolik.

Sementara itu, Markus S. Rauscher dkk. juga melakukan penelitian mengenai pembuatan dan pengembangan sensor untuk *monitoring* kondisi oli pelumas pada *gearbox* turbin. Sensor yang digunakan juga berbasis inframerah. Sistem sensor ini menggunakan hukum Lambert-Beer juga yang berhasil membaca perubahan parameter degradasi oli. Parameter yang diukur pada penelitian ini antara lain adalah kandungan air, oksidasi, dan *Acid Number* [5].

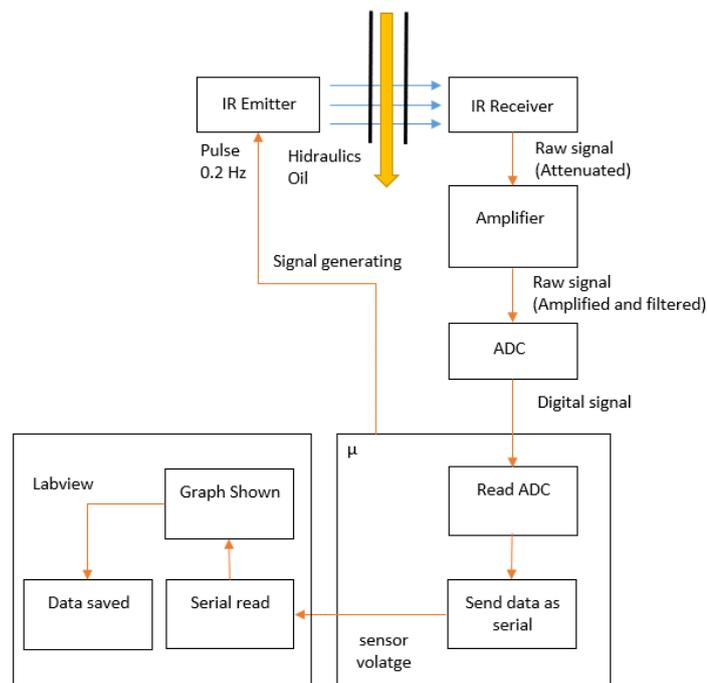
Prinsip yang digunakan oleh kedua penelitian tersebut adalah spektroskopi yaitu studi tentang interaksi gelombang elektromagnetik (EM) dengan materi. Sementara itu, spektroskopi inframerah adalah studi tentang interaksi materi dengan radiasi cahaya inframerah ketika gelombang bergerak melalui medium atau materi. Gelombang ini bersifat elektromagnetik dan berinteraksi dengan ikatan kimia molekulnya [6].

Dari latar belakang tersebut di atas maka diajukan sebuah sistem yang merupakan penelitian awal yang dapat memonitor kondisi oli dari mesin hidrolik dengan memantau tingkat oksidasi dari oli tersebut. Pemantauan tingkat oksidasi dilakukan berdasarkan penelitian T. Bley yang menggunakan pemancar cahaya inframerah dan *thermopile* sebagai sensor [3]. LabVIEW digunakan sebagai *Graphical User Interface* (GUI) untuk menampilkan hasil dari pembacaan dan pengolahan data oleh mikrokontroler. Hasil pengolahan kemudian dapat disimpan dan dijadikan acuan untuk keperluan analisis kegagalan pada mesin hidrolik. Data ini juga dapat digunakan untuk keperluan penentuan performa mesin serta dapat menjadi acuan pemeliharaan mesin ke depannya.

2. METODE PENELITIAN

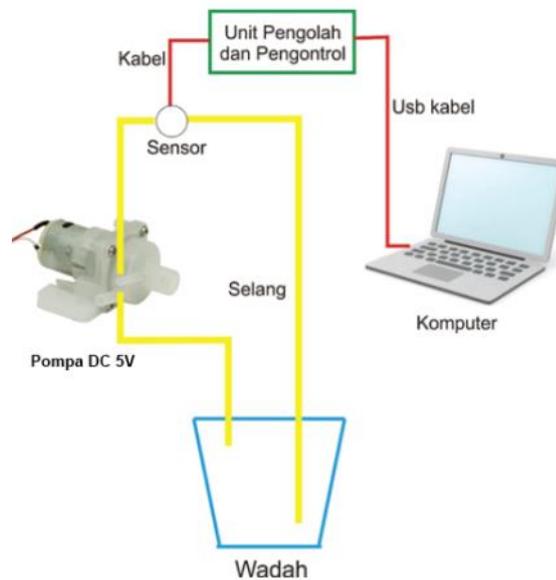
Sistem yang dibuat menggunakan prinsip spektroskopi dengan menggunakan IR *emitter* dan IR *receiver* sebagai komponen utama sensor. Gambar 2 memperlihatkan blok diagram dari sistem secara keseluruhan.

2.1. Blok Diagram Sistem



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

IR *emitter* berupa cahaya inframerah dari sebuah *Light Emitting Diode* (LED) IR-50 digunakan untuk memancarkan gelombang inframerah dengan tegangan input yang diberikan berupa pulsa dengan frekuensi 0,2 Hz [7]. Pulsa tersebut digunakan untuk proses *heating* dan *cooling* IR-LED untuk mendapatkan pancaran cahaya dengan intensitas yang tinggi sehingga cahaya infra merah dapat mencapai temperature maksimum [3]. Cahaya yang mengalami pelemahan akibat penyerapan oleh oli mesin hidrolik akan ditangkap oleh sebuah IR *receiver* berupa komponen *thermopile* HIS E222. *Thermopile* HIS E222 merupakan sensor suhu non kontak pasif infrared yang terdiri dari beberapa termokopel yang dipasang seri sehingga dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar [8]. *Thermopile* tidak menanggapi suhu mutlak tetapi menghasilkan output tegangan sebanding dengan perbedaan suhu antara *cold junction* dan *hot junction* pada termokopel [9]. Sinyal yang dihasilkan oleh keluaran *thermopile* kemudian disaring melalui sebuah LPF dari komponen R dan C dan dikuatkan dengan penguatan 1000 kali dengan menggunakan rangkaian non inverting amplifier op-amp karena nilai tegangannya berada di bawah 5 mV [10]. Sinyal analog yang dihasilkan setelah penguatan akan dikonversi menjadi sinyal digital dengan menggunakan ADC 16 bit ADS1115 agar pengukuran tegangan menjadi lebih teliti untuk diolah oleh Arduino Uno [11]. Dari Arduino Uno sinyal dikirimkan ke sebuah komputer untuk ditampilkan pada layar monitor menggunakan LabVIEW dan disimpan pada sebuah *database*. Gambaran ilustrasi perancangan alat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Gambaran Ilustrasi Perancangan Alat

Pompa DC pada Gambar 3 digunakan untuk memompa oli dari wadah agar melewati sensor dan kembali ke wadah. Sensor diletakkan sedemikian rupa sehingga dapat mendeteksi cahaya inframerah yang telah melewati medium oli. Tabel 1 memperlihatkan material yang dibutuhkan pada sistem.

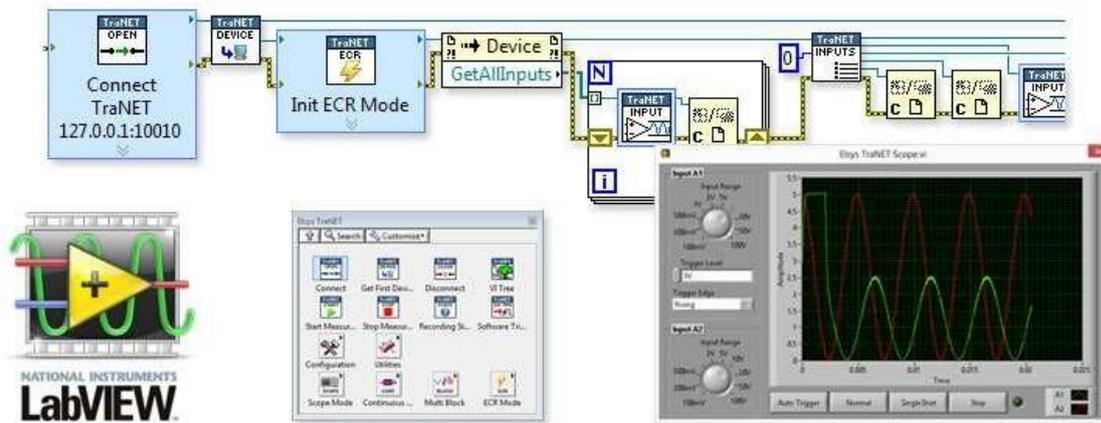
Tabel 1. Data Kebutuhan Material

No	Material	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	Mikroprosesor	Arduino Uno	1	Pcs
2	IR Emitter	IR-50	1	Pcs
3	IR Receiver	Thermopile HIS E222	1	Pcs
4	Amplifier	Penguatan 1001	1	Unit
5	Filter	LPF	1	Unit
5	ADC	ADS1115	1	Unit
6	GUI	LabVIEW	1	Unit
8	Unit window	Akrilik	14X7	cm

9	DC Pump	5V	1	Pcs
10	Power Supply 5V	3A	1	Pcs

2.2. LabVIEW

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) adalah bahasa pemrograman secara grafik *Functional Block Diagram* (FBD) yang pertama kali dikeluarkan oleh National Instrument tahun 1986. LabVIEW yang berbasis PC dapat melakukan tugas-tugas instrumentasi dan pengolahan data yang memiliki panel depan sebagai GUI dan panel belakang sebagai tempat meletakkan program atau perintah [12].



Gambar 4. LabVIEW

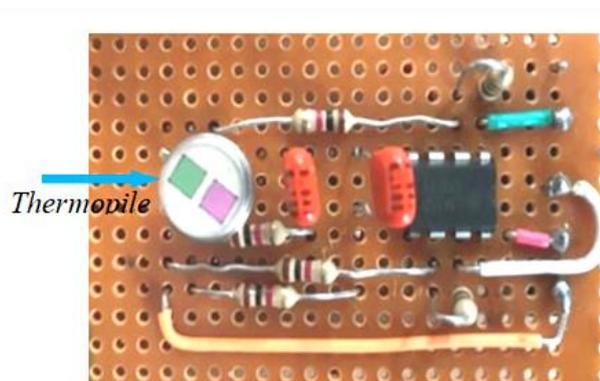
Gambar 4 memperlihatkan ilustrasi dari LabVIEW. LabVIEW digunakan karena fleksibilitas serta kesederhanaanya karena setiap perintah berbentuk diagram visual dan bukan ditulis secara kalimat. LabVIEW memiliki cakupan perintah yang luas seperti komunikasi serial, pembuatan grafik, penyimpanan data, dll. hal ini sesuai dengan kebutuhan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah perancangan sistem dibuat, dilakukan realisasi sistem dengan membuat rangkaian dan model mekaniknya untuk meletakkan komponen yang digunakan. Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan rangkaian pemancar cahaya inframerah berupa modul IR *emitter* dan penerima cahaya inframerah berupa modul *receiver* dengan *thermopile*.



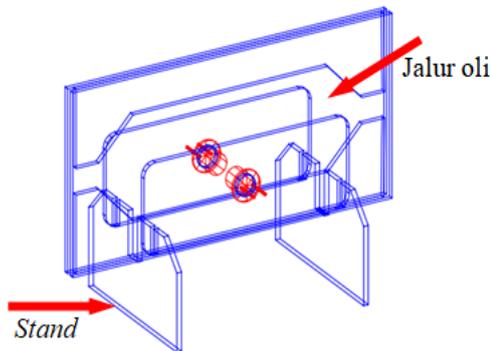
Gambar 5. Modul IR Emitter



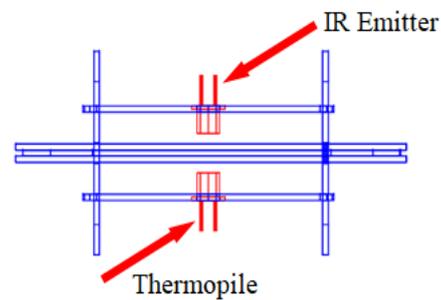
Gambar 6. Modul Receiver



Kedua modul tersebut akan dipasang pada sebuah *unit window* dengan letak sedemikian rupa sehingga dapat dilewatkan oli diantaranya. Gambar 7 memperlihatkan model *unit window* yang dirancang dan Gambar 8 memperlihatkan tata letak dari *IR emitter* dan *thermopile* pada *unit window*.

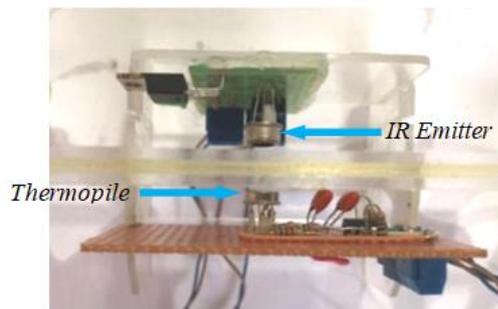


Gambar 7. Model *Unit Window*



Gambar 8. Tata Letak *IR Emitter* dan *Thermopile*

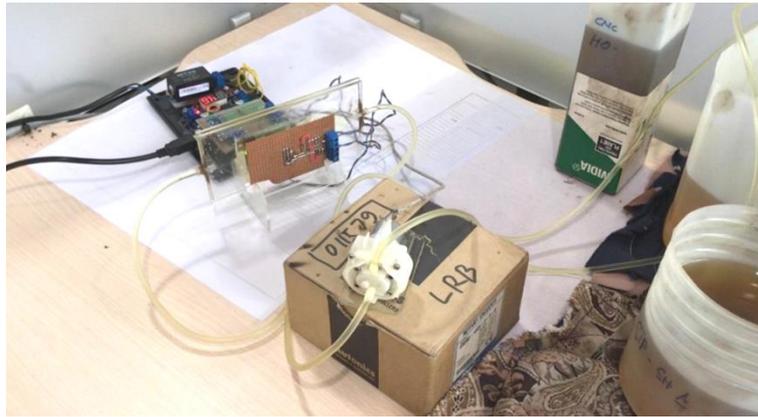
Unit window terdiri dari beberapa bagian yaitu 2 buah kaki / *stand*, bagian alur sebagai jalur oli, dan penutup sisi. Material yang digunakan adalah akrilik karena memiliki sifat transparan, tipis, dan mudah dilakukan proses *machining*. Beri tanda kaki, alur jalur oli, penutup sisi di gambar 6. Semua tanda buat dulu di tempat sementara lalu di printscreen supaya semua bersatu. Gambar 9 memperlihatkan integrasi dari modul *emitter* dan *receiver* pada *unit window*.



Gambar 9. Integrasi Modul *Emitter* dan *Receiver* pada *Unit Window*

3.1. Pengujian Sampel Oli

Pengujian sampel oli dari jenis FUCHS ISO VG46 dilakukan untuk mengetahui perbedaan tegangan yang dihasilkan oleh sensor bila digunakan medium oli dengan jangka waktu penggunaan yang berbeda-beda. Pada percobaan digunakan 4 medium oli dengan usia pemakaian baru, 6 bulan, 9 bulan dan 1 tahun. Oli yang mengalir pada *unit window* dilewatkan cahaya inframerah pada satu sisi dan sensor *thermopile* dipasang di sisi sebaliknya untuk menangkap cahaya inframerah yang telah melewati medium oli tersebut. Gambar 10 memperlihatkan cara pengujian sistem untuk mengetahui tingkat oksidasi oli sedangkan hasil pengujiannya terdapat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.



Gambar 10. Sistem Pengujian untuk Menentukan Tingkat Oksidasi Oli

Pada Gambar 10 dapat dilihat *unit window* yang telah dipasangkan IR *emitter* dan *thermopile* dialiri oli melalui selang yang berasal dari wadah tempat oli. Oli akan kembali ke wadah tempat penampungan setelah melewati *unit window*. Setiap sampel oli diuji sepuluh kali dan output tegangan yang dihasilkan dirata-rata.

Tabel 2. Hasil Pengujian Tegangan Sensor dengan Medium Oli Baru

No. percobaan	Tegangan yang dihasilkan sensor
1	2.90
2	2.91
3	2.91
4	2.90
5	2.90
6	2.90
7	2.90
8	2.90
9	2.91
10	2.91
Rata-rata	2.904

Tabel 3. Hasil Pengujian Tegangan Sensor dengan Medium Oli 6 Bulan

No. percobaan	Tegangan yang dihasilkan sensor
1	2.94
2	2.95
3	2.94
4	2.94
5	2.95
6	2.95
7	2.94
8	2.95
9	2.94
10	2.94
Rata-rata	2.944

Tabel 4. Hasil Pengujian Tegangan Sensor dengan Medium Oli 9 Bulan

No. percobaan	Tegangan yang dihasilkan sensor
1	3.01
2	3.01
3	3.01
4	3.01
5	3.01
6	3.02
7	3.02
8	3.01
9	3.01
10	3.01
Rata-rata	3.012

Tabel 5. Hasil Pengujian Tegangan Sensor dengan Medium Oli 1 Tahun

No. percobaan	Tegangan yang dihasilkan sensor
1	3.01
2	3.01
3	3.01
4	3.01
5	3.01
6	3.02
7	3.02
8	3.01
9	3.01
10	3.01
Rata-rata	3.012

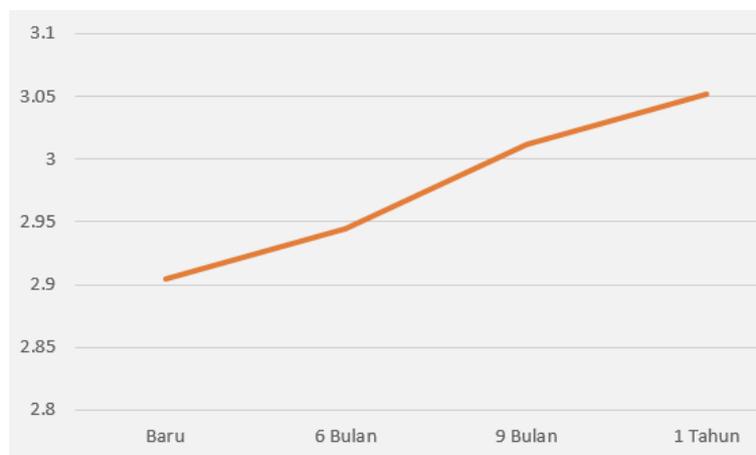
Tabel 6 memperlihatkan rekapitulasi hasil pengujian ke empat sampel tersebut dimana dapat dilihat semakin lama oli digunakan maka tegangan keluaran yang dihasilkan sensor semakin tinggi.

Kondisi ini disebabkan oleh penyerapan oli terhadap cahaya inframerah yang semakin tinggi sesuai tingkat oksidasi yang semakin tinggi dan membuat intensitas cahaya yang diterima oleh *receiver* semakin rendah. Apabila intensitas cahaya inframerah semakin rendah, maka tegangan yang dihasilkan *thermopile* akan meningkat karena selisih temperatur antara *cold junction* dan *hot junction* semakin besar. Semakin lama usia pemakaian, maka oli semakin teroksidasi dan terdegradasi dan menyebabkan kualitas dan performa oli akan menurun dan berpotensi menyebabkan kerusakan mesin.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Tegangan

Sampel Oli	Hasil Pembacaan [V]
Baru	2.904
6 Bulan	2.944
9 Bulan	3.012
1 Tahun	3.052

Gambar 11 memperlihatkan rekapitulasi grafik hasil pembacaan rata-rata pengukuran tegangan hasil pengujian untuk keempat sampel oli.

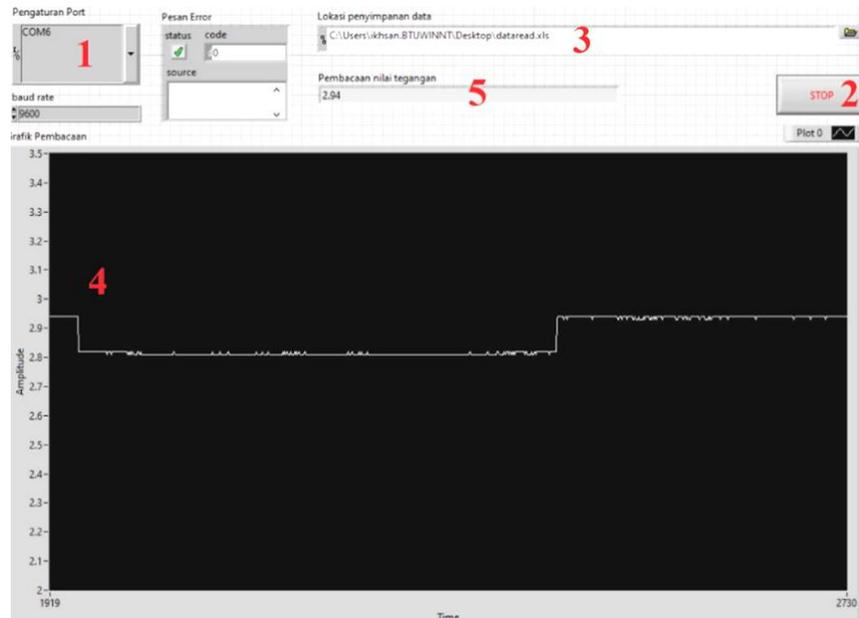


Gambar 11. Grafik Hasil Pembacaan Rata-Rata Tegangan Sensor

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin lama usia pemakaian oli pada mesin hidrolis, maka tegangan yang dihasilkan sensor *thermopile* semakin tinggi. Dari perbedaan tegangan tersebut dapat diproses lebih lanjut untuk mengetahui tingkat oksidasi oli yang sudah digunakan tersebut.

3.2. Hasil Rancangan Panel LabVIEW

LabVIEW digunakan sebagai pengolah sinyal, GUI, dan alat penyimpan data secara otomatis. Data akan ditampilkan secara *real-time* sehingga dapat dilakukan pengamatan lapangan secara langsung dan sewaktu-waktu. Penggunaan LabVIEW juga dimaksudkan agar tampilan lebih *user friendly* dan fleksibel untuk proses-proses selanjutnya apabila data akan diolah kembali ataupun alat akan dikembangkan. Gambar 12 memperlihatkan hasil tampilan rancangan panel LabVIEW dan penjelasan tampilan tersebut terdapat pada Tabel 7.



Gambar 12. Tampilan Hasil Pembacaan Tegangan Output dengan LabVIEW

Tampilan yang ditunjukkan nomor 4 adalah sebuah atribut untuk menampilkan nilai tegangan yang dibaca dalam bentuk grafik. Dalam simulasi *online*, garis tersebut akan bergerak ke arah sumbu Y menunjukkan perubahan tegangan terhadap waktu pada sumbu X. Setiap data yang sudah dibaca dapat disimpan ke dalam file .csv yang lokasi berkasnya dapat dipilih menggunakan *file path* yang ditunjukkan pada nomor 3.

Tabel 7. Penjelasan Tampilan LabVIEW

No	Nama	Fungsi
1	<i>Serial connection setting</i>	Untuk melakukan <i>set-up</i> komunikasi serial sebelum program dijalankan
2	<i>Stop Button</i>	Untuk menghentikan program yang sedang berjalan
3	<i>File path</i>	Untuk memilih lokasi penyimpanan file
4	<i>Time domain waveform</i>	Menampilkan hasil pembacaan nilai tegangan yang dikirim Arduino ke dalam bentuk grafik
5	<i>Voltage Caption</i>	Untuk menampilkan pembacaan tegangan yang dikirim Arduino

4. KESIMPULAN

Tingkat degradasi oli dapat diukur salah satunya dengan mengetahui tingkat oksidasi dari oli. Tingkat oksidasi oli dapat diukur dengan sebuah sistem sensor berbasis cahaya inframerah dengan panjang gelombang 1-20 mikron yang memancarkannya pada oli yang mengalir kemudian ditangkap oleh *receiver* berbasis *thermopile* dan diolah oleh unit pengolah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama oli digunakan, maka nilai tegangan yang dihasilkan oleh sensor semakin tinggi. Hasil pengujian menunjukkan tegangan rata-rata output sensor pada oli baru sebesar 2.904 V, oli 6 bulan sebesar 2.944 V, oli pada 9 bulan sebesar 3.012 V, dan oli 1 tahun sebesar 3.052 V. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa sistem sensor ini dapat mendeteksi perubahan tingkat oksidasi suatu oli yang sudah digunakan sehingga berpotensi untuk

mengetahui lebih lanjut besarnya tingkat oksidasi tersebut dan dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya untuk mengetahui performansi mesin hidrolik.

REFERENSI

- [1] R. M. Mortier, M. F. Fox, and S. T. Orszulik, *Chemistry and technology of lubricants: Third edition*. 2010.
- [2] V. V. Karanović, M. T. Jovanović, J. M. Wakiru, and M. D. Orošnjak, "Benefits of lubricant oil analysis for maintenance decision support: A case study," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 393, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/393/1/012013.
- [3] T. Bley, E. Pignanelli, and A. Schütze, "Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation," *J. Sensors Sens. Syst.*, vol. 3, no. 1, pp. 121–132, 2014, doi: 10.5194/jsss-3-121-2014.
- [4] E. S. Julian, K. Prawiroredjo, and G. Tjahjadi, "The Model of near infrared sensor output voltage as a function of glucose concentration in solution," in *QiR 2017 - 2017 15th International Conference on Quality in Research (QiR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering*, 2017, vol. 2017-Decem, pp. 146–149, doi: 10.1109/QIR.2017.8168471.
- [5] M. S. Rauscher, A. J. Tremmel, M. Schardt, and A. W. Koch, "Non-dispersive infrared sensor for online condition monitoring of gearbox oil," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 2, pp. 1–12, 2017, doi: 10.3390/s17020399.
- [6] T. Theophanides, "Introductory Chapter: Introduction to Infrared Spectroscopy," *Infrared Spectrosc. - Mater. Sci. Eng. Technol.*, p. 510, 2012.
- [7] H. Technologies, "Infrared Source Series 5x Operational Characteristics for the IR-5x Series." [Online]. Available: <http://hawkeyetechnologies.com/IR5x.pdf>.
- [8] Heimann Sensor, "HEIMANN Sensor GmbH D-01109 Dresden D-65343 Eltville Managing Director Dr. J. Schieferdecker Reg. at District Court Dresden HRB20692 VAT-ID DE813444739 Internet: www.heimannsensor.com Mail: info@heimannsensor.com Datasheet HIS-E222-F1 F2 Gx R01 AUG 2." [Online]. Available: <https://www.boselec.com/wp-content/uploads/Linear/Heimann/HeimannLiterature/HIS-E222-F1-F2-Gx.pdf>.
- [9] S. Kasap, "Thermoelectric Effects in Metals," *Dep. Electr. Eng. Univ. Saskatchewan, Canada*, pp. 1–11, 2001.
- [10] B. Carter and L. P. Huelsman, *Handbook Of Operational Amplifier Active RC Networks*, no. October. 2001.
- [11] ADS1113, "Analog-to-Digital Converter with Internal Reference ADS1113," *October*, 2009. .
- [12] C. Elliott, V. Vijayakumar, W. Zink, and R. Hansen, "National Instruments LabVIEW: A Programming Environment for Laboratory Automation and Measurement," *J. Lab. Autom.*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24, 2007, doi: 10.1016/j.jala.2006.07.012.