

ANALISIS SULFUR (S) DAN BESI (Fe) PADA LIMBAH CAIR PANAS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) DI KELURAHAN PANAU KECAMATAN PALU UTARA

Analysis of Sulfur (S) and Iron (Fe) in the Liquid Waste Heat Steam Power Plant in the Panau Village Subdistrict of North Palu

*Nurhidayah Abd. Madjid, Mery Napitupulu dan Irwan Said

Pendidikan Kimia/FKIP – Universitas Tadulako, Palu – Indonesia 94118

Received 18 December 2017, Revised 19 January 2018, Accepted 19 February 2018

Abstract

This research aims to find the levels of sulfur and iron in the liquid waste heat of PLTU discarded into bodies of water at Panau village Subdistrict north of Palu. This research used spectrodirect for the analysis. The result of the research showed that the waste not contents the sulfur or iron, but contents the sulfite. Based on measurements using wavelengths of 405 nm was found that the sample contains 3.12 mg/L sulfite compounds.

Keywords: Sulfur (S), iron (Fe), liquid waste, power plant.

Pendahuluan

Perairan laut Indonesia selain dimanfaatkan sarana perhubungan nasional maupun internasional, juga memiliki sumber daya laut yang sangat kaya, antara lain sumber daya perikanan, terumbu karang, mangrove, bahan tambang, dan daerah pesisir pantai dapat dimanfaatkan sebagai wisata yang menarik. Tetapi kenyamanan ekosistem laut banyak terganggu disebabkan oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah secara langsung atau tidak langsung yang berasal dari kegiatan manusia (Yennie & Murtini, 2005). Industri PLTU sebagai pemasok kebutuhan listrik juga menghasilkan limbah panas yang dibuang ke badan air. Pembuangan limbah secara langsung ke badan air tanpa melalui proses pendinginan kembali dapat mempengaruhi perubahan kualitas perairan maupun gangguan terhadap organisme yang hidup di dalam badan airnya (Trihadiningrum & Tjondronegoro, 1998).

Pembangkit listrik berbahan bakar batubara di daerah Sulawesi Tengah dibangun di kawasan pesisir pantai di Kelurahan Panau Kecamatan Palu Utara. Batubara telah digunakan secara intensif sebagai bahan bakar pada pabrik semen yang tersebar di wilayah Indonesia. Dengan menipisnya cadangan minyak bumi, diperkirakan bahwa pemakaian batubara akan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang semakin meningkat (Chalmers & Bustin, 2007). Batubara merupakan salah satu sumber energi utama selain minyak dan gas bumi. Saat ini penggunaan batubara secara global sebagian besar masih didominasi oleh pembangkit tenaga listrik (Sufriadin, dkk, 2016).

Pembangkit listrik ini menggunakan air laut sebagai air pendingin yang berfungsi untuk mengambil kalor dari kondensor sehingga air pendingin tersebut mengalami kenaikan suhu yang kemudian dibuang kembali ke perairan di tepi pantai dalam bentuk limbah panas. Limbah panas tersebut menyebabkan kerusakan pada kehidupan organisme di sekitar pembangkit tersebut beroperasi, karena batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar mengandung banyak unsur kimia, salah satunya adalah sulfur. Meskipun sulfur memiliki manfaat menyembuhkan penyakit kulit, akan tetapi senyawa sulfur dalam bentuk gas akan berdampak buruk bagi kesehatan jika terhirup. Sulfur sendiri jika telah bereaksi dengan oksigen dan membentuk senyawa sulfat, ketika terbawa oleh uap air ke angkasa, maka akan menyebabkan terjadinya hujan asam. Berdasarkan hasil observasi, ditemukan bahwa keadaan air laut di pesisir pantai tempat dimana PLTU tersebut beroperasi telah mengalami perubahan fisik seperti meningkatnya suhu air, bebatuan dan pasir di dasar air tampak kehitaman. Dilihat dari segi biologis, di kawasan pesisir pantai tersebut tidak ditemukan satupun hewan maupun tumbuhan seperti ikan-ikan kecil dan tumbuhan laut. Selain itu, karena limbah buangan yang panas yang membuat air laut hangat, oleh warga setempat digunakan sebagai tempat permandian. Masyarakat tidak menyadari bahwa penyebab utama air hangat yang mereka gunakan sama dengan penyebab rusaknya perairan tersebut, yaitu adanya limbah yang mengandung bahan-bahan kimia berbahaya yang diperoleh dari batu bara yang mengandung sulfur. Sulfur merupakan suatu zat yang pada konsentrasi tertentu dapat menyebabkan bahaya pada manusia. Pada kondisi anaerob maka ion sulfat akan direduksi menjadi ion sulfid yang membentuk kesetimbangan dengan ion hidrogen membentuk hidrogen sulfid (H_2S). Hidrogen sulfid bersifat mudah larut, toksik bagi biota perairan dan menimbulkan bau seperti telur busuk (Kusumaningtyas & Sumarno, 2013).

*Correspondence

Nurhidayah Abd. Madjid

Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako

e-mail: nurhidayahabd.madjid@gmail.com

Published by Universitas Tadulako 2018

Selain sulfur, zat besi yang dapat terbawa oleh limbah juga dapat mencemari perairan. Besi merupakan logam berat yang dibutuhkan dimana zat ini dibutuhkan dalam proses untuk menghasilkan oksidasi enzim cytochrome dan pigmen pernapasan (Hasbi, 2007). Ferrum/zat besi terdapat dalam hampir semua sel tubuh dan memegang peranan penting. Ferrum dibutuhkan untuk produksi hemoglobin (Hb), sehingga kekurangan zat besi dapat menyebabkan anemia (Marzuki, dkk., 2013). Besi (Fe) dan zink (Zn) merupakan logam esensial yang dibutuhkan manusia dalam jumlah kecil <100 mg/hari (Mulyaningsih, 2009). Namun dalam jumlah tertentu dibutuhkan tubuh dalam jumlah berlebihan menimbulkan efek toksik (Hasni & Ulfa, 2016). Variasi faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, pH, kecepatan arus dan jenis sedimen juga memberikan kontribusi yang cukup penting terhadap kandungan logam Fe (Supriyanti & Endrawati, 2015). Indikasi adanya logam Fe ditandai dengan air berwarna kekuningan dan berbau (Irawan, dkk, 2011).

Di daerah Palaran Kutai Kartanegara Kalimantan Timur diketahui bahwa sulfur total pada daerah bukan sesar yang diwakili oleh lapisan landai dan lapisan curam adalah rendah yaitu: 0,37% dan 0,48%, sedangkan kandungan sulfur total pada daerah sesar adalah cenderung tinggi yaitu 2,26%. Secara keseluruhan diketahui bahwa sulfur total seams didominasi oleh sulfur organik (Resmawan, 2007). Konsentrasi logam timbal pada air laut di wilayah pesisir pelabuhan ferry Taipa, yaitu berkisar antara 0,703 mg/L-0,919 mg/L, konsentrasi tersebut lebih tinggi jika dibandingkan dengan NAB logam timbal yaitu 0,025 mg/L. Konsentrasi logam besi pada air laut di wilayah pesisir pelabuhan ferry Taipa yaitu berkisar antara 0,324 mg/L-0,546 mg/L, konsentrasi tersebut telah melampaui NAB logam besi yaitu 0,01 mg/L (Ika, dkk, 2012).

Hal yang sama akibat pengaruh buangan limbah air panas terhadap sebaran dan komposisi jenis lamun serta morfometrik lamun di perairan pesisir sekitar PLTU di Desa Lampoko Kecamatan Balusu Kabupaten Barru. menunjukkan bahwa buangan limbah air panas berpengaruh terhadap sebaran lamun dimana pada stasiun I (*outfall*) lamun ditemukan lebih jauh dari garis pantai (sekitar 300 meter) dibandingkan dengan dua stasiun lainnya dimana ± 50 meter dari garis pantai sudah ditemukan lamun. Selain itu buangan limbah air panas berpengaruh terhadap komposisi jenis, penutupan, kerapatan lamun dan morfometrik lamun di daerah stasiun I (*outfall*) pada gradien suhu 35-40 °C. Gradien suhu perairan akibat pembuangan limbah air panas PLTU hanya berpengaruh terhadap kerapatan dan morfometrik (khususnya panjang daun) jenis lamun *e. acoroides*, sementara pada jenis lamun lain tidak terpengaruh (Anwar, 2014).

Metode

Proses pengukuran kadar sulfur dan besi dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer spectrodirect. Sampel dimasukkan kedalam vial dan ditambahkan dengan tablet sulfite LR untuk sampel yang akan diukur kadar sulfurnya, serta penambahan tablet iron II LR untuk sampel yang akan dilakukan pengukuran pada kadar besinya. Setelah itu masing-masing sampel dimasukkan kedalam spektrofotometer specktro-direct.

Hasil dan Pembahasan

Kadar sulfur (S)

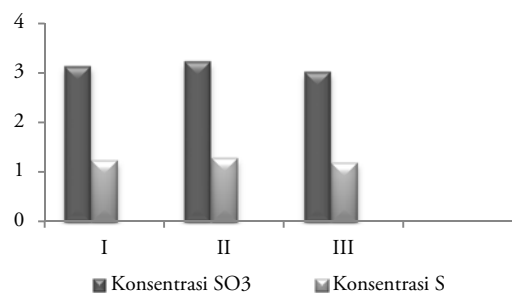
Pengukuran sulfur dilakukan pada panjang gelombang 666 nm, setelah diukur ternyata sampel tidak mengandung sulfur. Karena sulfur sulit ditemukan dalam keadaan bebas, maka kemudian dilakukan kembali pengukuran dengan senyawanya, menggunakan panjang gelombang 405 nm dan ditemukan bahwa sampel tersebut mengandung sulfid. Kadar sulfite berturut-turut adalah 3,13 mg/L; 3,23 mg/L; dan 3,02 mg/L. Jadi rata-rata kandungan sulfid yang terkandung dalam sampel adalah 3,12 mg/L. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, konsentrasi S dalam sampel adalah 1,25 mg/L.

Kadar besi (Fe)

Pengukuran kadar Fe dalam sampel dilakukan pada panjang gelombang 562 nm. Sampel yang digunakan adalah limbah cair PLTU yang ditambahkan dengan tablet iron II LR. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sampel tersebut tidak mengandung besi (Fe).

Tabel 1 Konsentrasi SO_3 , Fe, dan S dalam limbah cair panas PLTU

Zat	Konsentrasi (mg/L)			Rata-rata (mg/L)
	I	II	III	
Fe	-	-	-	-
SO_3	3,13	3,23	3,02	3,12
S	1,25	1,30	1,20	1,25



Gambar 1 Grafik konsentrasi SO_3 dan S dalam limbah cair panas PLTU

Pembahasan

Sebelum dilakukan analisis, pertama-tama sampel diambil dan dimasukkan kedalam botol yang berwarna gelap agar sampel tidak terpapar langsung oleh sinar matahari yang dapat mempengaruhi kondisi sampel. Sampel kemudian

dibawa ke laboratorium untuk dianalisis. Tujuan penggunaan tablet sulfite LR dan tablet Iron (II) LR adalah sebagai reagen untuk mengidentifikasi adanya sulfur dan besi dalam sampel yang ditandai dengan adanya perubahan warna. Namun, setelah dilakukan penambahan reagen, sampel tidak mengalami perubahan warna.

Sulfit merupakan senyawa dari sulfur yang dapat menyebabkan gangguan pada saluran pernafasan. Akan tetapi, ketika sulfit terdapat di dalam air maka yang menanggung dampak dari keberadaan senyawa tersebut adalah biota laut. Adanya sulfit di dalam limbah juga menandakan bahwa terdapat sulfur yaitu sebesar 1,25 mg/L atau setara $1,25 \times 10^{-6}$ ppm di dalam limbah yang disalurkan ke badan air laut. Kadar tersebut masih tergolong normal dan belum melampaui NAB yaitu 0,05 ppm (Menteri Kesehatan RI, 2002). Adanya senyawa sulfit (SO_3) dalam limbah disebabkan karena kandungan sulfur dalam batubara bereaksi dengan oksigen yang terdapat di dalam air laut yang digunakan dalam PLTU. Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar dalam PLTU adalah material yang mengandung banyak unsur salah satunya adalah sulfur. Senyawa sulfite yang terkandung dalam limbah buangan PLTU tersebut berasal dari sulfur yang terkandung dalam batubara dan bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa sulfite. Sulfur berikatan dengan ion hidrogen dan oksigen dalam perairan. Bentuk sulfur di perairan adalah sulfida (S^{2-}), hidrogen sulfide (H_2S), ferro sulfide (FeS), sulfur dioksida (SO_2), sulfit (SO_3), dan sulfat (SO_4). Sulfat yang berikatan dengan hydrogen membentuk asam sulfat dan sulfat yang berikatan dengan logam alkali merupakan bentuk sulfur yang paling banyak ditemukan di danau dan sungai (Efendi, 2003).

Salah satu contoh senyawa dari batu bara yang berbahaya bagi kesehatan manusia adalah SO_3 , senyawa tersebut jika terhirup akan menimbulkan gangguan pada saluran pernafasan. Selain itu, jika senyawa tersebut bereaksi dengan hydrogen di udara, akan terbentuk senyawa H_2SO_4 (asam sulfat) yang menyebabkan terjadinya hujam asam. Senyawa SO_3 ditemukan di dalam sampel limbah cair PLTU sebesar 3,12 mg/L. Adanya senyawa tersebut disebabkan karena sulfur (S) yang terdapat dalam batubara bereaksi dengan oksigen yang terdapat dalam air laut.

Berdasarkan hasil pengujian, tidak ditemukan adanya besi di dalam sampel. Hal ini menunjukkan bahwa mesin yang digunakan pada pengoperasian PLTU tersebut belum mengalami korosi. Korosi sendiri akan mengakibatkan terlarutnya Fe dalam air pada saat pengoperasian mesin dan akan terbawa bersama limbah yang dapat menyebabkan pencemaran dan berdampak buruk bagi organisme yang berada di dalamnya. Besi yang terkandung di dalam limbah PLTU biasanya disebabkan karena terjadinya korosi pada alat-alat yang digunakan. Sehingga karat yang terdapat dalam pipa-pipa saluran akan terbawa bersama dengan limbah.

Korosi sendiri dapat terjadi karena dipengaruhi oleh penggunaan air laut atau air sungai yang mengandung garam-garam mineral. Akan tetapi, pada limbah tersebut tidak dijumpai adanya besi (Fe). Hal tersebut menunjukkan bahwa limbah bebas dari besi yang mungkin terbawa dari peralatan yang mengalami korosi. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat diketahui bahwa endapan coklat kehitaman yang terdapat di dasar perairan laut di sekitar pembuangan limbah tersebut bukan disebabkan karena adanya senyawa FeS . Selain itu, air laut yang panas yang oleh masyarakat seringkali digunakan sebagai tempat berendam bukan disebabkan karena adanya unsur sulfur yang percaya dapat membantu menyembuhkan penyakit kulit, akan tetapi disebabkan karena limbah yang dibuang ke badan air laut tersebut adalah limbah yang dihasilkan oleh PLTU dengan suhu yang panas karena telah melalui beberapa tahap dalam siklus tertutup yang terjadi berulang-ulang di dalam pengoperasian PLTU. Dimana air laut dengan suhu yang normal disedot melalui sebuah pipa dan kemudian melalui proses penyaringan untuk membebaskan air laut dari garam-garam mineral yang dapat menyebabkan korosi pada alat yang digunakan. Setelah itu, air kemudian digunakan untuk menarik uap panas dari boiler yang kemudian dapat memutar turbin yang dihubungkan dengan generator dan menghasilkan energi listrik. Air tersebut melalui kondensor yang dinamakan dengan air kondensat. Begitu seterusnya hingga pada akhirnya air laut tersebut dibuang kembali ke badan air dalam bentuk limbah cair dengan suhu yang tinggi.

Besi merupakan logam berat yang dibutuhkan dimana zat ini dibutuhkan dalam proses untuk menghasilkan oksidasi enzim cytochrome dan pigmen pernafasan (hemoglobin). Logam ini akan menjadi racun apabila keadaannya terdapat dalam konsentrasi di atas normal (Hasbi, 2007). Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi menjadi dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial dimana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun, contoh logam berat ini adalah Fe. Keberadaan besi dalam air laut juga dapat bersumber dari perkaratan kapal-kapal laut dan tiang-tiang pancang pelabuhan yang mudah berkarat (Khasanah, 2009).

Kandungan logam berat yang menumpuk pada air laut dan sedimen akan masuk ke dalam sistem rantai makanan dan berpengaruh pada kehidupan organisme. Logam berat ini dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia tergantung pada bagian mana logam berat tersebut terikat dalam tubuh. Daya racun yang dimiliki akan bekerja sebagai penghalang kerja enzim, sehingga proses metabolisme tubuh terputus. Lebih jauh lagi, logam berat ini akan bertindak sebagai alergen, mutagen, atau karsinogen bagi manusia. Jalur

masuknya adalah melalui kulit, pernafasan, dan pencernaan. Masing-masing logam berat tersebut memiliki dampak negatif terhadap manusia jika dikonsumsi dalam jumlah yang besar dalam waktu yang lama (Said, dkk., 2009). Saat pengambilan sampel yang keluar langsung dari saluran pembuangan diperoleh suhunya adalah 40 °C. Suhu tersebut sangat tinggi dan telah melampaui suhu normal air laut yaitu berkisar antara 28 °C-30 °C. Kenaikan suhu limbah tersebut dipengaruhi karena air digunakan untuk mengambil kalor dari kondensor sehingga air mengalami kenaikan suhu. Jadi PLTU memiliki buangan berupa air panas yang suhunya lebih tinggi dari pada suhu air sebelum dipakai untuk pendingin atau dengan kata lain PLTU menghasilkan buangan air panas. Pada suhu tersebut, jarang ada hewan yang bertahan karena pada umumnya hewan laut bertahan pada rentan suhu tertentu. Hal tersebut menunjukkan bahwa limbah buangan yang panas telah merusak biota laut di sekitar pembuangan limbah tersebut.

Laut juga mempunyai arti penting bagi kehidupan makhluk hidup seperti manusia, ikan, tumbuh-tumbuhan, dan biota laut lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa sektor kelautan mempunyai potensi yang sangat besar untuk dapat ikut mendorong pembangunan di masa kini maupun masa depan. Oleh karena itu, laut yang merupakan suatu sumber daya alam, sangat perlu untuk dilindungi. Hal ini berarti pemanfaatannya harus dilakukan dengan bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi sekarang dan yang akan datang. Suatu hal yang menjadi masalah, luas dan besar dijadikannya lautan sebagai tempat penampungan bagi kegiatan kehidupan di darat dan di laut, karena dianggap mampu mengelola limbah. Namun ternyata proses fisika dan kimiawi berlangsung tidak secepat yang diperkirakan. Masuknya unsur lain ke dalam lingkungan laut memberi dampak pada keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Sumarni, 2004). Pencemaran laut diartikan sebagai adanya kotoran atau hasil buangan aktivitas makhluk hidup yang masuk ke daerah laut. Logam berat di perairan laut dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain dari kegiatan pertambangan, rumah tangga, limbah pertanian dan buangan industri (Parawita, dkk, 2009). Penurunan kualitas air diakibatkan oleh adanya zat pencemar, baik berupakomponen-komponen organik maupun anorganik. Komponen-komponen anorganik, diantaranya adalah logam berat yang berbahaya (Siaka, 2008).

Laut yang telah tercemar tidak lagi dapat menjalankan fungsinya dengan maksimal dan tidak dapat memberikan manfaat yang semestinya. Adanya limbah yang mengandung zat-zat berbahaya dapat merusak dan menurunkan kualitas air. Jika demikian, maka makhluk yang terdapat di daerah perairan tersebut akan terancam punah atau berpindah ke tempat yang lain. Hal tersebut adalah akibat dari kurangnya perhatian manusia terhadap keberadaan makhluk lain yang

hidup di laut. Laut seakan dijadikan sebagai tempat pembuangan sampah yang dihasilkan oleh manusia. Pada dasarnya makhluk yang hidup di lautan memberikan manfaat yang baik bagi manusia, akan tetapi manusia justru melakukan hal yang mengancam keberadaan hewan, tumbuhan laut sehingga keseimbangan ekosistem laut menjadi terganggu.

Kesimpulan

Sampel limbah air PLTU yang bertempat di Kelurahan Panau Kecamatan Palu Utara tidak mengandung besi (Fe), akan tetapi mengandung sulfat sebesar 3,12 mg/L dan di dalam 3,12 mg/L sulfat tersebut terdapat 1,25 mg/L sulfur (S).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Tasryk selaku laboran laboratorium Kimia FKIP UNTAD yang telah banyak membantu selama penelitian.

Referensi

- Anwar, M. Y. (2014). *Dampak limbah air panas terhadap sebaran dan komposisi jenis lamun di pesisir Desa Lampoko Kecamatan Balusu Kabupaten Barru*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Chalmers, G. R. L. & Bustin, R. M. (2007). On the effects of petrographic composition on coalbed methane sorption. *International Journal of Coal Geology*, 69, 288-304.
- Efendi, H. (2003). *Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan*. Yogyakarta: Kanisius.
- Hasbi, R. (2007). *Analisis polutan logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb) dalam sedimen laut pelabuhan Pantoloan berdasarkan kedalamannya*. Palu: Universitas Tadulako.
- Hasni, N. A. M. & Ulfa, A. M. (2016). Penetapan kadar logam besi (Fe) pada air sumur galian warga sekitar industri "x" kecamatan panjang dengan metode spektrofotometri serapan atom. *Jurnal Analis Farmasi*, 1(3), 163-168.
- Ika, Tahril, & Said, I. (2012). Analisis logam timbal (Pb) dan besi (Fe) dalam air laut di wilayah pesisir pelabuhan ferry Taipa Kecamatan Palu Utara. *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4), 181-186.
- Irawan, C., Dahlan, B. & Retno, N. (2011). Pengaruh massa adsorben, lama kontak dan aktivasi adsorben menggunakan HCl terhadap efektivitas penurunan logam berat (Fe) dengan menggunakan abu layang sebagai adsorben. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 2(3), 107-127.
- Khasanah, N. E. (2009). Adsorpsi logam berat. *Oseana*, 34(4), 1-7.
- Marzuki, A., Fujaya, Y., Rusydi, M. & Haslina. (2013). Analisis kandungan kalsium (Ca) dan besi (Fe) pada kepiting bakau (*scylla olivacea*) cangkang keras dan cangkang lunak dengan

- metode spektrofotometri serapan atom. *Farmasi dan Farmakologi*, 17(2), 31-34.
- Mulyaningsih, R. (2009). Kandungan unsur Fe dan Zn dalam bahan pangan produk pertanian, peternakan dan perikanan dengan metode K0-AANI. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 10(2), 71-80.
- Parawita, D., Insafitri & Nugraha, A. W. (2009). Analisis konsentrasi logam berat timbal (Pb) di muara sungai Porong. *Jurnal Kelautan*, 2(2), 34-41.
- Resmawan. (2007). *Analisis variasi kandungan sulfur pada batubara seam s di daerah Palaran Kutai Kartanegara Kalimantan Timur*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Said, I., Jalaluddin, M. N., Upe, A. & Wahab, A. W. (2009). Penetapan konsentrasi logam berat krom dan timbal dalam sedimen estuaria sungai matangpondo Palu. *Jurnal Chemica*, 10(2), 40-47.
- Siaka, M. L. (2008). Korelasi antara kedalaman sedimen di pelabuhan Benoa dan konsentrasi logam berat Pb dan Cu. *Jurnal Kimia*, 2(2), 61-70.
- Sufriadin, Widodo, S. & Mendaun, Y. (2016). Analisis petrografi dan kualitas batubara Sinjai, Sulawesi Selatan. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 20(2), 21-25.
- Sumarni. (2004). *Analisis hidrokarbon fraksi aromatik dalam sedimen laut dangkal pelabuhan Pantoloan*. Palu: Universitas Tadulako.
- Supriyantini, E. & Endrawati, H. (2015). Kandungan logam berat besi (Fe) pada air, sedimen, dan kerang hijau (*perna viridis*) di perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1), 38-45.
- Trihadiningrum, Y. & Tjondronegoro, I. (1998). *Makroinvertebrata sebagai bioindikator pencemaran badan air tawar di Indonesia*. Jakarta: Lingkungan dan Pembangunan.
- Yennie, Y. & Murtini, T. J. (2005). Kandungan logam berat air laut, sedimen dan daging kerang darah (*anadara granosa*) di perairan Mentok dan Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 12(1), 27-32.