Jurnal Kimia Unand
Published by Chemistry Departement
Universitas Andalas

ISSN (online) : 3026 - 2933
ISSN (print) : 2303 - 3401

Pengaruh Degradasi Pelumas Bekas Menggunakan Katalis ZnO/Zeolit terhadap Kandungan Mg dan Na secara Fotolisis

Zilfa[a*], Yulizar Yusuf[a], Hanifah Adhisa[a]

[a]Laboratorium Kimia Analisis Terapan, Departemen Kimia FMIPA, Universitas Andalas
Corresponding author: zilfa@sci.unand.ac.id

Abstract

Every year, the number of car users has increased significantly, leading to an increase in used lubricant waste. Used lubricants are the result of oil that has been subjected to engine friction, combustion residue and dust. As a result, the effectiveness of the lubricant decreases, and if left for a long time, these contaminants can turn into harmful abrasive particles. The purpose of this study is to see the effect of using ZnO/Zeolite catalysts in degrading used lubricants on the reduction of Mg and Na content by photolysis. Analysis of Mg and Na metal content in used lubricants was carried out using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). The results of this study showed that the degradation process through photolysis lasted for 15 minutes with the utilization of 0.4 grams of ZnO/Zeolite, and the volume of used lubricant samples was 10 mL for Mg and Na metals. After the degradation process was carried out under optimal conditions, the percentage of metal degradation of Mg reached 84.407% and Na 78.155%. Analysis of used lubricants before and after the degradation process was carried out using FTIR and UV-Vis Spectrophotometer, which showed a change in the spectrum, characterized by a shift in wavenumbers, indicated that the degradation had been successfully carried out. The results of catalyst characterization using FTIR and XRD showed that there was no change in the structure of ZnO/zeolite.

Keywords

used lubricants
photolysis
degradation
ZnO/Zeolite

Received: September 2025
Revised: October 2025
Accepted: November 2025
Available online: November 2025

1. Pendahuluan

Di Indonesia, jumlah pengguna kendaraan pribadi terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Berdasarkan data terkini dari Badan Pusat Statistik (BPS), hingga tahun 2023, tercatat sebanyak 18.285.293 mobil bermotor. Hal ini berpotensi menimbulkan dampak lingkungan yang serius, termasuk pencemaran akibat limbah pelumas bekas. Pelumas bekas mengandung Pb, Zn, Ca, Ba, dan Mg dalam konsentrasi tinggi, serta Fe, Na, Cu, Al, Cr, Mn, K, Ni, Sn, Si, B, dan Mo dalam konsentrasi yang lebih rendah[1],[2]. Pelumas bekas umumnya digunakan kembali oleh angkutan kota, kapal, rantai sepeda, dan engsel pintu. Penggunaan pelumas bekas ini dapat menimbulkan risiko bagi mesin, termasuk keausan dan korosi[3]. Kelebihan Na pada pelumas bekas akan mengakibatkan korosi pada mesin karena Na bersifat higroskopis yang mudah menyerap uap air. Kelebihan Mg dalam pelumas dapat membentuk kristal jarum (deposit) akibat pengaruh kadar air dan gas asam karbonat, yang dapat mengakibatkan penyumbatan dan meningkatkan gesekan serta keausan mesin[4].

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk pengelolaan pelumas bekas, seperti fotolisis, adsorpsi, sonolisis, dan ozonolisis. Di antara metode tersebut, banyak digunakan metode fotolisis dalam menguraikan senyawa hidrokarbon kompleks pada pelumas bekas. Proses fotolisis melibatkan reaksi kimia yang menggunakan sinar iradiasi, di mana senyawa kimia, baik anorganik maupun organik, mengalami degradasi dengan bantuan energi foton yang memecah H_2O menjadi •OH. •OH kemudian menyerang gugus aktif pada senyawa organik, sehingga menghasilkan senyawa-senyawa sederhana yang tidak berbahaya[5].

Peningkatan hasil degradasi dapat dicapai melalui penggunaan katalis, seperti ZnO, TiO_2, dan CuO. ZnO memiliki *band gap* sekitar 3,37 eV, yang membuatnya dapat menyerap cahaya UV dengan baik. Ketika terpapar sinar UV, ZnO menghasilkan pasangan elektron dan *hole* menguraikan senyawa organik dalam pelumas bekas. Aplikasi ZnO sebagai katalis, sering kali dikombinasikan dengan bahan seperti zeolit (ZnO/Zeolit)[6]. Penggunaan zeolit dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap, serta

mineral penukar ion. Zeolit juga berperan dalam meningkatkan aktivitas katalitik ZnO, di mana dapat memperluas luas permukaan ZnO sehingga •OH yang dihasilkan banyak. Katalis ZnO/Zeolit pada fotolisis dapat berfungsi sebagai simultan yaitu, degradasi dan adsorpsi[7],[8].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh degradasi pelumas bekas terhadap kandungan Mg dan Na dengan metode fotolisis dengan memanfaatkan katalis ZnO/Zeolit. Untuk menentukan kandungan Mg dan Na, digunakan teknik *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS). Analisis pelumas bekas dilakukan sebelum dan sesudah proses degradasi dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Karakterisasi ZnO/Zeolit dilakukan melalui analisis FTIR dan *X-Ray Diffraction* (XRD)[5] [6].

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pelumas bekas (Faston), Zeolit *Clinoptilolite* yang diperoleh dari daerah Lubuak Salasiah, Sumatera Barat, ZnO (Merck), $MgCl_2.6H_2O$ (Merck), $NaCl.2H_2O$ (Merck), HCl (Merck), NaCl (Merck), $AgNO_3$ (Merck), akuades, kertas saring, dan kertas pH.

2.2. Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas (gelas piala, erlenmeyer, labu ukur, *petridish*, batang pengaduk, pipet takar, pipet gondok), neraca analitik (KERN AJ 220 - 4M), Lampu UV (Luster BLB 10 W-TB) dengan λ = 365 nm, ayakan (Fritsch, Germany), *magnetic stirrer* (Thermo Scientific), sentrifus (Thermo Scientific), oven (Memmert), *furnace*, AAS (Varian SpectrAA-400 spectrometer), Spektrofotometer UV-Vis (SHIMADZU UV-1280), FTIR (Perkin Elmer Frontier C90704), dan XRD (XPert PRO PAN analitycal).

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Pembuatan Reagen

a. Pembuatan 500 mL Larutan HCl 0,2 M

HCl 37% dipipet sebanyak 8,3 mL dan kemudian dilarutkan dalam gelas piala 500 mL dengan akuades.

b. Pembuatan 500 mL Larutan NaCl 0,01 M

NaCl ditimbang sebanyak 0,2925 g lalu dilarutkan dalam gelas piala 500 mL dengan akuades.

c. Pembuatan 50 mL Larutan $AgNO_3$ 0,05 M

$AgNO_3$ ditimbang sebanyak 0,4250 g lalu dilarutkan dalam gelas piala 50 mL dengan akuades.

2.3.2. Pembuatan Larutan Induk Mg dan Na 1000 mg/L

a. Pembuatan Larutan Induk Mg 1000 mg/L

Sebanyak 0,8363 g $MgCl_2.6H_2O$ ditimbang dan dilarutkan dalam labu ukur 100 mL sampai tanda batas, diperoleh larutan induk Mg 1000 mg/L.

b. Pembuatan Larutan Induk Na 1000 mg/L

Sebanyak 0,4108 g $NaCl.2H_2O$ ditimbang dan dilarutkan dalam labu ukur 100 mL sampai tanda batas, diperoleh larutan induk 1000 mg/L.

2.3.3. Pembuatan Larutan Mg dan Na 100 mg/L

a. Pembuatan larutan Mg 100 mg/L

Larutan Mg 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan akuades.

b. Pembuatan Larutan Na 100 mg/L

Larutan Na 1000 mg/L dipipet sebanyak 10 mL lalu dilarutkan dalam labu ukur 100 mL dengan akuades.

2.3.4. Pembuatan Variasi Larutan Standar Mg dan Na

a. Pembuatan Variasi Larutan Mg 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 mg/L

Larutan Mg 100 mg/L dipipet masing masing sebanyak 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 mL dan dimasukkan ke dalam 6 labu ukur 50 mL berbeda.

b. Pembuatan Variasi Larutan Na 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 mg/L

Larutan Na 100 mg/L dipipet masing masing sebanyak 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 mL dan dimasukkan ke dalam 6 labu ukur 50 mL berbeda.

2.3.5. Pembuatan Kurva Kalibrasi Mg dan Na

Larutan standar Mg dengan variasi konsentrasi 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 mg/L dan larutan standar Na dengan variasi konsentrasi 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 mg/L diukur absorban menggunakan SSA pada panjang gelombang Mg 285,2 nm dan Na 589,6 nm dan dibuat kurva kalibrasi.

2.3.6. Sintesis Katalis ZnO/Zeolit

a. Aktivasi Zeolit *Clinoptilolite*

Zeolit digerus hingga halus dan disaring dengan ayakan 320 mesh. Sebanyak 300 g zeolit yang telah disaring dimasukkan ke dalam gelas piala dan diaktivasi dengan penambahan HCl 0,2 M sebanyak 100 mL, kemudian distirer selama 30 menit. Setelah waktu tersebut, lalu dibilas dengan air hingga pH menjadi netral. Zeolit yang telah diaktivasi disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam[6].

b. Penjenuhan Zeolit *Clinoptilolite*

Zeolit yang telah diaktivasi kemudian dijenuhkan dengan NaCl 0,01 M dan diaduk selama 1 jam. Setelah proses pengadukan, zeolit dipisahkan dari filtrat melalui penyaringan. Filtrat diuji menggunakan $AgNO_3$, jika terjadi pembentukan endapan putih, zeolit dicuci dengan akuades hingga endapan putih hilang. Selanjutnya, zeolit dikeringkan pada suhu 105°C[6].

c. Preparasi Katalis ZnO/Zeolit *Clinoptilolite*

Sebanyak 75 gram zeolit yang telah dijenuhkan dimasukkan ke dalam gelas piala, 150 mL akuades ditambahkan. Selanjutnya, 3 gram ZnO ditambahkan secara bertahap dengan perbandingan (1:25) g sambil diaduk selama 5 jam. Campuran ZnO/Zeolit kemudian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Setelah itu, campuran digerus dan diayak menggunakan ayakan 150 mesh. Hasil ayakan kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C selama 10 jam[6].

2.3.7. Perlakuan Awal Sampel Pelumas Bekas

Sampel pelumas bekas diambil dari 3 mobil berbeda menggunakan merek oli yang sama yaitu *fastron*. Ketiga sampel tersebut dihomogenkan dan diaduk hingga menghasilkan 1 L pelumas bekas. Sebanyak 500 mL pelumas bekas dipipet dan dimasukkan ke dalam gelas piala 2,5 L, ditambahkan 275 mL etanol dan 56,53 g KOH. Diaduk menggunakan stirrer selama 1 jam dengan suhu 60°C. Setelah diaduk larutan didiamkan selama 1 jam. Kemudian disaring menggunakan kertas saring dan didapatkan filtrat.

2.3.8. Penentuan Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dan dilakukan proses destruksi dengan ditambahkan 5 mL HCl pekat dan 5 mL HNO_3 pekat. Sampel dipanaskan hingga asap kuning pada larutan hilang sepenuhnya. Setelah itu, sampel dipindahkan ke labu ukur 25 mL, dan ditambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan AAS dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Selanjutnya dihitung konsentrasinya.

2.3.9. Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

a. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas Tanpa Katalis ZnO/Zeolit

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 *petridish*. Sampel kemudian difotolisis dengan variasi waktu selama 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Setelah proses fotolisis, larutan disaring dan dilakukan proses destruksi (2.3.8). Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan AAS dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Selanjutnya persen degradasi dihitung dengan rumus:

$$\%\ \text{Degradasi} = \frac{\text{Absorban awal-Absorban akhir}}{\text{Absorban awal}} \times 100\%$$

b. Pengaruh Jumlah Katalis ZnO/Zeolit terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 *petridish*. Setelah itu, ZnO/Zeolit ditambahkan dengan variasi 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1,0 g ke dalam masing-masing *petridish*. Sampel kemudian difotolisis dengan waktu Mg selama 15 menit dan Na selama 30 menit Setelah proses fotolisis, larutan disaring dan proses destruksi dilakukan dengan ditambahkan 5 mL HCl pekat dan 5 mL HNO_3 pekat. Sampel dipanaskan hingga asap kuning pada larutan hilang sepenuhnya. Setelah itu, sampel dipindahkan ke labu ukur 25 mL, dan ditambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan AAS dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Persen degradasi dihitung.

c. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Katalis ZnO/Zeolit

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 *petridish*. Setelah itu, katalis dengan massa sebesar 0,4 gram ditambahkan masing-masingnya. Sampel kemudian difotolisis dengan variasi waktu selama 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Setelah proses fotolisis, larutan disaring dan proses destruksi dilakukan dengan ditambahkan 5 mL HCl pekat dan 5 mL HNO_3 pekat. Sampel dipanaskan hingga asap kuning pada larutan hilang sepenuhnya. Setelah itu, sampel dipindahkan ke labu ukur 25 mL, dan ditambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan

absorban diukur menggunakan SSA dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Selanjutnya persen degradasi dihitung.

d. Pengaruh Volume Sampel terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Katalis ZnO/Zeolit

Sampel pelumas bekas dari hasil perlakuan sampel dipipet dengan variasi volume 5, 10, 15, 20, 25 mL, dimasukkan masing-masing kedalam 5 *petridish*. Setelah itu, katalis ditambahkan sebanyak 0,4 gram. Proses fotolisis dilakukan dengan waktu Mg dan Na selama 15 menit. Setelah proses fotolisis, larutan disaring dan proses destruksi dilakukan dengan ditambahkan 5 mL HCl pekat dan 5 mL HNO_3 pekat. Sampel dipanaskan hingga asap kuning pada larutan hilang sepenuhnya. Setelah itu, sampel dipindahkan ke labu ukur 25 mL, dan ditambahkan akuades hingga tanda batas. Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan SSA dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Persen degradasi dihitung.

e. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Penambahan Katalis ZnO

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 *petridish*. Selanjutnya, ditambahkan 0,015 gram ZnO. Fotolisis dilakukan dengan variasi waktu selama 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Setelah proses fotolisis, larutan disaring dan dilakukan proses destruksi (2.3.8). Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan AAS dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Persen degradasi dihitung.

f. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Penambahan Katalis Zeolit

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 5 *petridish* dan ditambahkan zeolit sebanyak 0,384 gram. Proses fotolisis dilakukan dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Setelah proses fotolisis, larutan disaring dan dilakukan proses destruksi (2.3.8). Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan SSA dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Persen degradasi dihitung.

2.3.10. Perbandingan Hasil Degradasi terhadap Penurunan Konsentrasi Mg dan Na dengan Katalis ZnO/Zeolit Menggunakan Metode Fotolisis dan Tanpa Fotolisis

Sebanyak 10 mL sampel pelumas bekas dipipet dari hasil perlakuan sampel dimasukkan masing-masing kedalam 10 *petridish* dan katalis ditambahkan dengan massa sebesar 0,4 gram masing-masingnya. 5 *petridish* dilakukan fotolisis dan 5 *petridish* dilakukan tanpa fotolisis dengan variasi waktu 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Larutan disaring dengan kertas saring dan dilakukan proses destruksi (2.3.8). Larutan tersebut dikocok hingga homogen, dan absorban diukur menggunakan SSA dengan panjang gelombang yang sesuai untuk logam Mg dan Na. Persen degradasi dihitung.

2.3.11. Analisis Sampel Sebelum dan Setelah Degradasi Fotolisis Menggunakan FTIR dan Spektrofotometer UV-Vis

Sampel Pelumas bekas sebelum dan setelah degradasi dianalisis dengan menggunakan FTIR dan Spektrofotometer UV-Vis untuk melihat hasil degradasi pelumas bekas sebelum dan sesudah degradasi.

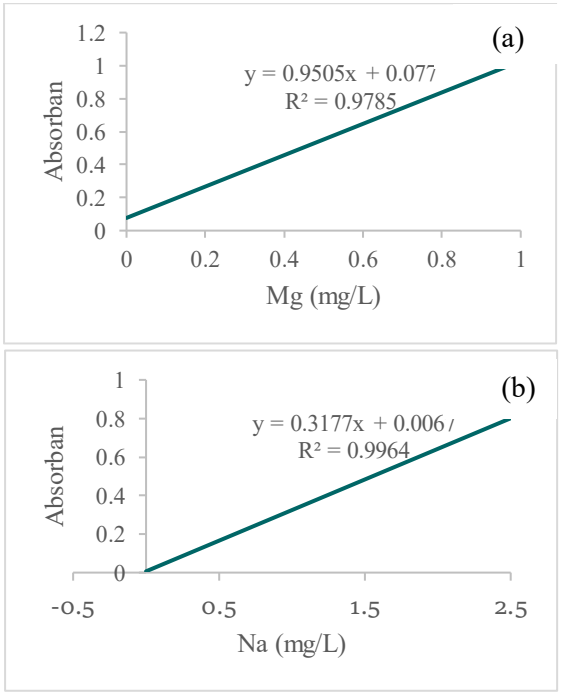
2.3.12. Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Sesudah Degradasi Menggunakan FTIR dan XRD

ZnO/Zeolit sebelum dan setelah degradasi disiapkan dalam keadaan kering. Karakterisasi menggunakan FTIR untuk melihat perubahan dan pergeseran gugus fungsinya, Karakterisasi dengan menggunakan XRD dilakukan untuk melihat perubahan struktur kristalnya.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Penentuan Kurva Kalibrasi Larutan Standar dan Kandungan Awal Mg dan Na

Penentuan kurva kalibrasi larutan standar untuk Mg dan Na dilakukan melihat konsentrasi logam Mg dan Na dalam pelumas bekas sebelum dan sesudah proses degradasi. Kandungan logam Mg dan Na pada pelumas bekas ditentukan melalui persamaan regresi yang berasal dari kurva kalibrasi larutan standar. Kurva Kalibrasi larutan standar logam Mg dan Na dapat dilihat pada Gambar 1.



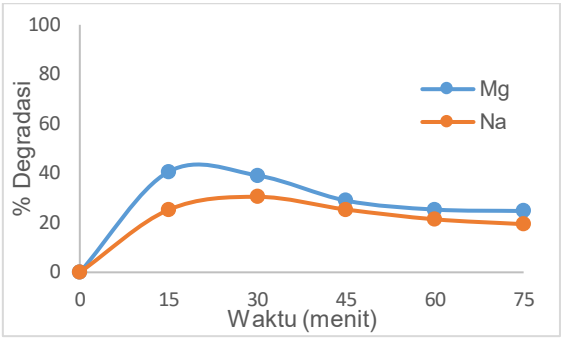
Gambar 1. Kurva kalibrasi standar logam (a) Mg dan (b) Na

Larutan standar Mg diukur pada panjang gelombang 285,2 nm, sedangkan Na pada panjang gelombang 589,0 nm[9]. Dari pengukuran tersebut, diperoleh persamaan regresi untuk logam Mg yaitu y = 0.9505x + 0.077, dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0.9785. Untuk logam Na, persamaan regresinya adalah y = 0.3177x + 0.0067, dengan nilai koefisien korelasi (R^2) sebesar 0.9964. Semakin mendekati 1, semakin kuat pula hubungan korelasinya[10]. Kadar awal logam Mg dalam pelumas bekas tercatat sebesar 16,2598 mg/L, sedangkan kadar awal logam Na dalam pelumas bekas adalah 41,1866 mg/L.

3.2. Penentuan Kondisi Optimum Degradasi

a. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas Tanpa Katalis

Pengaruh waktu fotolisis terhadap persentase penurunan konsentrasi Mg dan Na pada pelumas bekas menggunakan variasi waktu yaitu pada 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Hasil degradasi dapat dilihat pada Gambar [12]2. terjadi mineralisasi yang mana terbentuknya senyawa senyawa sederhana yang tidak berbahaya. Adapun senyawa yang tebentuk Prinsip fotolisia adalah dengan adanya sinar UV yang menghasilkan energi foton. Energi foton akan mengenai H_2O sehigga H_2O terurai menjadi H+ dan •OH. •OH nanti akan menguraikan senyawa senyawa yang ada dalam sampel.Selama proses fotolisis diantaranya adalah CO_2 dan H_2O[12],[13].

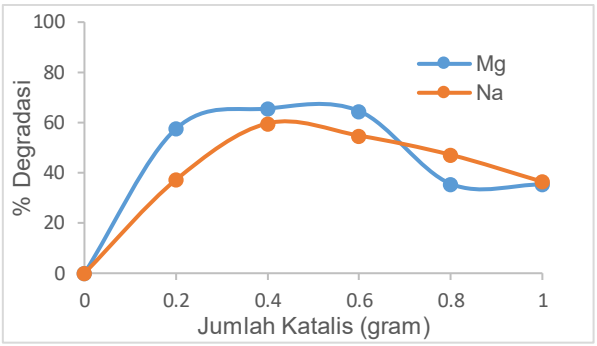


Gambar 2. Pengaruh waktu fotolisis terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas tanpa katalis

Gambar 2 menunjukkan bahwa persentase degradasi pelumas bekas terhadap Mg mencapai sebesar 40,62% pada waktu 15 menit, sedangkan Na sebesar 30,50% pada waktu 30 menit. Peningkatan ini disebabkan oleh pembentukan •OH dari molekul H_2O selama proses fotolisis, yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi pelumas bekas terhadap penurunan kandungan Mg dan Na. Setelah mencapai waktu optimum, terjadi penurunan disebabkan oleh pembentukan H_2O_2 yang berasal dari •OH seiring bertambahnya waktu[5],[11].

b. Pengaruh Jumlah Katalis ZnO/Zeolit terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas

Hasil degradasi dapat ditingkatkan dengan penambahan katalis ZnO/Zeolit dalam proses degradasi menggunakan fotolisis. Jumlah katalis yang ditambahkan bervariasi antara 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 gram. Proses fotolisis kemudian dilakukan selama 15 menit untuk Mg dan 30 menit untuk Na. Hasil degradasi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh jumlah katalis ZnO/Zeolit terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas

Pada gambar 3 menunjukkan massa optimum ZnO/Zeolit adalah 0,4 g, yang menghasilkan persentase degradasi sebesar 72,77% untuk Mg dan 59,68% untuk Na. Pada penambahan 0,2 gram katalis, Mekanisme reaksi fotokatalis adalah:

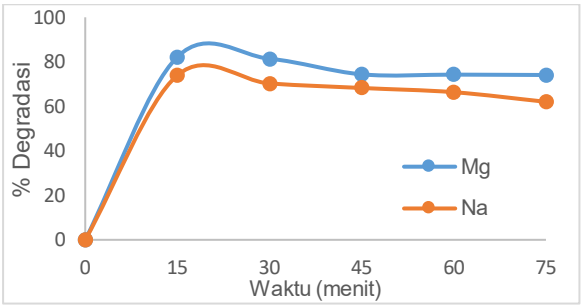
$$ZnO + UV \rightarrow ZnO(e^-_{CB} + h^+_{VB}) \quad (1)$$

$ZnO\ (h^+_{VB}) + H_2O \rightarrow ZnO + H^+ + OH\bullet$ (2)
$ZnO\ (h^+_{VB}) + OH^- \rightarrow ZnO + OH\bullet$ (3)
$O_2 + e^-_{CB} \rightarrow O_2^-\bullet$ (4)
$O_2^-\bullet + H_2O \rightarrow H_2O_2$ (5)
$H_2O_2 \rightarrow 2OH\bullet$ (6)
Pelumas bekas + $OH\bullet \rightarrow$ produk degradasi (7)
Pelumas bekas + $h^+_{VB} \rightarrow$ produk oksidasi (8)

Pelumas bekas + $e^-_{CB} \rightarrow$ produk reJumlah •OH yang terbentuk masih rendah, sehingga persentase degradasi tidak mencapai tingkat optimal. Setelah mencapai jumlah katalis ZnO/zeolite optimum, terjadi penurunan persentase degradasi karena keruhnya larutan yang mengalami kejenuhan, sehingga menghalangi sinar UV untuk masuk, menyebabkan efektivitas degradasi menurun dan nilai absorban meningkat[5][13]

c. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Katalis ZnO/Zeolit

Penambahan katalis ZnO/Zeolit bertujuan untuk menganalisis pengaruh katalis dalam proses degradasi serta penurunan konsentrasi logam Mg dan Na dengan variasi waktu fotolisis. Hasil degradasi dapat dilihat pada Gambar 4.

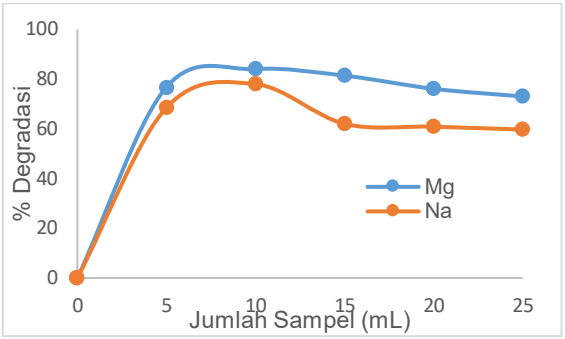


Gambar 4. Pengaruh waktu fotolisis terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas dengan katalis ZnO/Zeolit

Gambar 4 menunjukkan bahwa waktu fotolisis yang paling efektif adalah 15 menit, di mana persentase degradasi mencapai 82,19% untuk Mg dan 73,92% untuk Na. Proses degradasi logam Mg dan Na dengan penambahan katalis ZnO/Zeolit dapat terjadi karena pembentukan •OH akibat penyinaran katalis ZnO oleh sinar UV. Dengan bertambahnya waktu penyinaran, jumlah •OH yang dihasilkan juga meningkat. Setelah mencapai waktu optimum, terjadi penurunan disebabkan oleh pembentukan H_2O_2 yang berasal dari •OH seiring bertambahnya waktu[5].

d. Pengaruh Volume Sampel terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Katalis ZnO/Zeolit

Pengaruh variasi volume sampel yaitu 5, 10, 15, 20, dan 25 mL terhadap penurunan konsentrasi Mg dan Na dengan menggunakan katalis ZnO/Zeolit. Kemudian katalis ZnO/Zeolit sebanyak 0,4 gram ditambahkan, dan proses fotolisis dilakukan selama 15 menit berdasarkan waktu optimum dengan penambahan katalis ZnO/Zeolit. Hasil degradasi dapat dilihat pada Gambar 5.

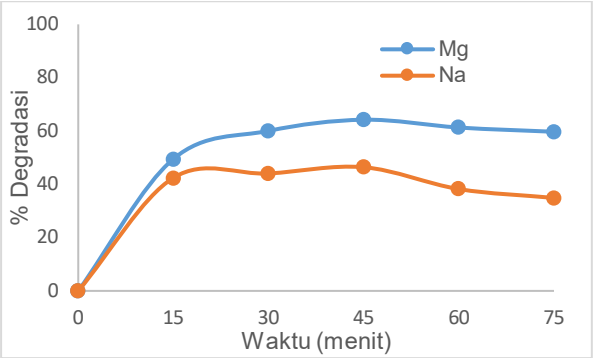


Gambar 5. Pengaruh volume sampel terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas dengan katalis ZnO/Zeolit

Gambar 5 menunjukkan bahwa volume sampel pelumas bekas yang paling efektif adalah 10 mL dengan persentase degradasi mencapai 84,06% untuk Mg dan 77,89% untuk Na karena membentuk •OH telah mencapai titik optimum. Persen degradasi setelah volume optimum mengalami penurunan karena efektivitas •OH dalam memutuskan ikatan senyawa dalam sampel menjadi tidak optimal, dan tidak ada ketidakseimbangan antara volume dan katalis, yang mengakibatkan penurunan pembentukan •OH[5].

e. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Penambahan Katalis ZnO

Pengaruh waktu proses fotolisis terhadap persen degradasi untuk menganalisis penurunan konsentrasi Mg dan Na dengan menggunakan katalis ZnO. Katalis ZnO ditambahkan ke dalam 10 mL sampel pelumas bekas dengan jumlah 0,0154 gram, untuk melihat efektivitas dalam menurunkan konsentrasi Mg dan Na tanpa ditambahkan zeolit. Katalis ZnO/Zeolit terbentuk dengan perbandingan 1:25 (ZnO : zeolit) sehingga menggunakan 0,0153 gram untuk katalis ZnO dari jumlah katalis ZnO/Zeolit optimum sebesar 0,4 gram dengan varasi waktu 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Hasil degradasi dapat dilihat pada Gambar 6.

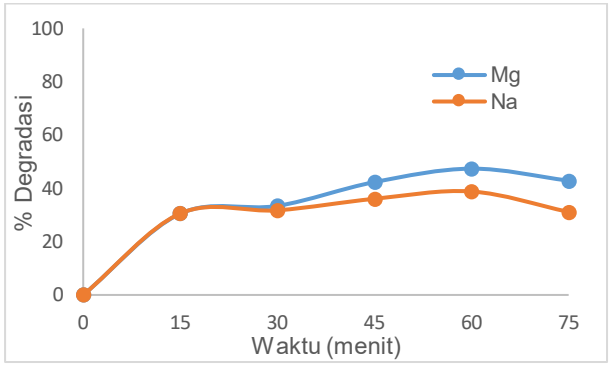


Gambar 6. Pengaruh waktu fotolisis terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas dengan penambahan katalis ZnO

Pada Gambar 6 menunjukkan waktu optimal untuk penambahan ZnO adalah 45 menit, dengan persentase degradasi pelumas bekas terhadap Mg sebesar 64,22% dan Na sebesar 46,40%. Persen degradasi yang didapatkan tidak terlalu tinggi jika dibandingkan dengan penambahan ZnO/zeolit. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi hanya berlangsung dengan bantuan ZnO tanpa adanya penyerapan dari zeolit. Penambahan katalis ZnO/Zeolit menghasilkan luas permukaan yang lebih besar sehingga pembentukan •OH lebih banyak[6].

f. Pengaruh Waktu Fotolisis terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Penambahan Zeolit

Pengaruh waktu proses fotolisis terhadap persen degradasi untuk menganalisis penurunan konsentrasi Mg dan Na dengan menggunakan zeolite tanpa katalis ZnO. Zeolit ditambahkan ke dalam 10 mL pelumas bekas dengan berat 0,3846 gram dari jumlah optimal untuk katalis ZnO/Zeolit sebanyak 0,4 gram. Variasi waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Hasil degradasi dapat dilihat pada Gambar 7.

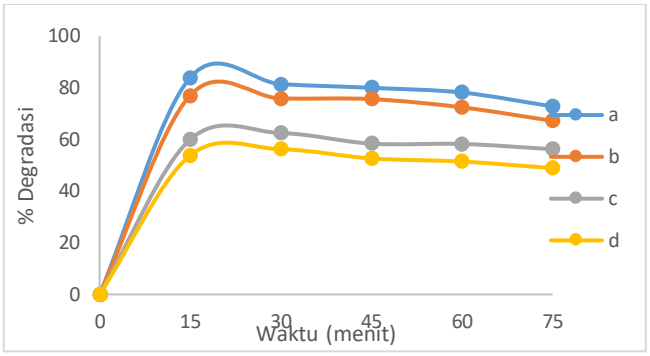


Gambar 7. Pengaruh waktu fotolisis terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas dengan penambahan Zeolit

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada menit ke-60, tingkat degradasi yang tercapai adalah 47,38% untuk Mg dan 38,82% untuk Na dengan penambahan zeolit. Selain memperluas area permukaan, zeolit juga berfungsi sebagai penyerap. Setelah mencapai waktu optimum, terjadi penurunan degradasi karena adanya kejenuhan dalam larutan, yang menghambat proses degradasi, menyebabkan peningkatan absorban dan penurunan konsentrasi, serta mengurangi efisiensi foton dalam mendegradasi logam Mg dan Na dalam pelumas bekas[6].

g. Perbandingan Hasil Degradasi terhadap Kandungan Mg dan Na pada Pelumas Bekas dengan Katalis ZnO/Zeolit Menggunakan Metode Fotolisis dan Tanpa Fotolisis

Pengaruh hasil degradasi menggunakan fotolisis dan tanpa fotolisis ditentukan dengan menambahkan ZnO/Zeolit sebanyak 0,4 gram ke dalam volume sampel 10 mL. Perbandingan antara proses degradasi yang menggunakan metode fotolisis dan tanpa fotolisis dapat dilihat pada Gambar 8.



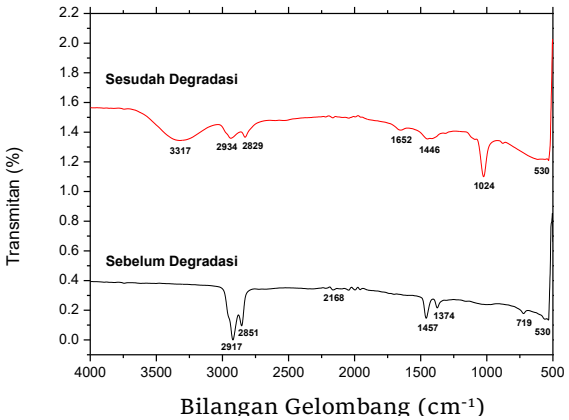
Gambar 8. Perbandingan hasil degradasi terhadap kandungan Mg dan Na pada pelumas bekas dengan katalis ZnO/Zeolit menggunakan metode fotolisis dan tanpa fotolisis (a) Fotolisis (Mg) (b) Tanpa fotolisis (Mg) (c) Fotolisis (Na) (d) Tanpa fotolisis (Na)

Gambar 8 menunjukkan adanya perbedaan dalam persentase degradasi yang ditunjukkan pada grafik, proses fotolisis memiliki peran yang efektif dalam menurunkan konsentrasi logam Mg dan Na. Perlakuan tanpa fotolisis terbukti kurang efektif dibandingkan dengan perlakuan yang melibatkan fotolisis, karena hanya terjadi penyerapan oleh ZnO/Zeolit. Pembentukan •OH dari H_2O yang dipecah oleh energi foton akan bereaksi dengan sampel, dapat berkontribusi pada proses degradasi senyawa dalam pelumas bekas, sehingga mengurangi konsentrasi logam Mg dan Na[5].

3.3. Analisis Sampel Sebelum dan Sesudah Proses Degradasi

a. Analisis Sampel Sebelum dan Sesudah Proses Degradasi Menggunakan FTIR

Analisis terhadap sampel pelumas bekas sebelum dan sesudah degradasi menggunakan FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi senyawa serta mengamati perubahan dan pergeseran gugus fungsi yang dapat dilihat pada Gambar 9.

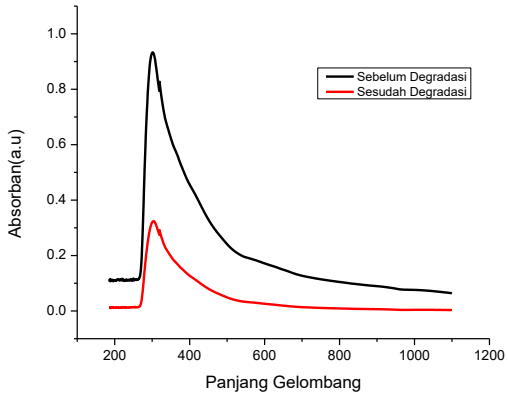


Gambar 9. Hasil analisis FTIR sampel pelumas bekas sebelum dan sesudah proses degradasi

Puncak serapan ditunjukkan pada bilangan gelombang 2934 dan 2829 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus C-H dalam senyawa hidrokarbon pelumas bekas. Bilangan gelombang 3317 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus OH, yang menandakan keberadaan air dalam pelumas bekas akibat penggunaan air sebagai pelarut. Bilangan gelombang 1446 dan 1374 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C-O dari senyawa aromatik, yang mengindikasikan adanya senyawa aromatik dalam pelumas bekas. Hasil analisis spektrum FTIR terhadap pelumas bekas sebelum dan sesudah degradasi menunjukkan pergeseran bilangan gelombang serta penurunan intensitas puncak serapan, yang mengindikasikan bahwa proses degradasi telah berlangsung[5].

b. Analisis Sampel Sebelum dan Sesudah Proses Degradasi Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis

Analisis terhadap sampel pelumas bekas sebelum dan sesudah degradasi menggunakan spektrofotometri UV-Vis dilakukan untuk melihat perubahan nilai absorban yang dapat dilihat Gambar 10. Penurunan puncak absorbansi pada panjang gelombang200 - 450 nm berhubungan dengan pemutusan ikatan senyawa yang ada pada pelumas bekas. Logam Na dan Mg yang terikat pada senyawa akan terputus[12,13].



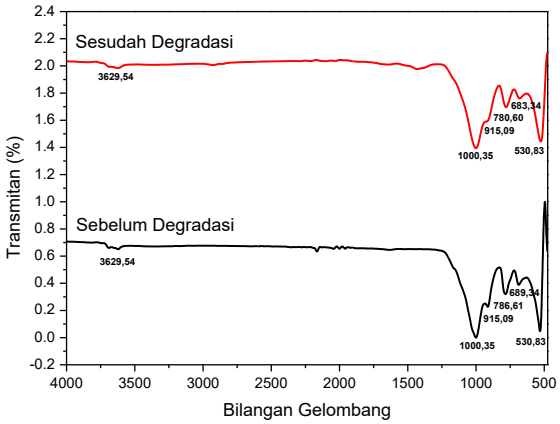
Gambar 10. Hasil analisis spektrofotometri UV-Vis sampel pelumas bekas sebelum dan sesudah proses degradasi

Analisis yang dilakukan dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis menunjukkan adanya perubahan pada nilai absorban. Sebelum proses degradasi, sampel pelumas bekas memiliki nilai absorban sebesar 0,929 menjadi 0,324 setelah proses degradasi. Data ini menunjukkan pengurangan absorban sekitar 65,446%, yang menandakan bahwa proses degradasi pada pelumas bekas berhasil mengurangi kandungan senyawa organik dan anorganik dalam sampel[12].

3.4. Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Sesudah Degradasi

a. Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Sesudah Degradasi Menggunakan FTIR

Analisis ZnO/Zeolit sebelum dan sesudah degradasi pelumas bekas menggunakan FTIR dilakukan untuk mendeteksi perubahan dan pergeseran gugus fungsi yang dapat dilihat pada Gambar 11.



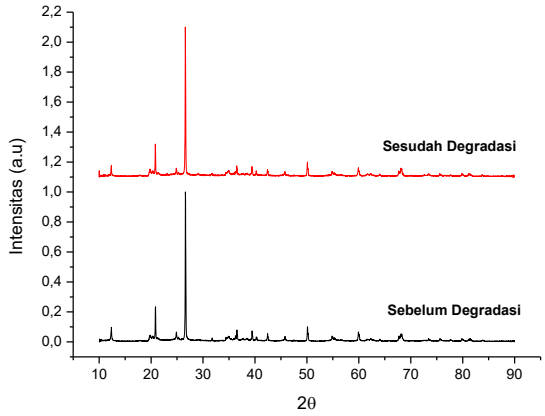
Gambar 11. Hasil karakterisasi FTIR katalis ZnO/Zeolit sebelum dan sesudah proses degradasi

Gambar 11 menunjukkan spektrum FTIR dari ZnO/zeolit sebelum dan sesudah proses degradasi pelumas bekas. Puncak serapan yang lemah dalam rentang 1000 - 530

cm^{-1} menunjukkan adanya regangan pada ZnO, yang telah teridentifikasi adanya ZnO. Selain itu, bilangan gelombang 915-780 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan Zn-O-Si. Keberadaan Zn-O-Si dalam penelitian ini ditunjukkan oleh puncak serapan pada bilangan gelombang 915,09 cm^{-1}. Puncak serapan yang terdeteksi pada bilangan gelombang 3629,54 cm^{-1} diidentifikasi vibrasi regangan O-H dari ikatan Al-OH-Si, yang nilainya berkisar antara 3500-3750 cm^{-1}. Berdasarkan analisis spektrum FTIR dari ZnO/zeolit sebelum dan setelah degradasi pelumas bekas, tidak terdapat perubahan signifikan pada pola pita serapan ZnO/zeolit, menandakan bahwa ZnO/zeolit tidak ikut bereaksi saat proses degradasi sehingga ZnO/zeolit tetap dapat digunakan sebagai katalis untuk mendegradasi pelumas bekas[5].

b. Karakterisasi Katalis ZnO/Zeolit Sebelum dan Sesudah Degradasi Menggunakan XRD

Karakterisasi katalis ZnO/Zeolit sebelum dan setelah degradasi dilakukan dengan XRD seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil karakterisasi XRD katalis ZnO/Zeolit sebelum dan sesudah proses degradasi

Gambar 12 menunjukkan puncak pada nilai 2θ yang terletak pada 21,8°, 24,6°, 28,8°, dan 35,7°, yang mencerminkan puncak karakteristik zeolit sesuai dengan informasi dari JCPDS nomor 39-138361. Puncak-puncak ini juga sejalan dengan identifikasi karakteristik ZnO dan menunjukkan kesamaan dengan standar ZnO ICSD nomor 29-272, yang menunjukkan puncak difraksi pada sudut 31,75°, 34,73°, 36,33°, 47,68°, 56,63°, 63,00°, dan 69,31°. Spektrum yang didapatkan tidak terjadi pergeseran yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan dalam struktur katalis ZnO/zeolit[6].

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa persentase degradasi pelumas bekas terhadap kandungan Mg adalah 84,40%, sedangkan untuk Na mencapai 78,15%. Analisis pelumas bekas sebelum dan setelah proses degradasi menunjukkan adanya pergeseran pada bilangan gelombang, yang mengindikasikan terjadinya degradasi. Karakterisasi ZnO/zeolit sebelum dan sesudah degradasi menggunakan teknik FTIR dan XRD menunjukkan bahwa tidak ada perubahan pada struktur ZnO/Zeolit. Dengan demikian menunjukkan bahwa ZnO/Zeolit dapat digunakan sebagai katalis dalam degradasi pelumas bekas secara fotolisis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, kritik, dan saran, yang memungkinkan penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.

Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: Z.Z
Kurasi Data: Z.Z, H.A
Analisis Formal: Z.Z, Y.Y
Investigasi: Z.Z, H.A
Metodologi: Z.Z, Y.Y
Supervisi: Z.Z, Y.Y
Validasi: Z.Z, Y.Y
Visualisasi: Z.Z, H.A
Penulisan – draf asli: Z.Z, H.A
Penulisan – peninjauan & penyuntingan: Z.Z, Y.Y

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan dalam pengerjaaan dan penulisan manuskrip.

Daftar Pustaka

[1] Kwasi Opoku, B., Ogbonna Friday, J., David Kofi, E. & Benson Osa, E., Adsorption of Heavy Metals Contaminants in Used Lubricating Oil Using Palm Kernel and Coconut Shells Activated Carbons. *Am. J. Chem. Eng.*, 8(1): 11 (2020).

[2] Wolak, A., Zajac, G., Golebiowski W. Determination of The Content of Metals In Used Lubricating Oils Using AAS. *Petroleum Science and Technology*. 37:93-102 (2019).

[3] Gazulla, M. F., Andreu, C., Rodrigo, M., Orduña, M., Ventura, M. J. & Montolío, F. J., New methodology for the determination of sodium in light and heavy petroleum products. *J. Pet. Sci. Eng.*, 179(April): 321–327 (2019).

[4] Purbaa R, Tarigan K. Pengaruh Jenis Oli Terhadap Daya dan Konsumsi Bahan Bakar Motor Kapasitas 155 CC. *Jurnal Ilm Tek Sipil*. 9:47-58 (2020)

[5] Zilfa, Z., Wilda Putri Suhada. & Rahmiana Zein., Penggunaan ZnO/Zeolit dalam Degradasi Fenol Secara Fotolisis dan Aplikasinya Pada Limbah Karet. *J. Kim. Unand*, 12(2): 19–26 (2023).

[6] Zilfa, Z., Safni, S. & Rahmi, F., Penggunaan ZnO/zeolit sebagai katalis dalam degradasi tartrazin secara ozonolisis. *J. Ris. Kim.*, 12(1): 53–64 (2021).

[7] Zilfa, Safni, Rahmi F. Penggunaan ZnO/Zeolit Sebagai Katalis dalam Degradasi Tartrazin Secara Ozonolisisi. *J Ris Kim*. 12(1):53-64 (2021)

[8] Siregar, A., Syam, A. & Mustafa, M., Rancangan Media Adsorbsi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Emisi Gas Mesin Otomotif. *J. Mech. Eng. Manuf. Mater. Energy*, 3(1): 64 (2019).

[9] Duc Doan Nguyen, Vicky Solah, Suzanne Daubney, Saijel Jani. Dettermination of Ca. P, K, Na and Mg in Australian Retail Pasteurised Milk Using Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP OES). *Juornal of Analitycal Methods In Chemistry*.1:4417607(2024)

[10] Masniawati, A., Johannes, E., Magfira. & Tuwo, M., Analisis Glukomanan Umbi Porang (Amorphophallus Muelleri Blume) dari Beberapa Daerah di Sulawesi Selatan. *Ilmu Alam dan Lingkung.*, 14(2): 1–10 (2023).

[11] Zilfa, B. & Rahm, F., Degradasi Tartrazin Menggunakan Katalis ZnO/Zeolit Secara Fotolisis. 239–247 (2015).

[12] Lolo, A., Patandean, C. F. & Ruslan, E., Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong Dengan Metode AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) Di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. *J. Geocelebes*, 4(2): 102–110 (2020).

[13] Doni Sugiyana, Suprihanto Notodarmojo. Studi Mekanisme Degradasi Fotokatalitik Zat Warna Azo Acid Red 4 Menggunakan Katalis Mikropartikel TiO_2. *Arena Tekstil* 30(2): 83-94.