

# Viscosity Test for Handling B3 Liquid Waste on Used Oil Using the Taguchi Method

## [Uji Viskositas Penanganan Limbah B3 Liquid pada Oli Bekas Menggunakan Metode Taguchi]

Aldi Bayu Pamungkas<sup>1)</sup>, Atikha Sidhi Cahyana<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: [atikhasidhi@umsida.ac.id](mailto:atikhasidhi@umsida.ac.id)

**Abstract.** *B3 waste management is very useful for environmental sustainability, both directly related to the industrial sphere and indirectly such as household use and others. The impact caused by used oil if disposed of carelessly is that it can cause environmental pollution. This research focuses on the process of treating used oil waste to protect the environment so that damage can be minimized. Data processing was carried out qualitatively, namely by interviewing experts to obtain what tests were used for the oil product treatment process. To get the results of the viscosity test on the right used oil composition, the Taguchi method was used. The taguchi method is expected to produce good quality used oil and can be processed properly. Test assessment using the taguchi method focuses on the characteristics of waste lubricant and viscosity level, oil density and oil surface tension, as well as the percentage of used oil purity level. The results showed that the best value for used oil must meet the viscosity value of 60 ms, the oil density is 0.96 g while the surface tension of the oil is 17.65 dyne/cm, and the percentage of purity must meet the value of 80% compared to other ingredients such as water or slug contained in used oil.*

**Keywords** - *Used oil, Taguchi Method, Viscosity Test, B3 waste.*

**Abstrak.** *Pengelolaan limbah B3 sangat berguna bagi keberlangsungan lingkungan, baik yang berkaitan secara langsung di lingkup industri maupun yang tidak langsung seperti penggunaan dalam rumah tangga dan lainnya. Dampak yang ditimbulkan oleh oli bekas jika dibuang sembarangan adalah dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Penelitian ini berfokus pada proses treatment limbah oli bekas untuk menjaga lingkungan agar kerusakan dapat diminimalisir. Pengolahan data dilakukan secara kualitatif yaitu dengan wawancara kepada Ekspert untuk mendapatkan uji apa saja yang digunakan untuk proses treatment produk oli. Untuk mendapatkan hasil uji viskositas pada komposisi oli bekas yang tepat, maka digunakan metode Taguchi. Metode taguchi diharapkan dapat menghasilkan kualitas oli bekas yang bagus dan dapat diolah secara tepat. Penilaian uji dengan metode taguchi focus pada karakteristik limbah pelumas dan tingkat viskositas, kerapatan oli dan tegangan permukaan oli, serta persentase tingkat kemurnian oli bekas. Hasil penelitian didapatkan bahwa nilai terbaik pada oli bekas harus memenuhi nilai viskositas 60 ms, kerapatan oli 0,96 gr sedangkan tegangan permukaan oli 17,65 dyne/cm, dan presentase kemurnian harus memenuhi nilai 80% daripada kandungan lain seperti air maupun slug yang terkandung di dalam oli bekas.*

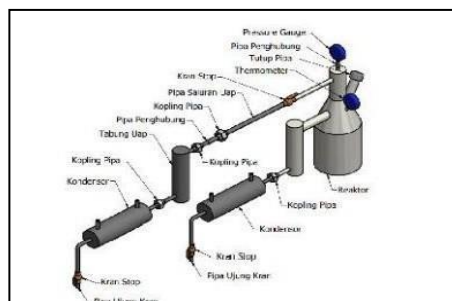
**Kata Kunci** - *Olibekas, Metode Taguchi, Uji Viskositas, limbah B3.*

## I. PENDAHULUAN

Limbah B3 banyak dihasilkan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari lingkup industri hingga rumah tangga[1]. Pengelolaan limbah B3 secara efektif perlu diorganisir secara berkala[2]. Proses pengelolaan harus secara resmi mulai dari penganan hingga perijinan sesuai peraturan yang dikeluarkan oleh pemerintah [3]. Beberapa pengelolaan dari penggunaan limbah B3 dapat dijumpai pada penggunaan kompor berbahan dasar limbah B3 seperti oli bekas [4]. Hasil pengolahan limbah B3 seperti oli yang telah dilakukan pemurnian[5]. Oli bekas termasuk dalam limbah B3 yang dapat dikategorikan sebagai limbah zat cair, maka zat ini dipengaruhi oleh tingkat suhu yang berefek pada kualitas oli bekas[6,7,8,9].

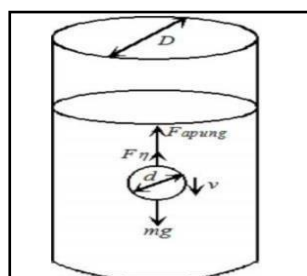
Beberapa fungsi lain pada limbah B3 pada oli bekas melumasi bagian-bagian mesin kendaraan untuk mengurangi gesekan antara permukaan sehingga mesin bekerja secara efisien[10]. Penggunaan bahan bakar kembali juga dapat diadopsi pada oli bekas B3[11], Efisiensi dengan pengelolaan pemurnian ulang pada limbah B3 dapat menghemat bahan bakar baru seperti minyak alam hasil olahan bumi[12-13]

didapatkan penelitian dengan skala lainnya yang terkandung pada oli bekas juga digunakan pada pelarut limbah karet, juga pada kasus lain diimplementasikan pada campuran bahan lain sebagai pupuk tanaman pengendali hama[12] yang dapat dikombinasikan dengan oli bekas yang lebih efektif dari segi biaya[14-16]



**Gambar 1.** Desain mesin pemurnian oli bekas

Viskometer merupakan alat pengukur kekentalan suatu viskositas pada limbah oli bekas[17,18,19]. Pada ostwald pengujian dilakuakn pada oli bekas dengan menggunakan titik koordinat dengan 2 fungsi nilai kandungan maupun titik didih[20]. Oli bekas pada prinsipnya merupakan zat cair dengan campuran beberapa artikel yang menyesuaikan pada tingkat permukaannya[24]. Viskositas dicerminkan pada penilaian kandungan molekul atau zat kimia yang perlu diuji berdasarkan kadarnya dan fungsi yang sesuai[26,27,28]. Pada pengujian satuan jarak ( $m^3/s$ ),  $\Delta P$  pengujian tingkat ketahanan pada penekaran material pipa yang diuji( $N/m^2$ ),  $\eta$  dan tingkat kekentalan oli bekas ( $Ns/m^2$ ),  $r$  merupakan satuan pada nilai setengah di diameter lubangpada pipa (m),  $d$  merupakan nilai dari 2 kali pada  $r$  dengan satuan (m) dan  $L$  merupakan panjang (m). Limbaholi yang diuji berdasarkan viskositas  $\eta_1$  dengan bandingan komposisi (air) pada pengujian viskositas  $\eta_2$ , dan nilai  $r_4$ , densitas ( $\rho$ ), kejadian ( $t$ ), volume ( $V$ ), panjang pipa ( $L$ )[29,30].



**Gambar 2.** Cara Kerja tekanan material dengan zat cair

## II. METODE

Penilain dan pemberian dalam desain percobaan menghasilkan secara menyeluruh dalam penentuan *evaluation* yang berdampak pada eksperimen yang berulang kali. Hasil dari faktor eksperimen menghasilkan variasi- variasi output yangberbeda sehingga dapat diketahui waktu dan jumlah kualitas yang ada sebagai acuan dalam penggunaan pada penelitian[31]. Percobaan–percobaan yang dilakukan secara berulang akan menghasilkan nilai eksperimen yang lebih akurat dan tepat[25-27] dikarenakan pada respon yang dihasilkan mempengaruhi hasil penelitian[32]. Pemberian nilai pada Taguchi dengan adanya matrik yang dinamakan orthogonal array dalam menentukan nilai eksperimen terbanyak. Metode Taguchi merupakan usaha peningkatan kualitas yang berfokus pada peningkatan rancangan produk dan proses. Sasaran metode tersebut adalah menjadikan produk tidak sensitif terhadap variabel gangguan (noise)[31-33]. Data yang dihasilkan diperoleh dengan kegiatan wawancara dan dilakukan observasi secara langsung. Pada divisi pengelolaan limbah B3 yaitu produksi. Dalam penelitian ditetapkan dari pengaturan eksperimen semenjak dimulainya kejadian dan selanjutnya dilakukan konfirmasi[38]. Fungsi dari konfirmasi dapat mengetahui solusi optimal sehingga dapat di validasikankebenaran dari pengujian. Petunjuk penilaian konfirmasi dari tiap-tiap eksperimen dilakukan:

$$\mu_p = \bar{y} + \sum X_i - \bar{y} \quad (1)$$

Selanjutnya dapat dilakukan penilaian perkiraan sehingga menemukan solusi konfirmasi yang tepat dibuat acuan dalam viskositas oli bekas

$$\mu p = y + \sum X_i - y \quad (12) \text{ dimana: } \mu p : \mu_{prediksi} \quad (2)$$

Berhitung jarak dipercaya dengan nilai percobaan yang telah didapat. Dengan didasarkan  $\mu_p$  dan CI, dilanjutkan  $\mu_p - CI \leq \mu_p \leq \mu_p + CI$  hal tersebut kemudian dibandingkan dengan jumlah yang paling optimal pada kepercayaan sehingga menemukan solusi alternatif dari nilai konfirmasi dan selang jarak kepercayaan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

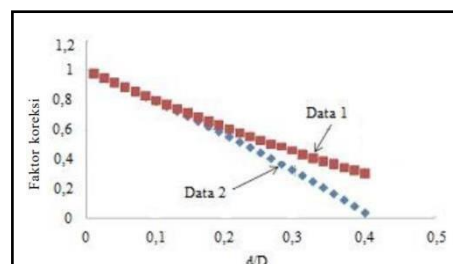
#### Koreksi Parameter

Perhitungan nilai viskositas gliserin tersebut telah memperhitungkan nilai faktor kecepatan koreksi kecepatan kelereng jatuh pada oli bekas dengan memperhatikan koreksi yang ada dalam penentuan koreksitas nilai jari-jari dan ratio bola ketika dijatuhkan kedalam oli bekas dengan hasil  $\eta_0$  sebesar  $622,5431 \pm 3,6721$  mPa.s. Pengkoreksian nilai maksimum  $d/D$  pada kelereng sebesar  $< 0,6$ . Sedangkan untuk percobaan kedua menggunakan parameter dengan nilai  $0,01 < d/D < 0,25$ , dari penelitian tersebut didapatkan nilai yang berbeda. Pada viskositas dihasilkan nilai  $\zeta_2$  dengan penilaian  $C_f$  memberikan nilai sebesar  $622,5431 \pm 1,9095$  mPa.s, untuk parameter  $C_f$  diimplementasikan  $0,5246$ .

**Tabel 1.** Data Faktor Koreksi Viskositas

Sampel oli	Waktu (ms)			Waktu rata – rata	$\eta_0$	$\eta_1$ (mPa.S)	$\eta_2$ (mPa.S)
K1	50	55	51,66	51,66	664,8642	292,5402	526,5724
K2	40	50	48,33	48,33	622,0071	273,6831	492,6296
K3	50	50	48,33	48,33	622,0071	273,6831	492,6296
K4	55	50	50	50	643,5	283,14	509,652
K5	50	40	43,33	43,33	557,6571	245,3691	441,6644
K6	40	40	43,33	43,33	557,6571	245,3691	441,6644
K7	45	55	50	50	643,5	283,14	509,652
K8	55	50	50	50	643,5	283,14	509,652
K9	50	40	48,33	48,33	622,0071	273,6831	492,6296
TK	475	475	431,64	431,64	664,8642	292,5402	526,5724
RK	47,5	47,5	43,16	43,16	622,0071	273,6831	492,6296

Hasil pengujian pada sampel oli sejumlah 9 kali dengan 3 kali waktu percobaan pada setiap sampel 1 didapatkan waktu rata-rata serta nilai faktor koreksi antar viskositas pada setiap percobaan, dapat dilihat pada sampel pertama (K1) didapatkan waktu rata-rata percobaan 51,66 ms dengan nilai faktor koreksi akhir sebesar 526,5724 mPa.S.



Gambar 1. Simulasi nilai faktor koreksi kecepatan kelereng jatuh

Kekentalan oli bekas  $\zeta_1$  sebesar  $611,5323 \pm 1,636$  mPa.s dengan hasil data 1 didapat  $0,3425$  diukur dengan kadar derajat  $20^\circ\text{C}$  sebagai nilai standart yang diperlukan [38] adalah sebesar  $1410$  mPa.s dan menghasilkan faktor koreksi pada data 2 sebesar  $0,2884$ , ketepatan tidak teratur dari hasil penelitian yang dihasilkan ( $\hat{\alpha}$ ) sebesar  $0,57\%$ . Namun lebih mendekati penelitian dengan acuan standart sebesar  $620$  mPa.s. dengan tingkat derajat  $30^\circ\text{C}$ , oleh sebab itu ketidaktepatan terjadi ( $\hat{\alpha}$ ) dengan nilai  $0,24\%$ .

#### Rancangan Eksperimen

Diperlukan rancangan untuk menghasilkan pertimbangan, nilai:  $\beta$  Sebagai variabel dalam tanggapan, pengukuran penilaian produk berdasarkan sampel yang ada.  $\beta$  dengan fungsi tujuan parameter yang digunakan:

- Viskositas Oli (ms): parameter perusahaan: 60 ms, total level: 3 hasil pengujian : 30 ms, 60 ms, serta 90 ms.
- Kerapatan Oli (gram): Parameter perusahaan: 0,96 mm, total level: 3 hasil pengujian: 0,94 gram, 0,96 gram, serta 0,98 gram. Tegangan Permukaan Oli (dyne/cm): parameter perusahaan: 17,65 dyne/cm, total level: 3 hasil pengujian: 16,65 dyne/cm, 17,65 dyne/cm, serta 18,65 dyne/cm dan persentase kemurnian oli (%): parameter perusahaan: 70%, total level: 3 hasil pengujian: 70%, 80%, serta 90%.

Percobaan kali ini dilakukan 4 faktor dan dirancang menggunakan 3 level. Penilaian level dan faktor didapatkan:

Jumlah faktor adalah empat dengan total adalah tiga df level sama dengan (jumlah level) dikurangi 1 sama dengan tiga dikurangi satu adalah dua sedangkan df.matriks orthogonal didapatkan jumlah faktor dikali df sama dengan empat dikali dua sama dengan delapan. Jumlah baris sama dengan df.matriks orthogonal ditambah satu sama dengan delapan ditambah satu sehingga menghasilkan nilai sembilan. Total barisan berarti total percobaan. Replikasi percobaan dilaksanakan 3 kali, oleh sebab itu jumlah percobaan dilakukan 27. Kode beserta penilaian dalam tingkatan level dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Kode	Faktor Kontrol	Level 1	Level 2	Level 3
A	Viskositas Oli	30	60	90
B	Kerapatan Oli	0,94	0,96	0,98
C	Tegangan Permukaan Oli	16,65	17,65	18,65
D	Persentase Kemurnian	70%	80%	90%

### Data Hasil Experimen

Olahan eksperimen yang ada pada Tabel 3, dan variabel bebas Viskositas Oli (ms), Kerapatan Oli (gr), Tegangan Permukaan Oli (dyne/cm), dan Persentase Kemurnian (%):

**Tabel.4** Faktor Eksperimen

Exp. No	Faktor				Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3
	ms	gr	dyne/cm	%			
1	30	0,94	16,65	70	194	195	192
2	30	0,96	17,65	80	221	221	220
3	30	0,98	18,65	90	255	256	259
4	60	0,94	17,65	90	228	224	225
5	60	0,96	18,65	70	272	269	270
6	60	0,98	16,65	80	230	232	232
7	90	0,94	18,65	80	239	237	237
8	90	0,96	16,65	90	219	218	219
9	90	0,98	17,65	70	210	208	211

### Replikasi Data

Dilanjutkan menghitung *average*, standard deviasi (s) dan SNR dengan total eksperimen yang ada di Tabel 3.

$$\begin{aligned}
 \text{SNR} &= -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{1} \right) \\
 &= -10 \log \left( \frac{1}{10} \left( \frac{1}{3} \left( \frac{1}{194^2} + \frac{1}{195^2} + \frac{1}{192^2} \right) \right) \right) \\
 &= 45,741
 \end{aligned}$$

**Tabel.5** Nilai Replikasi

Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	$\bar{y}$	$\overline{SR}$
194	195	192	193,67	45,741
221	221	220	220,67	46,875
255	256	259	256,67	48,187
228	224	225	225,67	47,069
272	269	270	270,33	48,638
230	232	232	231,33	47,285
239	237	237	237,67	47,519
219	218	219	218,67	46,796
210	208	211	209,67	46,430

Dari Mean. Adapun contoh perhitungan untuk **Tabel 6.** adalah sebagai berikut:

Eksperimen	Mean				Efek SNR			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Level I	223,67	219,00	214,56	224,56	46,93	46,78	46,61	46,94
Level 2	242,44	236,56	218,67	229,89	47,66	47,44	46,79	47,23
Level 3	222,00	232,56	254,89	233,67	46,91	47,30	48,11	47,35
Efek	20,44	17,56	40,33	9,11	0,75	0,66	1,50	0,41
Rank	2	3	1	4	2	3	1	4
Optimum	A2	B2	C3	D3	A2	B2	C3	D3

**Tabel 7.** Analisa Varian

Source	SS	V	MS	F-Ratio	SS'	P(%)
A	2320,0741	2	1160,0270	549,4912	2315,8519	17,6428
B	1523,8519	2	761,9259	360,9123	1519,6296	11,5770
C	8867,1852	2	4433,5926	2100,1228	8862,9630	67,5207
D	377,1852	2	188,5926	89,3333	372,9630	2,8413
Error	38	18	2,1111		54,8889	0,4182
Total	13126,2963	26	504,8575		13126,2963	100

Hasil dapat dilihat bahwa semua nilai signifikan dalam penilaian oli bekas. dilakukan dengan perbandingan antar F-ratio total eksperimen F-ratio dengan standart nilai  $\alpha = 5\%$ . Pada tabel F dalam  $\alpha = 5\%$ ,  $n_1 = 2$ , dan  $n_2 = 18$  sehingga menghasilkan  $F_{0.05, 2, 18} = 3.55$ .

Dikatakan menolak apabila  $H_0[39] = |t_0| > t_{\alpha/2, v}$

$$T_0 = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}} = \frac{278 - 279,444}{0,8165/\sqrt{3}}$$

$$]t_0] = -3,064$$

Untuk  $\alpha = 5\%$  dan  $v = 3 - 1 = 2$

$$T_{0,025} = 4,303$$

$|-3,064| < t_{\alpha/2, v}$  ( $H_0$  bersifat gagal atau ditolak)

Jadi tidak cukup bukti untuk menolak bahwa hasil eksperimen verifikasi sama dengan prediksi, sehingga standar yang telah didapatkan sebenarnya sudah sesuai dengan kebutuhan lapangan yang diminta, namun sampel random yang diuji kurang memenuhi syarat. Adapun standar yang dimaksud harus sesuai dengan parameter uji: uji viskositas harus memenuhi nilai 60 ms, kerapatan oli harus memenuhi 0,96 gr, tegangan permukaan oli harus memenuhi nilai 17,65 dyne/cm, persentase kemurnian harus memenuhi nilai 80% dari pada kandunganm lain seperti kadar air maupun *slug* yang terkandung didalam sampel.

#### IV. SIMPULAN

Pada penelitian yang dilaksanakan didapatkan:

- a.) Nilai uji hipotesa pdengan membandingkan percobaan verifikasi baik pada prediksi atau perkiraan maupun start kondisi, hasil dari metode Taguchi dapat menaikkan cranking Oli bekas. b) Rancangan usulan diberikan kepada pihak perusahaan sebagai berikut: - Viskositas : 60 ms – Kerapatan Oli : 96 mm – Tegangan Permukaan: 17,65 dyne/cm - Persentase kemurnian bahan: 70% · c) Usulan tersebut diatas memperoleh cranking peningkatan standart dan mutu oli bekas rata-rata sebesar 278.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua serta tidak lupa juga sholawat serta salam ditujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang senantiasa membebaskan kita dari kegelapan dan menuntun kita di jalan yang di ridhai Allah SWT. Ucapan terimakasih kami sampaikan juga kepada pihak-pihak yang membantu dan terlibat dalam menyelesaikan penulisan artikel ini serta kepada seluruh jajaran aparaturn Kecamatan Dlanggu, Kabupaten Mojokerto yang telah membantu dalam melengkapi data informasi dan memfasilitasi dalam penulisan artikel ini

## REFERENSI

- [1] D. dan A. Ardiatma, "Kajian Sistem Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun Di Pt. Tokai Rubber Auto Hose Indonesi," *J. Teknol. dan Pengelolaan Lingkungan*, vol. 6, no. 2, pp. 7–20, 2019.
- [2] I. B. Dharmawan, M. I. Marsal, P. N. Balikpapan, and K. Balikpapan, "P-30 Analisa Pemanfaatan Limbah B3 Pelumas Oli Bekas Sebagai Alternatif Pelumas Padat ( Grease ) Analysis of Utilization Toxic and Hazardous Waste Lubricant Oil As a Solid Alternative Lubricant ( Grease )," pp. 209–216, 2021.
- [3] K. T. Utami and S. Syafrudin, "Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Studi Kasuspt. Holcim Indonesia, Tbk Narogong Plant," *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 15, no. 2, p. 127, 2018, doi: 10.14710/presipitasi.v15i2.127-132.
- [4] D. Hernady, L. Septian, and B. Chandra, "Perancangan , Pembuatan , dan Pengujian Burner Dengan Bahan Bakar Oli Bekas Dan Minyak Jelantah," *J. Rekayasa Sipil*, pp. 41–47, 2019.
- [5] A. S. Naiu and N. Yusuf, "Nilai Sensoris dan Viskositas Skin Cream menggunakan Gelatin Tulang Tuna sebagai Pengemulsi dan Humektan," *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, vol. 21, no. 2, p. 199, 2018, doi: 10.17844/jphpi.v21i2.22838.
- [6] M. R. R. Putra, Azharuddin, and A. A. Sani, "PENGARUH KATALIS (NaOH) DALAM PROSES SERTA HASIL PENGOLAHAN OLI BEKAS MENJADI BAHAN BAKAR CAIR (BBC)," *Mach. J. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–14, 2021, [Online]. Available: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4748501>.
- [7] A. W. Nuruddin, "Studi Literatur: Pengolahan Dan Pemanfaatan Limbah B3 (Oli Bekas)," *Pros. Semin. Nas. Penelit. dan Pengabd. Masyarakat. Univ. PGRI Ronggolawe*, vol. 5, no. 1, pp. 108–112, 2020, [Online]. Available: <http://prosiding.unirow.ac.id/index.php/SNasPPM%0AKembali>.
- [8] T. I. Putra, N. Setyowati, and E. Apriyanto, "Identifikasi Jenis Dan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun Rumah Tangga: Studi Kasus Kelurahan Pasar Tais Kecamatan Seluma Kabupaten Seluma," *Nat. J. Penelit. Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkung.*, vol. 8, no. 2, pp. 49–61, 2019, doi: 10.31186/naturalis.8.2.9209.
- [9] A. Arif, N. Hidayat, W. Purwanto, M. Y. Setiawan, and M. Masykur, "Pengaruh Penggunaan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Terhadap SFC dan Efisiensi Termal Mesin Diesel," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 7, no. 1, p. 58, 2021, doi: 10.35308/jmkn.v7i1.3730.
- [10] P. Y. L. L. N. N. Pratama, Jusuf; Arlin Dini Anindya, "Pemanfaatan Bioadsorben Dari Sekam Padi Untuk Mendegradasi Logam Cu Pada Minyak Pelumas Bekas," *J. Fluida*, vol. 15, no. 1, pp. 22–29, 2022.
- [11] J. Junaidi, E. Kurniawan, and A. Lasmana, "Analisis Laju Aliran Udara dan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Terhadap Beban Pembakaran Sampah pada Incinerator Berbahan Bakar Limbah Oli Bekas," *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 1, p. 17, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i1.838.
- [12] J. R. Nor *et al.*, "Rancang bangun reaktor destilasi terkontrol untuk mengkonversi oli bekas menjadi bahan bakar diesel."
- [13] M. Lutfi, "Pemanfaatan Limbah Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar High Speed Diesel (HSD)," *JST (Jurnal Sains Ter.)*, vol. 7, no. 1, pp. 57–62, 2021, doi: 10.32487/jst.v7i1.1121.
- [14] Y. T. Sarungu and A. Ngatin, "Pemanfaatan Hasil Kondensasi Oli Bekas Menjadi Bahan Aditif Aspal dengan Metode Sulfonasi," *Pros. Semin. Nas. Tek. Kim. "Kejuangan"*, no. April, pp. 1–7, 2019.
- [15] E. Muslimin, T. Sipil, and U. Puhuwato, "Studi pengaruh kehilangan fraksi agregat halus pada spesifikasi ream terhadap campuran aspal porous," vol. 5, no. 2, pp. 53–58, 2022.
- [16] M. L. H. dan Kehutanan, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2021," *Menteri Lingkung. Hidup Dan Kehutan. Republik Indones.*, no. April, pp. 5–24, 2021.
- [17] G. & Moshe, *Zero-shear-rate viscosity measurements for polymer solutions by falling ball viscometry*. Japan: Hartcourt Academic Press, 1979.
- [18] and R. A. Bhattacharya, Gouri K. and Johnson, *Statistical Concepts and Methods*. Singapore: John Wiley & Sons, 1990.
- [19] D. Prayitno, J. Riyono, and E. Pujiastuti, "Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar (Waste Oil As a Fuel)," *J. Abdi Masy. Indones.*, vol. 3, no. 2, pp. 188–195, 2021, doi: 10.25105/jamin.v3i2.6951.
- [20] M. Brizard, M. Megharfi, E. Mahé, and C. Verdier, "Design of a high precision falling-ball viscometer," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 76, no. 2, p. 025109, Feb. 2005, doi: 10.1063/1.1851471.
- [21] A. W. Francis, "Wall Effect in Falling Ball Method for Viscosity," *Physics (College. Park. Md.)*, vol. 4, no. 11, pp. 403–406, Nov. 1933, doi: 10.1063/1.1745151.
- [22] AGI'LIO A. H., *An absolute measurement of the viscosity by the falling ball method*. Kyoto, Japan: Proceeding of 14th Conference on the Properties of Water and Steam, 2003.

- [24] A. A. Pratama, P. T. Kimia, F. Teknik, and U. Negeri, "Proses Pembuatan Minyak Pelumas Mineral Dari Minyak Bumi," *J. Kompetensi Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 19–24, 2019.
- [25] L. T, M. Megharfi, E. Mahe, and E. Devin, "Conceptual study of an absolute falling-ball viscometer," *Metrologia*, vol. 38, no. 6, pp. 531–534, Dec. 2001, doi: 10.1088/0026-1394/38/6/7.
- [26] J. & J. T. Hinrichs, Richard, *Method for determining resin viscosity with ultrasonic waves*. USA: United States Paten, 1985.
- [27] A. Pratama, B. Basyirun, Y. W. Atmojo, G. W. Ramadhan, and A. R. Hidayat, "Rancang Bangun Kompor (Burner) Berbahan Bakar Oli Bekas," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 19, no. 2, p. 95, 2020, doi: 10.20961/mekanika.v19i2.42378.
- [28] Azharuddin, A. Anwar Sani, and M. Ade Ariasya, "Proses Pengolahan Limbah B3 (Oli Bekas) Menjadi Bahan Bakar Cair Dengan Perlakuan Panas Yang Konstan," *J. AUSTENIT*, vol. 12, no. 2, pp. 48–53, 2020.
- [29] A. Kusnadi, R. Djafar, and M. Mustofa, "Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Kompor Yang Ramah Lingkungan," *J. Teknol. Pertan. Gorontalo*, vol. 5, no. 2, pp. 49–55, 2020, doi: 10.30869/jtpg.v5i2.681.
- [30] S. Wahyu Suciwati, dan Dyan Isworo Jurusan Fisika, and F. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, "Desain dan Analisis Pengukuran Viskositas dengan Metode Bola Jatuh Berbasis Sensor Optocoupler dan Sistem Akuisisinya pada Komputer," *J. Natur Indones.*, vol. 14, no. 3, pp. 230–235, 2012.
- [31] P. Halimah and Y. Ekawati, "Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang," *Jiems (Journal Ind. Eng. Manag. Syst.)*, vol. 13, no. 1, pp. 13–26, 2020, doi: 10.30813/jiems.v13i1.1694.
- [32] R. Agus, Setiawan; Rusdijjati, "Peningkatan Kualitas Biogas Limbah Cair Tahu Dengan Metode Taguchi," *SNATIF*, vol. 2, no. 9, pp. 35–40, 2018.
- [33] R. Salam, "Uji Kerapatan, Viskositas dan Tegangan Permukaan pada Tinta Print dengan Bahan dengan Bahan Dasar Arang Sabut Kelapa," *J. Sains*, vol. 1, no. 1, pp. 19–20, 2017.
- [34] A. R. Hidayat and B. Basyirun, "Pengaruh Jenis Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Kompor Pengecoran Logam Terhadap Waktu Konsumsi dan Suhu Maksimal pada Pembakaran," *J. Din. Vokasional Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 103–108, 2020, doi: 10.21831/dinamika.v5i2.34802.
- [35] Wahjudi; Didik, "Optimasi Cranking Ampere Aki di PT. „X,“," *J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 2, pp. 70–76, 2021.
- [36] B. Tapan. P, *Taguchi methods explained : practical steps to robust design*. New Delhi: Prentice-Hall, 1993.
- [37] and J. E. M. Lochner, Robert H., *Designing for Quality: an Introduction to the Best of Taguchi's & Western Methods of Statistical Experimental Design*. New York: Quality Resources, 1990.
- [38] Belavendram, Nicolo, *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. London: Prentice-Hall International, 1995.
- [39] D. C. Montgomery, *Statistical Quality Design & Control: Contemporary Concepts and Methods*. New York: Mac Milan Publishing Company, 1992.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*