



Pengukuran Kualitas Air Limbah Sawit Berdasarkan Baku Mutu Air Limbah Menggunakan AAS

Rusdianto¹, Syachrul Ivandi², Tri Kusmita^{2,*}, Ilhafurroihan Apriliazmi¹

¹UPTD Laboratorium Lingkungan DLH Provinsi Kepulauan Bangka Belitung
Jl. Pulau Bangka, Padang Baru, Pangkalan Baru, Bangka Tengah 33684, Bangka Belitung,
Indonesia

²Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung
Jl. Kampus Peradaban, Kampus Terpadu Balunijuk Gd. Dharma Penelitian Lt 1, Bangka
33172, Bangka Belitung, Indonesia

*E-mail korespondensi: trikusmita@ubb.ac.id

Info Artikel: Abstract

Dikirim: 20 November 2022
Revisi: 20 Desember 2023
Diterima: 30 Desember 2023

Palm oil industry waste is waste generated from the palm oil processing process. Palm oil liquid waste generally contains heavy metals, one of which is Cu and Zn. The presence of excessive Cu and Zn heavy metals can have a negative impact on living things and the surrounding environment. In this journal, the determination of the heavy metal content of Cu and Zn in palm oil wastewater was carried out using the AAS method with acetylene gas at a wavelength of 324.8 nm to determine the content of Cu metal content and at a wavelength of 213.9 nm to determine the Zn metal content. The results of determining the content of heavy metals Cu and Zn in sampel 1, 2 and 3 contained in palm oil wastewater which are still below the maximum limit of the quality standards obtained, namely less than 2 ppm for Cu metal and less than 5 ppm for Zn metal. utilized by living things and the surrounding environment

Kata Kunci:

Limbah sawit;
kualitas air;
metode AAS

PENDAHULUAN

Kepulauan Bangka Belitung merupakan salah satu Provinsi penghasil kelapa sawit di Indonesia dengan produksi sebesar 800,40 ton/tahun pada tahun 2021 [1]. Tingginya angka produksi kelapa sawit di Kepulauan Bangka Belitung sejalan dengan bertumbuhnya industri pengolahan sawit menjadi produk turunannya, salah satunya *crude palm oil* (CPO). Pengolahan kelapa sawit menjadi CPO ini menghasilkan limbah yang dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu limbah padat, limbah cair dan gas. Limbah yang tidak terkelola dengan baik berbahaya bagi lingkungan dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan.

Limbah cair merupakan limbah yang dihasilkan paling banyak dari kelapa sawit. Limbah cair yang dihasilkan dalam pemrosesan kelapa sawit mencapai sekitar 60% pada setiap 100% peroses pengolahan tandan buah segar [2] [3]. Umumnya limbah cair industri mengandung logam berat seperti Cu, Cd, Zn, Pb, Mn, Fe [4]. Limbah cair tersebut jika dibuang ke lingkungan secara langsung dapat merusak sumber daya alam yang dapat menurunkan kualitas lingkungan

[5]. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut pada limbah cair kelapa sawit sebelum dibuang ke lingkungan.

Guna memastikan kandungan logam berat dalam limbah kelapa sawit, perlu dilakukan pengujian. Salah metode yang dapat digunakan untuk menentukan kandungan logam suatu bahan adalah menggunakan instrumen *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Salah satu keuntungan penggunaan metode ini adalah dapat menentukan kandungan logam dari suatu bahan yang kompleks, proses analisis berlangsung cepat, dan akurasi hasil uji yang tinggi. Oleh sebab itu metode ini banyak digunakan dalam penentuan logam suatu bahan.

Berdasarkan hal tersebut, dilakukan analisis kandungan logam pada limbah cair kelapa sawit menggunakan Instrumen AAS. Selanjutnya, hasil pengujian ini dilakukan validasi dan verifikasi untuk memastikan kebenaran data yang diperoleh dari hasil pengujian. Verifikasi metode juga bertujuan untuk memastikan bahwa laboratorium yang bersangkutan mampu melakukan pengujian dengan metode uji dengan hasil yang valid dan apakah sesuai atau tidak dengan tujuan penggunaannya. Verifikasi metode uji dapat juga digunakan untuk membuktikan bahwa laboratorium memiliki data kinerja karena setiap laboratorium memiliki kondisi dan kompetensi personil serta kemampuan peralatan yang berbeda [6].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam proses pengambilan data diantaranya yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) nyala, lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp, HCl) Besi, lampu katoda berongga (Hollow Cathode Lamp, HCl) Mangan, gelas piala 100 mL dan 250 mL, pipet volumetrik 1,2,5,10,15 mL, labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL, dan 1000,0 mL, botol sampel, dan labu semprot. Adapun bahan yang digunakan yaitu aquabides, asam nitrat (HNO_3) pekat p.a; larutan baku logam Cu dengan kemurnian 99,9%; larutan baku logam Zn dengan kemurnian 99,9%, gas asetilen (C_2H_2) HP dengan tekanan minimum 100 psi; larutan pencuci.

Preparasi Sampel

Preparasi sampel dilakukan untuk menjernihkan sampel berupa limbah cair kelapa sawit yang semula berwujud cairan yang pekat dan keruh. Preparasi sampel diawali dengan destruksi sampel dengan HNO_3 65% sesuai dengan SNI 6989.84:2019 dan disaring dengan media penyaring membran berpori 0,45 μm sehingga sampel yang semula merupakan logam total menjadi logam terlarut yang dapat di uji dengan AAS. Penambahan HNO_3 ini berfungsi untuk memutuskan ikatan senyawa kompleks organo logam yang diiringin dengan proses destruksi. Proses destruksi atau pemanasan ini bertujuan untuk memecahkan senyawa menjadi unsur-unsur atau proses perombakan dari bentuk logam organik menjadi bentuk logam-logam anorganik [7].

Selanjutnya dilakukan pemanasan sampel air limbah kelapa sawit hingga bening yang bertujuan agar instrumen AAS tidak terganggu saat proses pengujian logam Cu dan Zn berlangsung. Pemanasan yang tidak sempurna ditandai dengan sampel yang masih keruh atau tidak jernih. Oleh sebab itu dapat ditambahkan HNO_3 65% dan dilakukan pemanasan hingga sampel yang akan diuji benar-benar bening.

Metode Pengujian dan Analisis

Pengujian kandungan logam pada limbah cair kelapa sawit dilakukan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989. 4 : 2009 dan 6989. 5 : 2009 untuk pengujian kadar logam Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) secara *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) nyala [7]. Adapun sampel yang digunakan yaitu sampel larutan induk logam Fe dan Mangan. Parameter

pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kadar logam Cu dan Zn dalam *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) nyala.

a. Pengoperasian AAS menggunakan software WizAArd

Pengoperasian *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) menggunakan software WizAArd dilakukan untuk menentukan konsentrasi dan absorbansi dalam membuat kurva kalibrasi dengan menggunakan larutan deret standar. Proses pengoperasian AAS menggunakan software WizAArd yaitu menghidupkan blower dan kompresor udara, membuka aliran gas asetilen dan melakukan pengoperasian pada software WizAArd.

b. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan mempersiapkan bahan-bahan untuk kebutuhan pengujian, seperti larutan standar (larutan blanko), larutan pengencer dan larutan induk. Larutan standar merupakan air bebas mineral yang diasamkan atau air aquabides. Larutan pengencer digunakan untuk mengencerkan larutan kerja, yang dibuat dengan cara menambahkan asam nitrat pekat ke dalam air bebas mineral hingga $\text{pH} \leq 2$. Selanjutnya membuat kurva kalibrasi dengan tahapan pengoperasian dan optimasi alat sesuai dengan petunjuk alat untuk pengukuran Tembaga dan Seng. Kemudian mengaspirasikan larutan blanko ke dalam *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) nyala kemudian atur serapan hingga nol dan mengaspirasikan larutan kerja satu persatu ke dalam SSA-nyala, lalu ukur serapannya pada panjang gelombang 324,8 nm untuk Tembaga dan 213,9 nm untuk panjang gelombang seng kemudian catat. Setelah itu pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer dan membuat kurva kalibrasi dari data pada butir sampel, lalu menentukan persamaan garis lurus (jika koefisien korelasi regresi linier (r) < dari 0,995, periksa kondisi alat dan ulangi langkah awal sampai hasil nilai koefisien r yang diperoleh yaitu $r \geq 0,995$)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan kandungan logam berat Cu dan Zn dengan metode AAS menggunakan gas asetilen (C_2H_2). Gas asetilen digunakan karena stabil, mudah untuk dioperasikan, dan cukup menghasilkan atomisasi dengan sensitivitas yang baik dan bebas dari interferensi untuk banyak logam [8]. Selain itu juga dapat merusak beberapa senyawa tahan panas yang dapat bereaksi dengan analit. Metode ini berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom.

Larutan Standar

Larutan standar dibuat dari unsur logam yang akan dilakukan pengukuran. Berdasarkan SNI 6989.84:2019 bahwa setiap logam memiliki rentang larutan standar masing-masing ditunjukkan dalam kisaran kadar optimum pada table di atas dan setiap logam memiliki panjang gelombang tertentu [10]. Fungsi dari larutan standar ini adalah sebagai standar dalam pengukuran. Larutan standar digunakan untuk membuat kurva kalibrasi. Nilai koefisien korelasi regresi (r) < 0.995 menunjukkan kesalahan pada kondisi instrumen. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pemeriksaan alat dan pengulangan pengukuran hingga mendapatkan nilai koefisien $r \geq 0.995$.

Nilai korelasi regresi (r) yang kurang dari 0.995 ($r < 0.995$) menunjukkan pengujian sampel tidak bisa dilanjutkan. Hal ini menunjukkan hasil pembacaan sampel dan kurva kalibrasi yang menjadi standar yang mengukur analit tidak dapat dibandingkan. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengulangan pembuatan larutan standar. Banyak faktor yang menyebabkan kurva kalibrasi tidak sesuai dengan garis linearitas diantaranya ketidaktepatannya seorang analis dalam melakukan penambahan bahan kimia pada larutan yang diuji, masa pakai bahan kimia sudah habis, terdapat pengotor, dan peralatan yang kurang bersih [11]. Kisaran kadar optimum dan panjang gelombang larutan standar yang didapatkan pada penelitian ini terdapat pada

Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1, unsur tembaga (Cu) memiliki nilai serapan maksimum pada panjang gelombang 324.8 nm dengan kisaran kadar optimum 0.2 hingga 10 mg/L. Sementara itu, unsur Zinc (Zn) memiliki nilai serapan maksimum pada panjang gelombang 213.9 nm dengan nilai kisaran kadar optimum 0.05 sampai 2.0 mg/L.

Tabel 1. Kisaran Kadar Optimun dan Panjang Gelombang

No	Parameter	Instrumen Detection Level (mg/L)	Kisaran Kadar Optimun (mg/L)	Panjang Gelombang (nm)
1	Tembaga (Cu)	0,1	0,2-10	324,8
2	Zing (Zn)	0,005	0,05-2,0	213,9

Hasil Penentuan Kandungan Logam Cu

Penentuan kandungan logam Cu menggunakan AAS dapat di uji pada panjang gelombang 324,8 nm dan menggunakan lampu katoda logam Cu. Berdasarkan SNI 6989.84:2019 larutan standar logam Cu yang digunakan untuk membentuk kurva kalibrasi ini minimal 3 konsentrasi yang berbeda secara proposional dan berada pada rentang pengukuran.

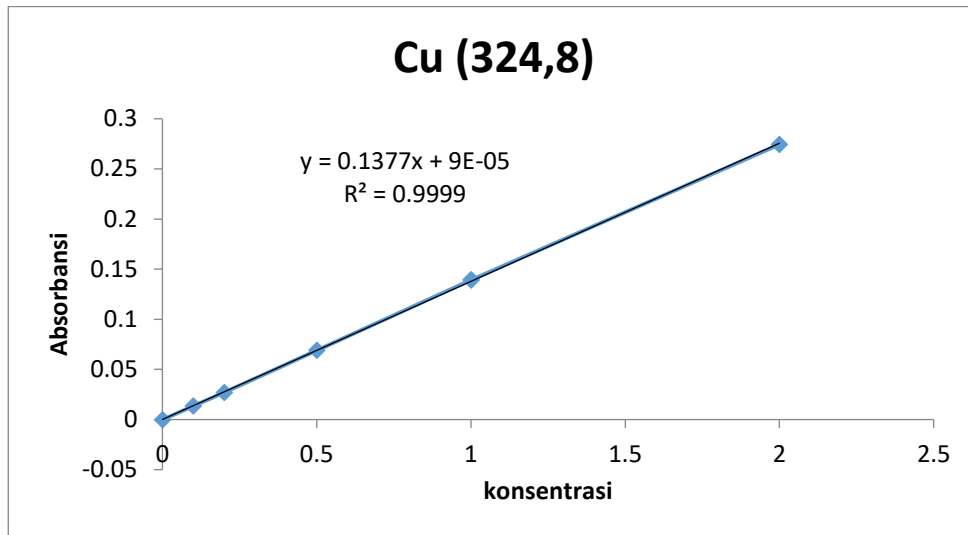
Larutan standar logam Cu yang digunakan pada pengujian ini berkisar pada rentang konsentrasi 0,2-10 ppm dapat dilihat pada Tabel 2. Konsentrasi larutan standar logam Cu yang digunakan yaitu 0,1 ppm, 0,2 ppm, 0,5 ppm, 1,0 ppm, 2,0 ppm, yang di encerkan larutan baku 10 ppm. Pengujian ini juga menggunakan blanko yang berfungsi sebagai pelarut pembanding untuk mengkalibrasi alat sebelum dilakukan proses pembacaan pada AAS. Blanko yang digunakan berupa Aquabides. Blanko pada pengujian ini juga digunakan sebagai larutan standart 0,0 ppm. Hasil pengukuran larutan standart dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Larutan Standar Cu

No	Konsentrasi	Absorbansi
1	0,0 ppm	-0,0002
2	0,1 ppm	0,0135
3	0,2 ppm	0,0270
4	0,5 ppm	0,0689
5	1,0 ppm	0,1391
6	1,0 ppm	0,1391
7	2,0 pm	0,2744

Tabel 2 menunjukkan pembacaan nilai absorbansi dengan nilai konsentrasi yang sudah ditentukan. Hasil pada Tabel 2 menunjukkan, semakin tinggi konsentrasi larutan standar Cu yang digunakan, nilai absorbansi larutan standar Cu juga semakin meningkat. Data pada Tabel 2 digunakan untuk membentuk kurva kalibrasi yang menyatakan hubungan antara konsentrasi larutan standar dengan hasil pembacaan serapan yang membentuk suatu garis lurus yang dinamakan kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi yang didapatkan pada penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

Kurva kalibrasi pada Gambar 1 menghasilkan suatu fungsi regresi $y = 0,137x + 9 \times 10^{-5}$ dan membentuk garis linier dengan nilai $R^2 = 0.999$. Nilai koefisien korelasi regresi R^2 yang diperolehkan yaitu mendekati angka 1 dan memenuhi syarat SNI 6989.84:2019 bahwa koefisien korelasi regresi linier yang diperbolehkan yaitu $r \geq 0.995$ [12]. Hal ini menunjukkan kurva kalibrasi yang didapatkan pada peneltian ini seperti yang terdapat pada Gambar 1 dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan kandungan logam Cu pada sampel.



Gambar 1. Grafik Kurva Kalibrasi Tembaga (Cu)

Sampel air limbah kelapa sawit yang di uji ini pada penelitian ini terdiri atas tiga sampel yang berbeda. Masing-masing sampel diberi label sampel 1, sampel 2, dan sampel 3. Hasil pengujian kandungan logam Cu pada masing – masing sampel disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kadar Cu pada Sampel

No	Nama Sampel	Konsentrasi	Absorbansi
1	Sampel 1	0.2716 ppm	0.0375
2	Sampel 2	0.1060 ppm	0.0147
3	Sampel 3	0.2839 ppm	0.0392

Berdasarkan data pada Tabel 3, konsentrasi sampel 1 adalah 0.2716 ppm, sampel 2 adalah 0.1060 ppm dan sampel 3 adalah 0.2839 ppm. Nilai yang terdapat pada Tabel 3 ini menunjukkan bahwa logam Cu pada sampel air limbah kelapa sawit 1, 2 dan 3 masih di bawah batas maksimum baku mutu logam Cu yang diperbolehkan yaitu 2 ppm sesuai dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.12/MENLHK/SETJEN/PLB.3/5/2020 tentang penyimpanan limbah bahan bakar berbahaya.

Hasil Penentuan Kandungan Logam Zn

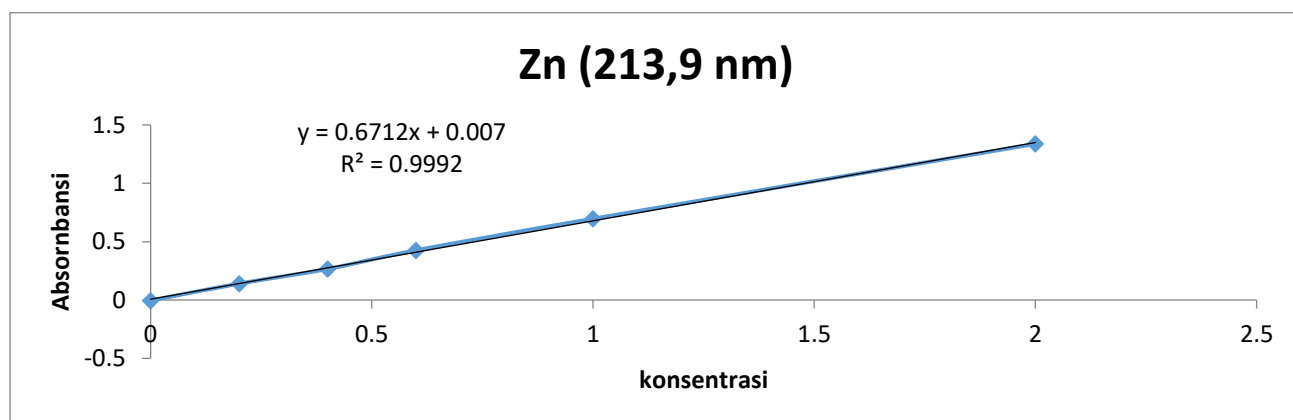
Penentuan kandungan logam Zn menggunakan AAS diuji pada panjang gelombang 213.9 nm dan menggunakan lampu katoda logam Zn. Berdasarkan SNI 6989.84:2019 larutan standar logam Zn yang digunakan untuk membentuk kurva kalibrasi ini minimal 3 konsentrasi yang berbeda secara proposional dan berada pada rentang pengukuran.

Larutan standar logam Zn yang digunakan pada pengujian ini memiliki konsentrasi pada rentang 0.05-2.0 ppm seperti yang terdapat pada Tabel 4. Konsentrasi larutan standart logam Zn yang digunakan adalah 0.2 ppm, 0.4 ppm, 0.6 ppm, 1.0 ppm, dan 2.0 ppm, yang di encerkan larutan baku 10 ppm. Blanko yang digunakan pada penelitian ini adalah Aquabides. Blanko pada pengujian ini juga digunakan sebagai larutan standart 0,0 ppm. Hasil pengukuran larutan standart dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Larutan Standar Zn

No	Konsentrasi	Absorbansi
1	0.0 ppm	-0.0048
2	0.2 ppm	0.1405
3	0.4 ppm	0.2659
4	0.6 ppm	0.4255
5	1.0 ppm	0.6964
6	2.0 ppm	0.3375

Data pada Tabel 4 merupakan pembacaan nilai absorbansi dengan nilai konsentrasi yang sudah ditentukan, semakin tinggi konsentrasi larutan standar Zn yang digunakan maka semakin tinggi nilai absorbansi larutan standar Zn. Nilai pada Tabel 4 digunakan untuk membentuk kurva kalibrasi berupa grafik yang menyatakan hubungan antara konsentrasi larutan standar Zn dengan hasil pembacaan serapan yang merupakan menghasilkan fungsi linier seperti yang terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kurva Kalibrasi Seng (Zn)

Kurva kalibrasi pada Gambar 2 menghasilkan persamaan regresi linier $y = 0.671x + 0.007$ dengan nilai $R^2 = 0.999$. Nilai koefisien korelasi regresi (R^2) yang diperoleh yaitu mendekati angka 1 dan memenuhi syarat SNI 6989.84:2019 bahwa koefisien korelasi regresi linier yang diperbolehkan yaitu $r \geq 0,995$. Oleh sebab itu, kurva kalibrasi pada Gambar 2 dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan kandungan logam Zn pada sampel limbah cair kelapa sawit. Hasil pengukuran konsentrasi logam Zn pada limbah cair kelapa sawit disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Kadar Zn pada Sampel

No	Nama Sampel	Konsentrasi	Absorbansi
1	Sampel 1	0,0494 ppm	0,0402
2	Sampel 2	0,0221 ppm	0,0225
3	Sampel 3	1,3216 ppm	0,8940

Data pada Tabel 5 menunjukkan bahwa konsentrasi sampel 1 adalah 0.0494 ppm, sampel 2 adalah 0.0221 ppm, dan sampel 3 adalah 1.3216 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa logam Zn pada sampel 1, 2 dan 3 air limbah kelapa sawit masih di bawah batas maksimum baku mutu logam Zn yang diperbolehkan yaitu 3 mg/L sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 [13].

KESIMPULAN

Limbah industri kelapa sawit merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit yang umumnya mengandung logam berat seperti logam Cu dan Zn. Penelitian ini telah berhasil menentukan kandungan logam Cu dan Zn pada tiga sample limbah cair kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga sampel limbah kelapa sawit yang diamati pada penelitian ini memiliki kandungan Cu kurang dari 2 ppm dan kandungan Zn kurang dari 3 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa dari pengujian sampel air limbah kelapa sawit 1, 2 dan 3 memiliki kualitas air yang baik, sehingga aman saat dialirkan ke perairan dan dapat dimanfaatkan oleh makhluk hidup dan lingkungan sekitarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung yang telah memfasilitasi kegiatan MBKM Universitas Bangka Belitung tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Badan Pusat Statistik," 2021. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/indicator/54/132/1/produksi-tanaman-perkebunan.html>. [Diakses 2022].
- [2] D. Okalia, T. Nopsagiarti dan C. Ezward, "Pengaruh ukuran cacahan tandan kosong kelapa sawit terhadap karakteristik kompos tritankos," *Jurnal Agroqua*, vol. 16, no. 2, pp. 132-142, 2018.
- [3] W. Annisa, E. Hersanti, A. Pramono, M. Saleh, E. Sutarta, E. Setiawati, H. Sosiawan, M. Sutriadi dan Husnain, "Biochar-Kompos Berbasis Limbah Kelapa Sawit: Bahan Amandemen untuk Memperbaiki Kesuburan dan Produktivitas Tanah Di Lahan Rawa," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, vol. 15, no. 2, pp. 103-116, 2021.
- [4] I. Nursanti, "Karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit pada proses pengolahan anaerob dan aerob," *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, vol. 13, no. 4, pp. 67-73, 2017.
- [5] J. Wulandari dan A. d. Zulhendri, "Analisis Kadar Logam Berat Pada Limbah Industri Kelapa Sawit Berdasarkan Hasil Pengukuran Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS)," *Journal of Physics Pillar*, vol. 8, pp. 57-64, 2016.
- [6] I. D. Sukaryono, S. Hadinoto dan F. L. R., "Verifikasi Metode Pengujian Cemar Logam Pada Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Dengan Metode AAS-GFA," vol. XIII, no. 1, 2017.
- [7] E. Rahmawati, D. Dewi dan B. Fauziyah, "Analisis kadar logam tembaga (Cu) pada permen secara spektrofotometri serapan atom (AAS)," *Journal of Islamic Pharmacy*, vol. 1, no. 1, pp. 11-14, 2021.
- [8] B. S. Nasional, "Air dan air limbah - Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) nyala," *Standar Nasional Indonesia*, vol. SNI 6989.4, pp. 1-8, 2009.
- [9] S. Dewi, T. Mulyaningsih dan Ridwan, "Analisis Kapasitas Adsorpsi Nanokomposit Fe₃O₄ Karbon Aktif terhadap Au dalam Larutan AuCl₄ Menggunakan Analisis Aktivasi Neutron Instrumental dan Spektrofotometri Serapan Atom," dalam *Prosiding Seminar Nasional AAN*, Serpong, 2010.
- [10] A. Pratiwi dan Nofita, "Perbandingan kadar besi (Fe) pada daun kelor (*Moringa oleifera*) yang tumbuh di dataran tinggi dan dataran rendah secara spektrofotometri serapan atom

- (SSA),” *Jurnal Analisis Farmasi*, vol. 6, no. 2, pp. 102-108, 2021.
- [11] R. Anggraini, R. Hairani dan A. Panggabean, “Validasi metode penentuan Hg pada sampel waste water treatment plant dengan menggunakan teknik bejana uap dingin spektrofotometer serapan atom (CV-AAS),” *Jurnal Kimia Mulawarman*, vol. 16, no. 1, 2018.
- [12] B. Purnawija, A. Yuliantini dan W. Rachmawati, “Analisis Zat Berbahaya Pada Kosmetik Krim Pemutih dengan Metode AAS dan Spektrofotometri UV-VIS,” *Journal of Pharmacy and Science*, vol. 5, no. 1, pp. 9-18, 2021.
- [13] K. Khaira, “Analisis kadar tembaga (Cu) dan seng (Zn) dalam air minum isi ulang kemasan galon di kecamatan Lima Kaum Kabupaten Tanah Datar,” *Jurnal Sainstek*, vol. VI, no. 2, pp. 116-123, 2014.
- [14] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati dan T. Handayani, “Accurate model for temperature dependence of solar cell performance according to phonon energy,” *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 15-25, 2018.