

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

Aldi Bayu Pamungkas¹, Atikha Sidhi Cahyana².

^{1,2} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Raya Gelam No. 250, Pagerwaja, Gelam, Kec. Candi, Sidoarjo, Jawa Timur
Email: pamungkasaldi927@gmail.com, atikhasidhi@umsida.ac.id

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: Oli bekas, Metode Taguchi, Uji Viskositas, limbah B3.

ABSTRACT

Management of B3 waste is very useful for environmental sustainability, both directly related to the industrial sphere and indirectly, such as use in households and others. The impact caused by used oil, if disposed of carelessly, is that it can cause environmental pollution. This research focuses on treating used oil waste to protect the environment and minimize damage. Data processing was conducted qualitatively by interviewing experts to determine the tests used for the oil product treatment process. The Taguchi method was used to get the viscosity test results on the right used oil composition. The Taguchi method is expected to produce good quality used oil and can be processed properly. Test assessment using the Taguchi method focuses on waste lubricant and viscosity level characteristics, oil density and surface tension, and 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, and the oil density must be 0.96 g. In contrast, the surface tension of the oil is 17.65 dyne/cm, and the purity percentage must meet the value of 80% rather than other ingredients such as water or slug contained in used oil.

Keywords: Used oil, Taguchi Method, Viscosity Test, B3 waste.

Pendahuluan

Limbah B3 banyak dihasilkan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari lingkup industri hingga rumah tangga. Limbah B3 perlu ditangani dan netralisir karena dapat mengganggu kesehatan manusia[1]. Pengelolaan limbah B3 secara efektif perlu diorganisir secara berkala[2]. Proses pengelolaan harus secara resmi mulai dari penanganan 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 ulang dengan kadar yang telah baik dan disesuaikan dalam pengujiannya pada kendaraan dimana hasil pengolahan oli bekas sama dengan oli yang komersial secara premium[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]. Salah satu zat adiktif yang digunakan pada penggunaan limbah oli bekas yaitu katalis yang dapat dinilai dari kualitas oli bekas, dimana

Pada pengujian satuan jarak (m^3/s), ΔP pengujian tingkat ketahanan pada penekaranan material pipa yang diuji (N/m^2), η dan tingkat kekentalan oli bekas (Ns/m^2), r merupakan satuan pada nilai setengah di diameter lubang pada pipa (m), d merupakan nilai dari 2 kali pada r dengan satuan (m) dan L merupakan panjang (m). Limbah oli yang diuji berdasarkan viskositas η_1 dengan bandingan komposisi (air) pada pengujian viskositas η_2 , dan nilai r_4 , densitas (ρ), kejadian (t), volume (V), panjang pipa (L)[29]. Perlunya penilaian uji viskositas sehingga didapatkan solusi alternatif dalam hal biaya, waktu yang digunakan maupun pencampuran yang ada[30]. Pengujian viskositas dilakukan standar ukur milimeter kuadrat /s maupun centimeter kuadrat /s, pada satu cm^2/s sebanding satu St dengan satuan stokes Pengukuran viskositas lain menggunakan Poise (P), satu P sama dengan satu Ns/m^2 . Penemuan terbaru pada pengukuran kecepatan ultrasonik. Viskositas yang tinggi ditandai dengan naiknya atau peningkatan gelombang yang ada. Pendekatan lain pada uji coba tingkat viskositas menggunakan *falling ball method* yang ada pada Hukum Stokes[30]. Prinsip pengerjaan nilai viskositas pada penelitian kelereng didapatkan : $\sum F = 0$; dimana nilai $F_{apung} + F_{\eta} + (-mg) = 0$ (1)

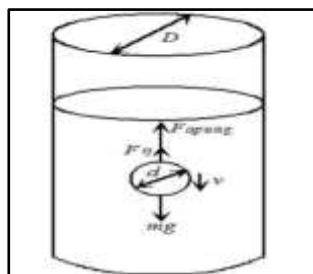
Dengan inputan gaya mengapung dengan jari-jari pada tekanan uji viskositas didapatakn nilai $= \pi \rho$ dengan pengujian $F \pi r v \eta = 6$ penilaian massa input $0.334 \text{ m} = \pi r \rho$ diimplementasikan pada persamaan 1, maka dihasilkan viskositas (η) dengan prinsip:

$$\eta = \frac{2r}{9v} (\rho_0 - \rho_1) \tag{2}$$

diketahui r /jari-jari adalah jari-jari pada pengujian menggunakan kelereng, g kecepatan paad gravitasi bumi, ρ_0 adalah massa jenis kelereng, dan ρ_1 adalah massa jenis cairan oli bekas. Wall salah satu efek yang digunakan pada pengujian viskositas (D) yang mempengaruhi kecepatan jatuh kelereng pada cairan oli bekas yang dimasukkan berdasarkan massa zat cairnya. Sehingga metode taguchi diharapkan dapat memberikan pengujian pada zat, kemurnian hingga viskositas yang diberikan dengan menggunakan rumus:

$$C_f = \left[\frac{1 - 0,475 \frac{d}{D}}{1 - \frac{d}{D}} \right]^4 \tag{3}$$

Poin pada Reynolds, $Re < 1$ dan rasio $d/D < 0,97$ pada penentuan besaran kecepatan kelereng jatuh sebagai fungsi rasio antara diameter kelereng dan tabung yang disebut *edge effects*. Pada penelitian kali ini, dilakukan berdasar pada gliserin yang berbasis pada sensor optocoupler dalam mengukur kecepatan kelereng jatuh sec ara bertapa pada uji materal viskositas oli bekas. Nilai koreksi sebagai akuisisi data pada komputer secara serial juga dilakukan, sehingga sistem pengukuran nilai viskositas, uji kerapatan, persentase kemurnian dan tekanan permukaan dan implementasiannya menggunakan metode taguchi.



Gambar 2. Cara Kerja tekanan material dengan zat cair

Metodologi Penelitian

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], sehingga disebut sebagai *robust design*. Metode ini digunakan dalam perékayasaan dan peningkatan kualitas dengan cara desain eksperimen untuk menemukan penyebab utama yang sangat dominan memengaruhi karakteristik kualitas dalam proses, sehingga variabel karakteristik kualitas dapat dikendalikan. Dengan metode ini diperoleh kombinasi terbaik antara unit produk dan unit proses pada tingkat keseragaman yang tinggi untuk mencapai karakteristik kualitas terbaik dengan biaya yang rendah[33]. Orthogonal

array merupakan memberikan solusi terupdate pada penentuan tingkat rasio dengan noise (S/N ratio) yang diberlakukan pada metode taguchi.

Pendekatan taguchi dilakukan dengan perlakuan banyak percobaan yang akan diuji sehingga menghasilkan fenomena yang baru. Pada eksperimen sebelumnya taguchi digunakan untuk mengetahui tingkat kualitas yang diuji terhadap faktor yang mempengaruhi tekanan bata ringan. Banyak contoh yang menggunakan metode taguchi yang digunakan untuk meningkatkan kualitas produk. Seperti halnya penelitian sebelumnya yang memanfaatkannya untuk pembuatan batak dengan memanfaatkan lumpur lapindo. Penggunaan metode ini adalah mengetahui faktor-faktor yang memengaruhi Kualitas oli bekas berdasarkan uji viskositas, kerapatan oli dan tegangan permukaan oli serta menemukan cara memperbaiki atau meningkatkan kualitas oli bekas dengan menggunakan metode Taguchi. Pemilihan metode taguchi dilakukan dengan menentukan nilai faktorial yang paling sederhana dengan matriks yang sederhana dengan pemangkasan secara menyeluruh dari total percobaan, dan ini dapat lebih efektif karena penggunaan hasil pengujian yang dilakukan dengan memilih nilai faktorial yang paling baik. Hasil dari tiap eksperimen disederhanakan dan dikombinasikan sehingga mendapatka eksperimen pengujian pada tekanan material oli didapat nilai eksperimen terbaik. Fungsi penilaian uji tekan dapat mengetahui implus dari material produk agar dapat digunakan lagi ataupun tidak dapat digunakan lagi[22-23,34], Oleh sebab itu Metode taguchi mengurangi biaya dan kandungan pada tekanan dan kandungan material zat cair yang diteliti.

Data yang dihasilkan diperoleh dengan kegiatan wawancara dan dilakukan observasi secara langsung. Pada divisi pengelolaan limbah B3 yaitu produksi. Data yang diperoleh berupa material dan standart acuan kualitas limbah Oli Bekas sehingga dapat mengukur batas-batas atau parameter pengukuran dalam kualitas oli bekas yang dapat digunakan. Setelah dilakukan penentuan penilaian berdasar parameter langkah selanjutnya observasi langsung ke lapangan. Proses penilaian berdasarkan observasi yang didapat mendapatkan empat parameter pengukuran. Dilanjutkan dengan penilaian antar karakter, kualitas dan kandungan viskositas oli. Pendekatan metode ini dilakukan S/N ratio dalam pengaruhnya terhadap jenis material yang ada dengan standart S/N didasarkan pada hasil penelitian yang diinginkan, namun juga berdasarkan tiga acuan, yaitu semakin kecil maka semakin bagus, pengujian dengan nilai semakin besar maka hasil semakin bagus, dan pengambilan angka terbaik dari penelitian yang dilakukan[22]. Pada penelitian kali ini didasarkan pada penilaian semakin besar nilai semakin bagus, hal ini membuktikan tingkat viskositas yang memiliki kadar kekentalan semakin tinggi maka semakin bagus kualitasnya. Variabel yang diteliti ada kelereng yang merupakan variabel tidak bebas. Kekuatan kelereng dapat dilihat dari kelereng yang akan dijatuhkan dalam pengujian material viskositas oli, kekentalan sangat berpengaruh pada kecepatan kelereng jatuh. Penggunaan persamaan pada prinsip semakin besar nilai viskositas maka semakin bagus adalah[9,17]

$$SN_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \tag{4}$$

Lanjutan dari pengimplementasian dilakukan pengujian tekanan pada kelereng. Data diolah dengan *varian analysis* yang berfungsi dalam implementasi data dari hasil eksperimen [36]. Metode taguchi dengan fungsi analisis varian dilakukan dengan tahapan-tahapan[37]:

- Menghitung nilai total penelitian:

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

- Menghitung rerata respon dari keseluruhan penelitian:

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum y_{ijk}}{n_{ijk}}$$

- Nilai kuadrat dari keseluruhan (total sum of square):

$$SS_{total} = \sum -y^2$$

- Menghitung rerata dari total:

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2$$

- Penjumlahan dari tiap faktor:

$$SS_i = (\sum_i (n_{ij}) (\bar{l}_j^2)) - S_m$$

- Menghitung kesalahan dalam penelitian:

$$SS_e = SS_{total} - S_m - (\sum_i SS_i)$$

- Menghitung rerata tiap penelitian:

$$MS_i = \frac{SS_i}{DF_i}$$

- Menghitung nilai gaya yang diberikan:

$$F_{ratio} = \frac{MS_i}{MS_e}$$

- Menghitung total yang dari data yang akan digunakan:

$$SS'_i = SS_i - (DF_i \cdot MS_e)$$

- Menghitung nilai antar kontribusi dari setiap penelitian:



$$P_i = \frac{SS_i}{SS_t}$$

Dalam penelitian ditetapkan dari pengaturan eksperimen semenjak dimulainya kejadian dan selanjutnya dilakukan konfirmasi[38]. Fungsi dari konfirmasi dapat mengetahui solusi optimal sehingga dapat di validasikan kebenaran dari pengujian. Petunjuk penilaian konfirmasi dari tiap-tiap eksperimen dilakukan:

$$\mu_p = \bar{y} + \sum X_i - \bar{y} \tag{5}$$

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

$$\mu p = \bar{y} + \sum X_i - \bar{y} \tag{12} \text{ dimana: } \mu p : \mu_{prediksi} \tag{6}$$

Setelah didapatkan parameter penilaian berdasarkan nilai perkiraan pada acuan yang tepat sehingga dapat dipercaya dan untuk penilaian CI: $n_{eff} = \frac{n}{df}$ dengan N yang merupakan jumlah percobaan dan df yang merupakan total perkiraan rerata.

$$CI = \pm \sqrt{F_{(a,v1;v2)} \times MS_{ex} \left| \frac{1}{n_{eff}} \right|} \tag{7}$$

Berhitung jarak dipercaya dengan nilai percobaan yang telah didapat. Dengan didasarkan μp 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.

Hasil Dan Pembahasan

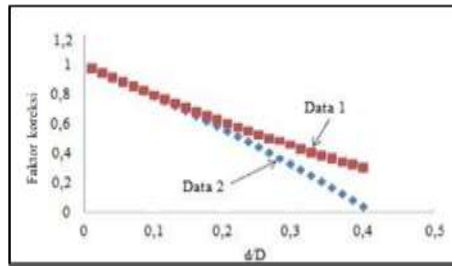
Koreksi Parameter

Mengetahui nilai viskositas dalam penelitian merupakan langkah awal penentuan data dengan uji viskositas menggunakan osswalt. Pengujian di implementasikan dengan menghitung waktu pada sampel dan waktu kelereng yang jatuh . 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 η_0 sebesar $622,5431 \pm 3,6721$ mPa.s. Pengkoreksiam 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 ζ_2 dengan penilaian Cf memberikan nilai sebesar $622,5431 \pm 1,9095$ mPa.s, untuk parameter Cf diimplementasikan 0,5246.

Tabel 1. Data Faktor Koreksi Viskositas

Sampel oli	Waktu (ms)		Waktu rata – rata		η_0	η_1 (mPa.S)	η_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 l 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; sedangkan untuk sampel 2 didapatkan waktu rata-rata serta nilai faktor koreksi antar viskositas pada setiap percobaan, dapat dilihat pada sampel pertama (K2) didapatkan waktu rata-rata percobaan 48,33 ms dengan nilai faktor koreksi akhir sebesar 492,6296 mPa.S; sedangkan untuk sampel 4 didapatkan waktu rata-rata serta nilai faktor koreksi antar viskositas pada setiap percobaan yang dapat dilihat pada sampel pertama (K4) didapatkan waktu rata-rata percobaan 50 ms dengan nilai faktor koreksi akhir sebesar 509,652.



Gambar 1. Simulasi nilai faktor koreksi kecepatan kelereng jatuh

Kekentalan oli bekas $\varphi 1$ sebesar $611,5323 \pm 1,636$ mPa.s dengan hasil data 1 didapat 0,3425 diukur dengan kadar derajat 20°C sebagai nilai standart yang diperlukan[38] adalah sebesar 1410 mPa.s dan menghasilkam 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 standar sebesar 620 mPa.s. dengan tingkat derajat 30°C, oleh sebab itu ketidaktepatan terjadi ($\hat{\alpha}$) dengan nilai 0,24%.

Tabel 2. Data Kerapatan dan ketegangan permukaan Oli Bekas

Sample	Kerapatan Oli					Ketegangan Oli				
	Masa gelas kosong (gr)	Masa gelas + sampel (gr)	Masa sampel (gr)	Volume (ml)	Kerapatan (gr/cm ³)	h (cm)			h rata-rata (cm)	Tegangan permukaan (dyne/cm)
	h1	h2	h3	h rata-rata						
K1	101,5	147	45,5	50	0,91	1,6	1,4	1,7	1,56	17,95
K2	101,5	148,2	46,7	50	0,93	1,4	1,7	1,6	1,56	18,35
K3	101,5	147,7	46,2	50	0,92	1,5	1,6	1,5	1,53	17,80
K4	101,5	149	47,5	50	0,95	1,6	1,5	1,4	1,50	18,03
K5	101,5	148	46,5	50	0,93	1,4	1,7	1,4	1,50	17,65
K6	101,5	147,5	46	50	0,92	1,6	1,6	1,5	1,57	18,27
K7	101,5	150	48,5	50	0,97	1,7	1,6	1,7	1,67	20,49
K8	101,5	148	46,5	50	0,93	1,4	1,5	1,4	1,43	16,82
K9	101,5	148,5	47	50	0,94	1,5	1,4	1,6	1,50	17,83
TK	101,5	1333,9	420,4	500	8,40	13,7	14	13,8	13,82	163,19
RK	101,5	148,21	46,71	50	0,93	1,52	1,56	1,53	1,54	18,13

Rancangan Eksperimen

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

- a. Viskositas Oli (ms): parameter perusahaan: 60 ms, total level: 3 hasil pengujian : 30 ms, 60 ms, serta 90 ms.
 - b. Kerapatan Oli (gram): Parameter perusahaan: 0,96 mm, total level: 3 hasil pengujian: 0,94 gram, 0,96 gram, serta 0,98 gram.
 - c. 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.
 - d. 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 engan 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.

Tabel 3. Penilaian dalam tingkatan

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 Experiment

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.

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

Tabel.5 Nilai Replikasi

Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	\bar{y}	\overline{SNR}
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

Analisa dengan empat kegiatan nilai hitung mean, efek dari SNR, efek dari t dan nilai replikasi yang dilakukan.

Perhitungan Efek Dari Mean

Dilakukan menghitung *mean* untuk $\bar{A}_1 = \frac{193,67+220,67+256,67}{3} = 223,67$ dilai pada faktor A = (rata - rata respon terbesar) - (rata - rata respon terkecil) = 242,444 – 222,000 = 20,444

Selanjutnya dilaukan usulanm terbaik yaitu dari niali terbesar yang digunakan sebagai acuan. Sehingga usulan didapatkan A2, B2, C3, dan D3.



$$\bar{A}_1 = \frac{(45,741 + 46,875 + 48,187)}{3} = 46,93; \text{Efek SNR untuk faktor A} = (\text{rata - rata SNR terbesar}) - (\text{rata - rata SNR terkecil}) = 47,66 - 46,91 = 0,75$$

Dari Mean. Adapun contoh perhitungan untuk efek mean adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Efek Dari Mean

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

Menghitung Tiap Faktor Dalam Replikasi

$$\bar{A}_{IR1} = \frac{(194 + 221 + 225)}{3} = 223,33, \text{ oleh karena itu } A = \text{Faktor paling tinggi} - \text{Faktor paling rendah}$$

menghasilkan nilai $242,444 - 222,00 = 20,444$

Tabel 7. Respon Tiap Faktor untuk Tiap Replikasi

Faktor	Respon				Level	Efek			Ranking
	Kelas			R1		Kelas		R3	
	R1	R2	R3			R2	R3		
A	223,33	224,00	223,67	1	20,67	20,67	20,00	2	
	243,33	241,67	242,33	2 →A2					
	222,67	221,00	222,33	3					
B	220,33	218,67	218,00	1	17,00	17,33	18,33	3	
	237,33	236,00	236,33	2 →B2					
	231,67	232,00	234,00	3					
C	214,33	215,00	214,33	1	41,00	39,00	41,00	1	
	219,67	217,67	218,67	2					
	255,33	254,00	255,33	3 →C3					
D	225,33	224,00	224,33	1	8,67	8,67	10,00	4	
	230,00	230,00	229,67	2					
	234,00	232,67	234,33	3 →D3					

Perhitungan Analisa Varian (ANOVA)

Persentase nilai kontribusi (r) yang didapatkan pada tabel 8.

$$P = \frac{SS'}{SS_T} \times 100\%$$

$$P_A = \frac{(2.315,8519 / 13.126,2963) \times 100\% = 17,6428 \%$$

Tabel 9. 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. dilakuakn 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 $F_{0.05, 2, 18} = 3.55$.

Uji Verifikasi

Uji in I dilakuakn dengan perbandingan dari tiap respon yang diberikan, dengan tanda apabila nilai antar prediksi saling berdekatan antar satu sama lainnya maka dapat dikatakan rancangan baik dan sesuai, namun jika jauh maka



mendakan rancangan kurang optimal. Kemudian harus membandingkan nilai antara respon yang ada dengan prediksi yang diberikan. Dengan rancangan usulan yang diberikan (A2 B2 C3 D3), perkiraan proses (prediksi):

$$\begin{aligned}\mu_{\text{prediksi}} &= \bar{A}_2 + \bar{B}_2 + \bar{C}_2 + \bar{D}_2 - 3 \times \bar{y} \\ &= 242,444 + 236,555 + 254,889 + 233,667 - (3 \times 229,37037) \\ &= 279,444\end{aligned}$$

Setelah itu dilakukan pengujian apakah rancangan dapat tercapai. Nilai yang didapatkan pada pengujian prediksi pertama mendapatkan nilai eksperimen sebesar 279; dilanjut prediksi kedua didapatkan 277; dan ketiga 278 sehingga menghasilkan rata-rata 278 dengan nilai standart deviasi sebesar 0,8165.

Cara mengetahui percobaan dengan respon yang diberikan dilakukan:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Dimana :

$$\mu = \mu_{\text{verifikasi}}$$

$$\mu_0 = \mu_{\text{prediksi}} = 279,444$$

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

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

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

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 kandungan lain seperti kadar air maupun *slug* yang terkandung didalam sampel.

Hal ini sudah sesuai terhadap apa yang telah dilakukan, atau pengujian yang dilakukan di Pt.Larashatiku Environmental, namun perbandingannya ada pada parameter yang diuji, serta standar nilai yang diuji. Parameter pembeda ada pada kerapatan dan persentase kemurnian, kemudian nilai standar yang diberikan tidak bisa disebutkan karena kode etik uji lab perusahaan.

Kesimpulan

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.

Daftar Pustaka

- [1] D. dan A. Ardiatma, “Kajian Sistem Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun Di Pt. Tokai Rubber Auto Hose Indonesi,” *J. Teknol. dan PengelolaanLingkungan*, 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 Nargong 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.v2i12.22838.
- [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. Pohuwato, "Studi pengaruh kehilangan fraksi agregat halus pada spesifikasi ream terhadap campuran aspal porus," 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] J. & J. T. Hinrichs, Richard, *Method for determining resin viscosity with ultrasonic waves*. USA: United States Paten, 1985.
- [26] A. Pratama, B. Basyirun, Y. W. Atmojo, G. W. Ramadhan, and A. R. Hidayat, "Rancang Bangun Kompom (Burner) Berbahan Bakar Oli Bekas," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 19, no. 2, p. 95, 2020, doi: 10.20961/mekanika.v19i2.42378.
- [27] 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.
- [28] A. Kusnadi, R. Djafar, and M. Mustofa, "Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Kompom Yang Ramah Lingkungan," *J. Teknol. Pertan. Gorontalo*, vol. 5, no. 2, pp. 49–55, 2020, doi: 10.30869/jtpg.v5i2.681.
- [29] S. Wahyu Suciayati, 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.