

Karakterisasi Air Limbah Hasil Pengolahan Air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas

Uray Monica Wulandari^a, Nurhasanah^{a*}, Asifa Asri^a

^aProdi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Nawawi, Pontianak, Indonesia

*Email : nanaivansyah@gmail.com

(Diterima 31 Maret 2022; Disetujui 15 April 2022; Dipublikasi 30 April 2022)

Abstrak

PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas merupakan perusahaan pengolahan air yang memproduksi air bersih. Namun pada proses pengolahan tersebut menghasilkan produk sampingan salah satunya adalah limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik dari air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas terutama kandungan logam berat dan unsur hara bagi tanaman serta mengkaji potensi pemanfaatannya. Parameter yang diuji adalah pH, Fe, Mg, Cu, N total, P, K, Cd, dan S. Pengukuran pH menggunakan pH-meter dengan hasil 6,71 pada suhu 24,70°C. Analisis kandungan Fe, Cu, dan Cd menggunakan metode spektrofotometer serapan atom dengan hasil masing-masing sebesar 323,9190 mg/L, 0,0515 mg/L, dan 0,1384 mg/L. Kandungan P, K, dan S dianalisis menggunakan metode spektrofotometer UV-Vis dengan hasil masing-masing sebesar 0,4711 mg/L, 3,4163 mg/L, dan 0,0720 mg/L. Analisis kandungan Mg dan N total menggunakan metode titrimetri dengan hasil masing-masing sebesar 2,7451 mg/L dan 19,70 mg/L. Berdasarkan hasil karakterisasi air limbah sisa pembuangan PDAM belum dapat dijadikan pupuk kompos maupun pupuk amonium sulfat.

Kata Kunci: air limbah, karakterisasi, PDAM, pupuk

1. Latar Belakang

Air bersih merupakan hal yang penting bagi kehidupan manusia seperti untuk keperluan minum, memasak, mencuci, mandi, dan lain-lain. Volume rata-rata kebutuhan air setiap individu per hari berkisar antara 150 – 200 liter. Kebutuhan air tersebut bervariasi dan bergantung pada keadaan iklim, standar kehidupan, dan kebiasaan masyarakat [1]. Air bersih di wilayah perkotaan pada umumnya diproduksi oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM).

Proses pengolahan air bersih dilakukan melalui beberapa tahapan, seperti penyaringan, proses koagulasi dan flokulasi, sedimentasi dan filtrasi [2]. Dari proses koagulasi dan flokulasi akan dihasilkan produk berupa air bersih. Air bersih tersebut disimpan di dalam bak sedimentasi. Bak tersebut semakin lama akan semakin penuh, sehingga akhirnya air bersih tersebut harus dibuang ke lingkungan. Pada dasarnya, air bersih merupakan bagian dari tanah yang terbawa hanyut oleh aliran air sungai [3]. Penelitian yang mengkaji karakterisasi limbah PDAM pernah dilakukan oleh [4] dengan menggunakan metode analisis seperti Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), Spektrofotometer UV-Vis, dan Kjeldahl. [5] mengkarakterisasi limbah dari limbah bahan berbahaya dan beracun dengan menggunakan metode SSA dan UV-Vis. Selain itu, [6] juga mengkarakterisasi limbah cair industri *electroplating* dengan menggunakan metode SSA dan Uv-Vis. Dengan mengetahui kandungan senyawa yang ada di dalam air limbah ini, maka potensi dari limbah dapat dikaji lebih lanjut.

Sejauh ini belum ada penelitian mengenai karakterisasi air limbah di PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas. Berdasarkan pemaparan mengenai potensi air limbah dari PDAM, maka penelitian ini akan mengkaji karakteristik kandungan senyawa yang terdapat pada limbah lumpur PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas. Senyawa yang akan diuji adalah besi (Fe), magnesium (Mg), tembaga (Cu), nitrogen (N) total, fosfor (P), kalium (K), kadmium (Cd), dan sulfur (S). Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk melihat karakter dari air limbah ini. Metode SSA digunakan untuk mendeteksi kandungan besi, tembaga, dan kadmium. Metode UV-Vis untuk mendeteksi kandungan fosfor, kalium, dan sulfur. Selain itu digunakan metode titrimetri untuk mendeteksi kandungan magnesium dan nitrogen total. Dengan mengetahui kandungan senyawa tersebut diharapkan air limbah dari PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dapat dimanfaatkan menjadi produk yang bernilai ekonomis, seperti bahan campuran pembuatan pupuk.

2. Metodologi

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Desember 2020 sampai bulan Juli 2021. Pengujian sampel air limbah dari PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dilakukan dari bulan April sampai bulan Mei 2021 di PT. Superintending Company of Indonesia (Sucopindo) Pontianak.

2.2 Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu pH-meter, gelas beker, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), lampu katoda, Spektrofotometer Uv-Vis, kuvet, larutan penyangga, labu erlenmeyer, dan indikator Ariochrome Black T (EBT).

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 1,5 liter sampel air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dan akuades.

2.3. Prosedur kerja

Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat metode, yaitu pH-meter, spektrofotometer serapan atom, spektrofotometer UV-Vis, dan titrimetri.

1. Pengujian pH

Pengujian pH dilakukan dengan menggunakan elektroda yang berisi sensor yang dihubungkan pada alat pencatat hasil. Pengujian pH dilakukan dengan menggunakan alat pH-meter seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 pH-meter

Pengujian pH dilakukan dengan menggunakan elektroda berisi sensor berbentuk bulat (*bulb*) dengan ketebalan 0,1 mm yang dihubungkan pada alat elektronik sebagai instrumen pengukur dan penunjuk nilai. Elektroda dimasukkan ke dalam wadah yang berisi sampel yang akan dilakukan pengujian pH. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengukur potensial dan kadar ion hidrogennya. Jika ion H^+ lebih besar daripada ion OH^- maka larutan tersebut dikatakan sebagai larutan asam, sebaliknya jika ion H^+ lebih kecil daripada ion OH^- maka larutan tersebut dikatakan sebagai larutan basa.

2. Pengujian Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)

Metode pengujian SSA dilakukan untuk mendeteksi kandungan Fe, Cu, dan Cd pada air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas. Alat pengujian SSA dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Pengujian SSA dilakukan dengan menembakkan sumber cahaya dari lampu sinar katoda ke dalam nyala api yang berisi sampel yang

telah teratomisasi, sehingga pada tahap ini atom akan tereksitasi. Radiasi tersebut diteruskan ke detektor melalui monokromator, dan kemudian berubah menjadi sinyal yang terukur dan ditampilkan di pencatat hasil.



Gambar 2.2 Spektrofotometer Serapan Atom

3. Pengujian Spektrofotometer UV-Vis

Metode pengujian Spektrofotometer UV-Vis dilakukan untuk mendeteksi kandungan P, K, dan S pada air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas. Alat pengujian Spektrofotometer UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Spektrofotometer UV-Vis

Pengujian spektrofotometer UV-Vis menggunakan sumber dari radiasi elektromagnetik ultraviolet dan sinar tampak. Sumber cahaya diteruskan ke monokromator, kemudian intensitas cahaya tersebut akan melewati sampel yang berada di dalam kuvet sesuai dengan panjang gelombang tertentu. Sebagian dari intensitas cahaya tersebut akan diteruskan dan diserap yang kemudian serapan intensitas cahaya tersebut akan dibaca oleh detektor dan hasilnya akan ditampilkan di pencatat hasil.

4. Pengujian Titrimetri

Metode pengujian titrimetric dilakukan untuk mendeteksi kandungan Mg dan N total pada air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas. Alat pengujian titrimetric dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Pengujian titrimetri dilakukan dengan mencampurkan larutan titran yang berada di dalam

buret ke dalam larutan titrat yang berada di dalam tabung Erlenmeyer. Pencampuran tersebut dilakukan dengan meneteskan larutan titran sedikit demi sedikit dengan mengatur alirannya melalui penjepit buret. Dari pencampuran tersebut akan



Gambar 2.4 Titrimetri

diperoleh nilai konsentrasi larutan titrat.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran pH

Nilai pH air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas pada suhu 24,70°C sebesar 6,71. Hasil nilai pH tersebut dapat diketahui bahwa air limbah buangan hasil pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas bersifat asam. Sifat asam tersebut karena adanya penggunaan kaporit dan tawas yang mengakibatkan ion H^+ lebih banyak dibandingkan ion OH^- . Kaporit dan tawas tersebut digunakan sebagai penjernih air sekaligus pembasmi bakteri pada air yang digunakan. Jika pH bersifat terlalu asam atau terlalu basa, maka dapat mempengaruhi penyerapan nutrisi pada suatu tanaman, seperti contoh jika pH di bawah 6 akan berdampak pada menurunnya daya larut terhadap kalsium dan magnesium. Jika pH di atas 7,5 maka akan mengurangi ketersediaan zat besi, mangan, tembaga, dan boron. Sedangkan jika pH di antara 3 – 5 dan di atas suhu 26°C maka akan menyebabkan pertumbuhan dan penyebaran penyakit yang disebabkan oleh jamur sehingga mengakibatkan akar akan membusuk.

3.2 Hasil Analisis Fe

Kadar Fe yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode SSA. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar Fe yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 323,9190 mg/L.

Besi termasuk ke dalam salah satu unsur hara mikro, yaitu unsur hara tersebut hanya dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Fe berperan dalam proses fotosintesis tanaman. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar Fe yang

diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu maksimal sebesar 2,00 % atau setara dengan 20.000 mg/L. Jika suatu tanaman mendapatkan unsur hara Fe yang berlebih, maka akan menyebabkan munculnya bintik-bintik hitam pada tanaman tersebut. Sedangkan jika unsur hara Fe yang didapatkan oleh suatu tanaman kurang dari standar yang ditetapkan, maka akan mengakibatkan daun menjadi kering dan lama-kelamaan tanaman tersebut akan mati. Pada dasarnya besi di dalam air berbentuk ferro (Fe^{2+}) atau ferri (Fe^{3+}) tergantung dari kondisi pH dan oksigen terlarut dalam air [7].

3.3 Hasil Analisis Mg

Kadar Mg yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode titrimetri. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar Mg yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 2,7451 mg/L.

Magnesium termasuk ke dalam salah satu unsur hara makro, yaitu unsur hara tersebut dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar Mg yang diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu maksimal sebesar 0,60 % atau setara dengan 6.000 mg/L. Mg berfungsi untuk meningkatkan kualitas hasil tanaman, menetralkan racun di dalam tanah, serta membantu proses fotosintesis tanaman. Kekurangan unsur hara Mg pada suatu tanaman akan mengakibatkan daun-daun berubah menjadi kuning, sedangkan tulang-tulang daun itu sendiri tetap berwarna hijau. Magnesium murni tidak didapatkan di alam, namun terkandung sebagai senyawa dalam mineral. Sebagai contoh magnesium dalam bentuk senyawa karbonat terdapat dalam mineral magnesit dan dolomit ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$).

3.4 Hasil Analisis Cu

Kadar Cu yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode SSA. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar Cu yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 0,0515 mg/L.

Tembaga termasuk ke dalam salah satu unsur hara mikro, yaitu unsur hara tersebut hanya dibutuhkan tanaman dalam jumlah sedikit. Cu berperan dalam membantu kelancaran fotosintesis tanaman, serta sebagai pembentuk klorofil. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar Cu yang diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu maksimal sebesar 100 mg/kg atau setara dengan 100 mg/L. Kelebihan unsur hara Cu pada suatu tanaman akan menyebabkan tanaman menjadi kerdil, pembentukan akar menjadi terhambat, dan akar akan mengalami penebalan dan berwarna gelap. Sedangkan kekurangan unsur hara Cu akan

menyebabkan daun menjadi hijau kebiruan, tunas daun menguncup, serta pertumbuhan bunga menjadi terhambat. Cu di dalam tanah berbentuk senyawa dengan S, O, CO³ dan SiO⁴ [3].

3.5 Hasil Analisis N Total

Kadar N total yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode titrimetri. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar N total yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 19,70 mg/L.

Nitrogen termasuk ke dalam salah satu unsur hara makro, yaitu unsur hara tersebut dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. N berperan dalam pembentukan sel tanaman, jaringan, serta organ tanaman. Ciri-ciri tanaman yang kelebihan unsur hara N yaitu warna daun yang terlalu hijau, tanaman menjadi rimbun dengan daun, dan proses pembungaan menjadi lebih lama. Sedangkan jika suatu tanaman kekurangan unsur hara N, maka akan mengakibatkan daun bagian bawah akan menguning, daun menjadi mudah rontok dan mengering, serta pertumbuhan tanaman akan melambat atau menjadi kerdil. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar N total yang diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu minimal sebesar 0,40 % atau setara dengan 4.000 mg/L.

3.6 Hasil Analisis P

Kadar P yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode Spektrofotometer UV-Vis. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar P yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 0,4711 mg/L.

Fosfor termasuk ke dalam unsur hara makro, yaitu unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. P berperan pada pertumbuhan benih, akar, bunga dan buah. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar P yang diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu minimal sebesar 0,10 % atau setara dengan 1.000 mg/L. Kelebihan unsur hara P pada suatu tanaman akan menyebabkan penyerapan unsur lain seperti unsur besi, tembaga, dan seng akan terganggu. Sedangkan jika suatu tanaman kekurangan unsur hara P, akan mengakibatkan daun tua menjadi keunguan dan cenderung kelabu, tepi daun menjadi cokelat, tulang daun muda berwarna hijau gelap, serta pertumbuhan daun kecil dan akhirnya rontok.

3.7 Hasil Analisis K

Kadar K yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan

menggunakan metode Spektrofotometer UV-Vis. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar K yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 3,4263 mg/L.

Kalium termasuk dalam unsur hara makro, yaitu unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. K berperan dalam fotosintesis tanaman. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar K yang diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu minimal sebesar 0,20 % atau setara dengan 2.000 mg/L. Adanya kelebihan unsur hara K akan menyebabkan penyerapan Ca dan Mg terganggu, serta mengakibatkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat. Sedangkan jika kekurangan unsur hara K pada suatu tanaman akan menyebabkan daun menjadi kering, bunga menjadi mudah rontok dan gugur, tepi daun menjadi hangus, daun menggulung ke bawah, dan tanaman menjadi rentan terhadap penyakit.

3.8 Hasil Analisis Cd

Kadar Cd yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode Spektrofotometer Serapan Atom. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar Cd yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 0,1384 mg/L.

Kadmium merupakan salah satu logam yang mempunyai sifat beracun. Masuknya Cd pada suatu perairan dapat disebabkan oleh penggunaan pestisida, dan pupuk fosfat pada pertanian yang terbawa oleh aliran air sungai yang digunakan sebagai bahan baku pengolahan air. Tanaman yang tumbuh pada lahan yang memiliki unsur hara Cd umumnya masih dapat tumbuh normal, tetapi fisiologi tanaman menjadi berubah, yaitu kandungan klorofil menjadi berkurang, menghambat aktivitas enzim, serta menurunkan efisiensi dari proses fotosintesis. Menurut SNI 19-7030-2004, kadar Cd yang diperlukan untuk pembuatan pupuk kompos yaitu maksimal sebesar 3 mg/kg atau setara dengan 3 mg/L.

Umumnya Cd terdapat dalam kombinasi dengan elemen lain seperti oksigen (CdO), klorin (CdCl₂), atau belerang (CdS). Kadmium di dalam air laut berbentuk senyawa klorida (CdCl₂), sedangkan didalam air tawar berbentuk karbonat (CdCO₃) [8].

3.9 Hasil Analisis S

Kadar S yang terdapat di dalam air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas dianalisis dengan menggunakan metode Spektrofotometer UV-Vis. Dari hasil analisis tersebut diperoleh bahwa kadar S yang terdapat di dalam air limbah tersebut sebesar 0,0720 mg/L.

Sulfur termasuk ke dalam salah satu unsur hara makro, yaitu unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. S berfungsi untuk

membantu pembentukan butir hijau daun sehingga daun menjadi lebih hijau, serta berperan dalam proses pembuatan zat gula. Menurut SNI 02-1760-2005, kadar S yang diperlukan untuk pembuatan pupuk ammonium sulfat yaitu minimal sebesar

23,8 % atau setara dengan 238.000 mg/L. Jika suatu tanaman kekurangan unsur hara S, maka produksi protein pada tanaman tersebut akan menurun, tanaman menjadi mudah terserang hama dan

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Keseluruhan Parameter

Parameter	Metode Analisis	Hasil Pengujian	Batas Dosis
pH pada 24,7°C	pH Meter	6,71	6,80 – 7,49
Besi (Fe)	SSA	313,9190 mg/ L	Maks 20.000 mg/ L
Magnesium (Mg)	Titrimetri	2,7451 mg/ L	Maks 6.000 mg/ L
Tembaga (Cu)	SSA	0,00515 mg/ L	Maks 100 mg/ L
Nitrogen (N) Total	Titrimetri	19,7000 mg/ L	Min 4.000 mg/ L
Fosfor (P)	UV-Vis	0,4711 mg/l	Min 1.000 mg/L
Kalium (K)	UV-Vis	3,4163 mg/ L	Min 98.000 mg/L
Kadmium (Cd)	SSA	0,1384 mg/L	Maks 3 mg/L
Sulfur (S)	UV-Vis	0,0720 mg/L	Min 238.000 mg/L

penyakit, serta produksi butir hijau daun akan menurun.

3.10 Rangkuman Hasil Pengujian Keseluruhan Parameter

Pengujian parameter pH, Fe, Mg, Cu, N total, P, K, Cd, dan S digunakan 4 metode analisis seperti pH meter, SSA, Spektrofotometer UV-Vis, dan titrimetri. Hasil analisis air limbah setiap parameter yang diuji dapat disimpulkan seperti pada Tabel 3.1.

Dari hasil pengujian Tabel 3.1 dapat dilihat bahwa di dalam 1,5 liter air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas yang dianalisis diketahui bahwa hasil pengujian dari parameter Fe, Mg, Cu, dan Cd masuk ke dalam batas dosis sebagai bahan campuran pembuatan pupuk kompos dan pupuk ammonium sulfat yang telah ditentukan. Sedangkan untuk parameter pH, N total, P, K, dan S hasil pengujianya kurang dari batas dosis sebagai bahan campuran pembuatan pupuk kompos dan pupuk ammonium sulfat yang telah ditentukan. Karena kurangnya batas dosis yang dihasilkan dari pengujian parameter N total, P, K, dan S tersebut, maka limbah lumpur PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas tidak dapat dimanfaatkan sebagai bahan campuran pembuatan pupuk kompos dan pupuk ammonium sulfat.

Jika logam berat dibiarkan masuk ke dalam tanah, maka akan terjadi keseimbangan didalam tanah yang kemudian akan terserap oleh tanaman melalui akar dan selanjutnya akan terdistribusi kebagian tanaman yang lainnya. Logam berat yang terakumulasi dan melebihi batas toleransi maka akan mengakibatkan keracunan bagi tumbuhan, hewan maupun manusia [9].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa air limbah pengolahan air PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas tidak berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan

campuran pembuatan pupuk kompos dan pupuk ammonium sulfat. Hal ini dapat dilihat dari kandungan unsur hara makro dan mikro dari parameter-parameter yang dianalisis, dimana kadar Fe sebesar 323,9190 mg/L, kadar Mg sebesar 2,7451 mg/L, kadar Cu sebesar 0,0515 mg/L, kadar N total sebesar 19,70 mg/L, kadar P sebesar 0,4711 mg/L, kadar K sebesar 3,4163 mg/L, kadar Cd sebesar 0,1384 mg/L, dan kadar S sebesar 0,0720 mg/L. Dan dari hasil analisis tersebut juga diketahui bahwa pH air limbah PDAM Tirta Muare Ulakan Kabupaten Sambas pada suhu 24,70°C yaitu sebesar 6,71.

Daftar Pustaka

- [1] Chandra, Budiman, Pengantar Kesehatan Lingkungan, Jakarta: EGC, 2007.
- [2] Suprihatin dan Suparno, Ono, Teknologi Proses Pengolahan Air untuk Mahasiswa dan Praktisi Industri, Bogor: IPB Press, 2013.
- [3] Saeni, M. S., Kimia Lingkungan, Bogor: Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat-DIKTI, 1989.
- [4] Shelvi, Karakterisasi Lumpur Hasil Pengolahan Air PDAM Tirta Pakuan Bogor, Bogor: Universitas Pakuan, 2012.
- [5] Malayadi, A. Fiar, Karakteristik dan Sistem Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Laboratorium Universitas Hasanuddin, Makassar: Universitas Hasanuddin, 2017.
- [6] Marwati, Siti, Padmaningrum, Regina Tutik, dan Marfuatun, Karakterisasi Sifat Fisika-Kimia Limbah Cair Industri *Electroplating*, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta, 2007.
- [7] Alaerts, G. dan S. S. Santika, Metode Penelitian Air, Surabaya: Usaha Nasional, 1984.
- [8] Achmad, R., Kimia Lingkungan, Yogyakarta: Andi, 2004.

- [9] Adhani, Rosihan dan Husaini, Logam Berat Sekitar Manusia, Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press, 2017.