

ANALISIS PERUBAHAN PERILAKU MANGAN TERLARUT PADA LINDI SEBAGAI PENGARUH DARI SAMPAH PLASTIK

Mayang Manguri Rahayu¹, Rima Wahyudianti², Machrunnisa³, Ira Rumiris Hutagalung⁴, Johan Budiman⁵, Tetty Andriani⁶, Suprihanto Notodarmojo⁷

¹Universitas Pasundan, Bandung, Indonesia

^{2,3,4,5,6}Universitas Islam Syekh Yusuf, Tangerang, Indonesia

⁷Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Email: rahayumayang@unpas.ac.id

Abstrak

Mangan terlarut dalam lindi dapat menurunkan kualitas air tanah di sekitarnya. Potensi pencemaran air tanah bersumber dari pencemaran tanah dan air atau zat cair yang teralir pada mekanisme air tanah, salah satunya di Tempat Pembuangan Akhir atau TPA. Maka dari itu, perlu dibuat suatu pemodelan untuk mengukur potensi pencemaran air tanah yang berdasarkan reaksi tanah dengan lindi serta bagaimana mekanisme aliran air tanah menuju akifer. Sebelum menganalisis pencemaran air tanah, maka penting untuk menganalisa potensi pencemaran. Lindi merupakan parameter yang berperan dalam pencemaran air tanah. Dapat dikatakan lindi adalah hasil kontaminan yang berasal dari sampah yang berpotensi mengalami perilaku khusus secara fisik, kimia, dan biologisnya dari Sampah yang tertimbun. Lindi mengandung pH yang asam hingga basa, zat organik, logam berat, dimana pH adalah parameter signifikan terhadap perubahan kelarutan Mangan terutama Mangan valensi 2 (Mn^{2+}). Mikroplastik melepaskan gas etilen sehingga melepaskan zat pembusuk dimana saat pembusukan terjadi fase asam yang menjadikan mangan lebih terlarut. Mangan terlarut fasenya stabil, sehingga lebih berbahaya pada kelarutan Mangan dalam sumber air.

Kata Kunci: Mangan, Mn^{2+} , Pembusukan, Lindi, Etilen.

Abstract

Dissolved manganese in leachate can reduce the quality of surrounding groundwater. The potential for groundwater pollution originates from soil and water pollution or liquid substances flowing into groundwater mechanisms, one of which is in final disposal sites or TPA. Therefore, it is necessary to create a model to measure the potential for groundwater pollution based on the reaction of soil with leachate and the mechanism of groundwater flow to the aquifer. Before analyzing groundwater pollution, it is important to analyze the potential for pollution. Leachate is a parameter that plays a role in groundwater pollution. It can be said that leachate is the result of contaminants originating from waste which has the potential to experience special physical, chemical and biological behavior from buried waste. Leachate contains acidic to alkaline pH, organic substances, heavy metals, where pH is a significant parameter for changes in the solubility of Manganese, especially Manganese in valence number 2+ (Mn^{2+}). Microplastics release ethylene gas, thereby releasing rotting substances, where during decomposition an acid phase occurs which makes the manganese more soluble. Dissolved manganese is in a stable phase, so it is more dangerous for the solubility of manganese in water sources

Keywords: Mangan, Mn^{2+} , Decay, Leachate, Ethylene.

A. PENDAHULUAN

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan tempat pembuangan sampah yang terekspos faktor-faktor eksternal, contoh air hujan dan menghasilkan lindi. Dalam pengelolaan sampah di Indonesia, hingga saat ini masih mengandalkan TPA sebagai tempat pembuangan sampah akhir. TPA Menghasilkan pencemaran baik langsung dari lindi atau melalui interaksi lindi tanah yang menyebabkan pencemaran tanah dan air tanah. TPA umumnya digunakan sebagai pengurug sampah perkotaan di sekitar kawasan TPA tersebut. Dimana adanya perubahan penggunaan lahan dari fungsi lain menjadi TPA merupakan penyebab potensial sumber pencemar, yang berdampak pada degradasi kualitas airt anah (Fletcher dkk. 2013 dalam Ramadhan, 2019; Rahayu, 2022). TPA banyak mengandung sampah dari rumah tangga, sekolah, industri, perkantoran, dll. Dimana sampah yang dibuang belum dilakukan pemisahan (Rahayu dkk., 2022). Meskipun telah diatur, dirancang, dioperasikan, serta dipantau kepatuhannya, keberadaan TPA di suatu daerah nyatanya menimbulkan ancaman serius bagi kehidupan manusia serta lingkungan sekitarnya (Rahayu dkk., 2022). Terlebih jika sampah-sampah tersebut tidak terkelola dengan baik, sampah tersebut dapat mencemari lingkungan terutama air dan tanah, merusak ekosistem, dan pencemaran udara karena bau tidak sedap (Rahayu dkk., 2022).

Mangan terlarut di dalam air yang sedikit oksigen juga memiliki keasaman yang tinggi, Mangan memiliki baku mutu dalam air mencapai 0,5 miligram/liter dan air minum 0,4 mg/l. Pada Mangan tidak terlarut dalam kadar yang tinggi, air dapat terdeteksi oleh bau logam beserta tingginya TSS pada air. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis risiko bagaimana perilaku kelarutan Mangan terhadap gas etilen yang ada dalam lindi artifisial yang merupakan tinjauan potensi kelarutan Mn pada lindi di lapangan. Menjadi sorotan pada penelitian ini adalah BOD atau *Biochemical Oxygen Demand*, COD atau *Chemical Oxygen Demand* dan pH. BOD dimana kadar oksigen yang dibutuhkan untuk penguraian zat organik yang biasanya dibantu dengan makhluk hidup, spesifiknya adalah bakteri. Guna oksigen yang tinggi mengindikasikan, sedikit oksigen yang tersedia dalam badan air atau sampel air. Hal ini dapat menyebabkan kekurangan oksigen pada air yang menyebabkan *state* Mangan tereduksi. Begitu juga dengan COD, apabila COD naik karena perilaku-perilaku dalam lindi.

Urgensi dari penelitian menggunakan parameter Mangan, sebenarnya adalah penunjukkan bagaimana bahaya pencemaran air tanah di sekitar TPA yang prosesnya dimulai dari reaksi lindi dan tanah di sekitar TPA. Limpasan yang terjadi pada air tanah yang masih dipakai warga untuk kebutuhan air minum dan air baku, memungkinkan terjadinya toksisitas kepada konsumen air tanah tersebut.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Air merupakan salah satu hak asasi manusia, dimana setiap manusia mempunyai hak dasar yang sama dalam pemakaiannya (Rahayu dkk., 2022). Namun akibat aktivitas manusia, terjadi kerusakan lingkungan yang menyebabkan keberadaan air menjadi semakin langka dan terbatas (Rahayu dkk., 2022), salah satu kerusakan pada badan air adalah meningkatnya zat-zat kontaminan sehingga air tidak layak pakai dan minum salah satunya karena faktor plastik dan mikroplastik.

Jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan tingginya tingkat konsumsi air untuk berbagai kebutuhan seperti air bersih, pertanian, industri dan sebagainya, sedangkan kualitas sumber daya air semakin hari semakin menurun (Kusuma, 2006 dalam Jayanti, 2022 dalam Rahayu dkk., 2022). Lindi yang memiliki zat-zat turunan, mempengaruhi kelarutan mangan, zat-zat turunan dalam lindi dipengaruhi proses pembusukan dimana saat prosesnya pH mengalami penurunan yang signifikan sebelum akhirnya naik kembali (Tumer, 2023).

Plastik adalah sumber gas etilen dimana plastik yang digunakan di Indonesia merupakan polietilena berdensitas rendah (LDPE) merupakan bahan baku utama untuk

produksi plastik dengan keunggulan ketahanan korosi yang baik dan ketahanan terhadap robekan. Etilen diinduksi untuk memproduksi LDPE pada suhu tinggi 150-300 °C dengan tekanan tinggi 200-300 MPa, dan disertai dengan terjadinya risiko pembakaran dan ledakan (Zhang dkk., 2023). Plastik selama proses degradasi, menghasilkan beberapa gas yang berdampak negatif pada makhluk hidup terlebih pada cuaca panas daerah tropis, matahari mengekspos plastik selama degradasi sampah yang tercampur menghasilkan 2 gas yaitu etilen dan metan (Kim dkk., 2023). Hal-hal ini menyebabkan suatu kondisi lingkungan menjadi miskin oksigen yang menyebabkan terjadinya reduksi dan menjadikan Mangan dalam kondisi terlarut.

Teori lain tentang Mangan pada tanah dan unsur geologis terdapat pada Budiyanto, 2016 dalam Rahayu, 2022:

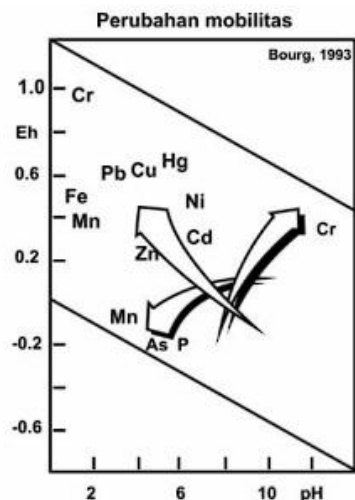
1. Di dalam tanah mangan sedikitnya berada dalam bentuk utama, yaitu ion Mn divalent yang diikat mineral liat dan bahan organik serta ion tetravalen dalam bentuk berasosiasi dengan feri-oksida (Russel, 1973 dalam Rahayu, 2022).
2. Bentuk Mn dalam tanah yang terpenting adalah ion Mn^{2+} dan oksida Mn yang hadir dalam bentuk trivalent dan tetravalent. Mn dalam bentuk divalen dapat difiksasi mineral liat dan bahan organik (Ahmad, 2013 dalam Rahayu, 2022).

Dinamika dan ketersediaan tanah Mn, ditentukan oleh banyak faktor seperti pH, Eh, sifat dan konsentrasi kation dan anion, komposisi mineralogi tanah liat, dan mikroorganisme. Mangan terlarut menjadi sorotan lebih tinggi di tanah asam karena kelarutan senyawa Mn yang lebih tinggi di bawah kondisi pH rendah (Husson, 2013 dalam Rahayu, 2022). Mangan memiliki jalur oksidasi dan reduksi pada perubahan wujudnya dari terlarut hingga tidak terlarut dimana kondisi terlarut memiliki stabilitas yang tinggi, maka sangat sulit diubah menjadi bentuk yang tidak terlarut kembali untuk digunakan dalam pengolahan (Rahayu, 2022). Apabila Oksidasi mangan didukung oleh lingkungan yang kaya oksigen, maka reduksi sebaliknya terjadi karena lingkungan yang miskin oksigen misalnya katalisis biologis, katalisis permukaan oksida, atau oksidasi larutan homogen. Berdasarkan reaksi antara Mn(II) dan oksigen, spesies Mn(II) terlarut berubah menjadi fase oksida hidroksida Mn(III) yang sedikit larut dimana Mn(II) sangat larut. Hasil tersebut dapat dibuang ke sedimen badan air dan/atau dioksidasi lebih lanjut menjadi fase $MnO_2(s)$ di kolom air. Fase padat Mn(III) dan Mn(IV) dapat tereduksi oleh senyawa karbon organik dan reduktor lain dengan kembali ke keadaan Mn(II). Senyawa karbon organik terdapat pada perlindian (Tufekci dan Celik, 2011).

Mangan terjadi secara alami di permukaan air dan air tanah terutama pada kondisi oksigen rendah dan anaerobik. Mangan hadir di tanah akibat hasil pelapukan dan endapan atmosfer baik yang terjadi secara alami maupun antropogenik (Filho dkk. 2006). Semakin besar nilai potensial reduksi atau semakin positif, maka semakin mudah reaksi reduksi berlangsung. Hal ini berlaku sebaliknya yaitu ketika semakin rendah 2 bilangan oksidasi, semakin mudah reaksi oksidasi berlangsung. Narasi pada studi yang dilakukan Lowe (2004), menyebutkan bahwa Mangan dalam bentuk ion Mn(III) adalah ion mangan yang paling tidak stabil, dan sangat mudah teroksidasi menjadi ion Mn(IV) dan Mn(VII) (Rahayu, 2022). Hubungan antara logam berat lain dan Mn menunjukkan, bahwa perilaku Fe dalam air tanah dapat mempengaruhi kelarutan Mn^{2+} . Ada hubungan erat antara mobilisasi Fe dan Mn dengan reaksi reduksi dan oksidasi (Marshall, 1979; Lind dkk.. 1987, Thamdrup, 2000 dalam Homonick dkk. 2010 dalam Rahayu, 2022). Berikut gambar II.2 yaitu bagaimana perubahan mobilitas ionik logam berat seperti pada gambar 1.

Mangan terjadi secara alami di permukaan air dan air tanah terutama pada kondisi oksigen rendah dan anaerobik. Mangan hadir di tanah akibat hasil pelapukan dan endapan atmosfer baik yang terjadi secara alami maupun antropogenik (Filho dkk. 2006). Hubungan antara logam berat lain dan Mn menunjukkan, bahwa perilaku Fe dalam air tanah dapat mempengaruhi kelarutan Mn(II). Ada hubungan erat antara mobilisasi Fe dan Mn dengan

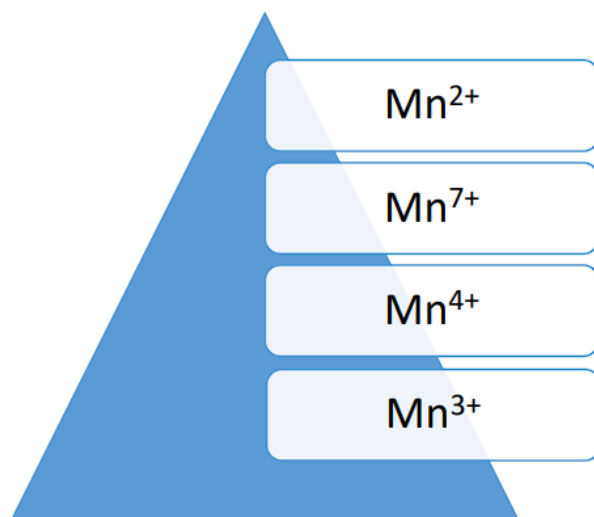
reaksi reduksi dan oksidasi (Marshall, 1979; Lind dkk., 1987, Thamdrup, 2000 dalam Homoncik dkk. 2010 dalam Rahayu, 2022). Berikut gambar 1 yaitu bagaimana perubahan mobilitas ionik logam berat:



Gambar 1. Perubahan Mobilitas Senyawa Kimia

Bourg, 1993 dalam Notodarmodjo (2005)

Konsumsi yang kurang atau berlebihan dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia terutama yang terpapar mangan dari makanan. Meskipun mangan merupakan salah satu unsur esensial bagi manusia dan hewan, tetapi paparan kronis sampai pada dosis yang tinggi dapat membahayakan kesehatan dengan target adalah sistem saraf (Hartini, 2012). Dari Gambar 2 ditunjukkan stabilitas mangan dari yang paling rendah hingga paling tinggi, yang menunjukkan urgensi mangan (II) menjadi parameter utama dalam penelitian ini.



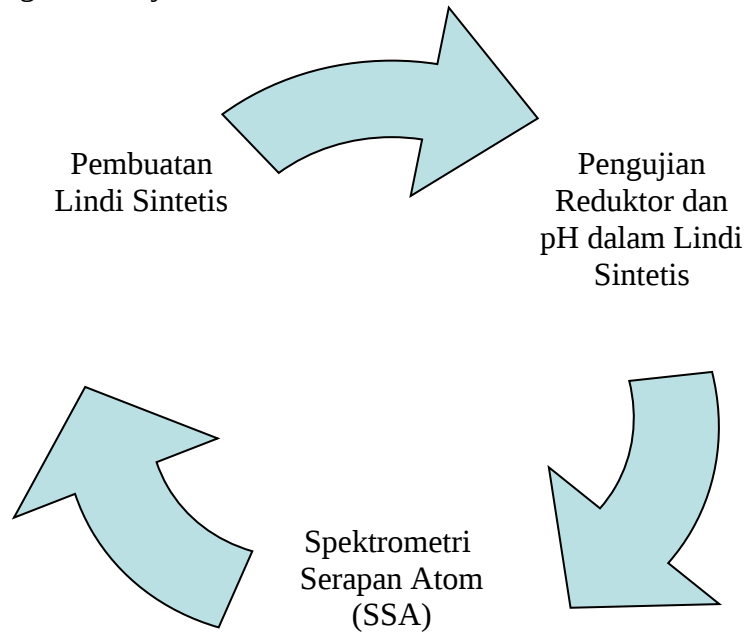
Gambar 3. Ionik Mangan Berdasarkan Stabilitas

Sumber: Lowe (2005)

C. METODE

Metodologi yang dilakukan adalah menguji lindi sintetis, dimana dilakukan pada 3 sampel yaitu dengan merendam lindi pada aquades. Terdapat nilai Mangan awal yang dibuat adalah berdasarkan pengamatan dua sumur di lapangan adalah 2,8 mg/L dan sudah melebihi baku mutu. Sampel berikutnya adalah 0,74 mg/L diujikan dengan metode Spektrometri Serapan Atom (SSA). Sampel uji ibedakan dalam 3 drum adalah persentasi sampah plastik pada sampah seperti pada tabel 1. Perendaman dilakukan 60 hari. Nomer

sampel berdasarkan masing-masing drum sebelum diujikan pada uji utama yaitu uji Mangan. Gambar 3 menunjukkan hal-hal yang diujikan untuk mencapai nilai Mangan. Kenaikan Mangan pada pengadukan uji SSA diukur dalam waktu 15, 30, 45, 60 menit.



Alat dan bahan untuk pembuatan 3 sampel lindi sintetis:

1. Alat: Drum 80 liter 3 buah, Pengaduk, Timbangan.
2. Bahan: Sampah dan tanah dari TPA Supit Urang dan Aquades.

Untuk langkah kerja pembuatan:

1. Ambil sampah segar yang terdiri dari 60% bahan *biodegradable*, sampah plastik sesuai yang ditunjukkan pada tabel 1, dan sisanya adalah sampah lain
2. Busukkan selama tiga hari apabila sampah tersebut masih segar
3. Poin nomor 2 tidak dilakukan apabila sampah sudah mengalami pembusukan
4. Timbang sampah tersebut setelah dibusukkan yaitu 1 kg
5. Beri aquades 20 liter pada sampah dan campuran tanah kedalaman 2 m. 1
6. Rendam selama 90 hari
7. Saring sampah dan lindi sintetis siap diuji

Tabel 1. Pembagian Sampel Lindi Sintetis

No	Penjabaran Sampel	Rasio Plastik dan sampah lain
1	Sampel menggunakan sampah 1 kg dengan 20 liter aquadest untuk merendam	Rasio Sampah Plastik 30% dari satu kg sampah
2	Sampel menggunakan sampah 1 kg dengan 20 liter aquadest untuk merendam	Rasio Sampah Plastik 20% dari satu kg sampah
3	Sampel menggunakan sampah 1 kg dengan 20 liter aquadest untuk merendam	Rasio Sampah Plastik 10% dari satu kg sampah

Kemudian diukur oksida lindi yaitu BOD, COD, Nitrat, Sulfat yang merupakan reduktor mangan pengukuran kandungan nitrat pada penelitian ini menggunakan metode brusin-spektrofotometri, mengenai BOD dan COD menggunakan metode pengukuran BOD₅ dan metode refluks tertutup. Kemudian dibuat masing-masing larutan BOD, COD, Nitrat dan

Sulfat dikhususkan untuk mengetahui reaksi terhadap masing-masing reduktor pH disesuaikan masing-masing sesuai dengan rendaman.

Untuk Mangan pada sampel pemecahannya melalui metode destruksi sebelum diikut pada pengujian pengujian Spektrometri Serapan Atom (SSA). Dimana pada bahan pengencer adalah aquadest. Setelah dilakukan uji destruksi basah siapkan, sesuai dengan SNI 6989.5, berikut Alat yang digunakan untuk uji SSA Mangan:

1. Gelas piala dengan volume 250 ml
2. Pipet ukur jenis 10-40 ml dalam kelipatan 10 ml
3. Labu ukur bervolume 100ml
4. Corong gelas dan pemanas

Bahan pendukung (Rahayu, 2022):

1. Masukkan 100 ml contoh uji yang sudah dikocok sampai homogen.
2. Tambahkan 5 ml asam nitrat.
3. Panaskan dalam pemanas listrik sampai uji hampir kering.
4. Tambahkan 50 ml air suling kedalam labu ukur 100 ml.

Pembuatan larutan baku logam Mn (100 mg/L) (Rahayu, 2022):

1. Pipet 10 ml larutan induk logam Mn yaitu 1000 mg/L kedalam labu ukur 100 ml 2
2. Tepatkan larutan pengencer sampai tanda tera Pembuatan larutan kerja logam:
3. Pipet 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40 ml larutan baku mangan ke dalam labu ukur 100 ml 2
4. Tambahkan larutan pengencer sampai tepat tanda tera hingga diperoleh konsentrasi 0,1; 0,5; 1; 2; 3; dan 4 mg/l

Prosedur dan pembuatan kurva kalibrasi (Rahayu, 2022):

1. Optimalkan alat SSA sesuai dengan pengukuran Mn.
2. Ukur masing-masing larutan kerja yang telah dibuat pada panjang gelombang 279,5 nm.
3. Buat kurva kalibrasi untuk mendapatkan garis regresi
4. Ukur contoh uji yang telah dipersiapkan
5. Hitung konsentrasi logam Mn dimana C adalah konsentrasi Mn terukur dan fp faktor pengenceran: $Mn(mg/L) = C \times fp$
6. Pada pengukuran pengaruh Mn dengan lindi digunakan pengencer yang berbeda, bukan akuades tapi lindi sintetik.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses umum sorpsi yang terjadi baik pada adsorpsi dan desorpsi kimia yaitu lindi, partikel melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia, dan cenderung mencari tempat yang memaksimumkan bilangan koordinasinya dengan substrat. Peristiwa adsorpsi disebabkan oleh gaya tarik molekul-molekul di permukaan adsorben (Notodarmojo, 2004 dalam Rahayu, 2022). Faktor pH mempengaruhi kelarutan Mangan. Tabel 2 menunjukkan ukuran pH pada setiap sampel.

Tabel 2. Ukuran pH Rendaman Lindi 60 Hari

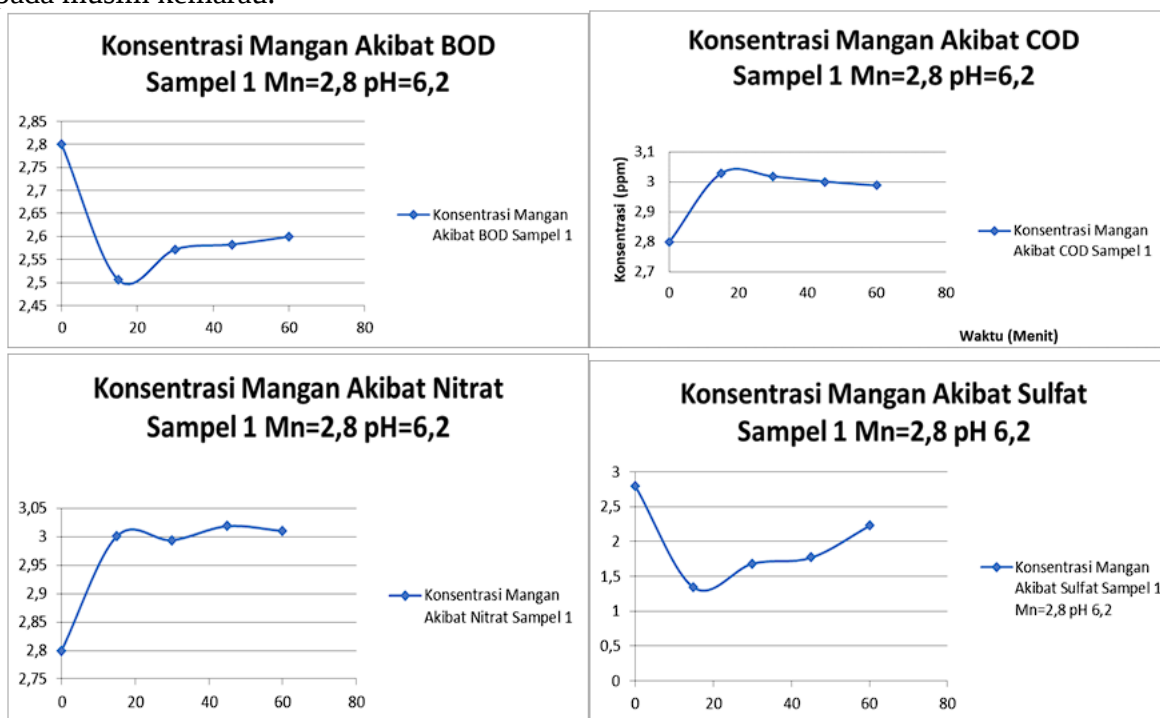
No	pH	Rasio Plastik dan sampah lain
1	6,4	Rasio Sampah Plastik 30% dari satu kg sampah
2	7,2	Rasio Sampah Plastik 20% dari satu kg sampah
3	7,6	Rasio Sampah Plastik 10% dari satu kg sampah

Terlihat dari hasil perhitungan pada tabel 2 pH akan lebih asam (kecil) apabila persentase sampah plastik lebih kecil. Hal ini disebabkan karena pelepasan zat etilen pada persentase sampah plastik yang lebih besar, berbanding lurus. Pengaruh gas etilen lebih kuat akibat sampah plastik, dimana pada proses tersebut dekomposisi lebih aktif, menyebabkan adanya fase larutan menjadi lebih asam. Berikut pada tabel 3 adalah perhitungan konsentrasi-konsentrasi parameter pada lindi sintetik yang direndam selama 60 hari.

Tabel 3. Ukuran pH Rendaman Lindi 60 Hari

No	Senyawa	Sampel 1(mg)	Sampel 2 (mg)	Sampel 3 (mg)
1	COD	6800	4200	2820
2	BOD	9800	6611	3764
3	Nitrat	17,861	10,335	8,51
4	Sulfat	5,8937	4,221	1,132

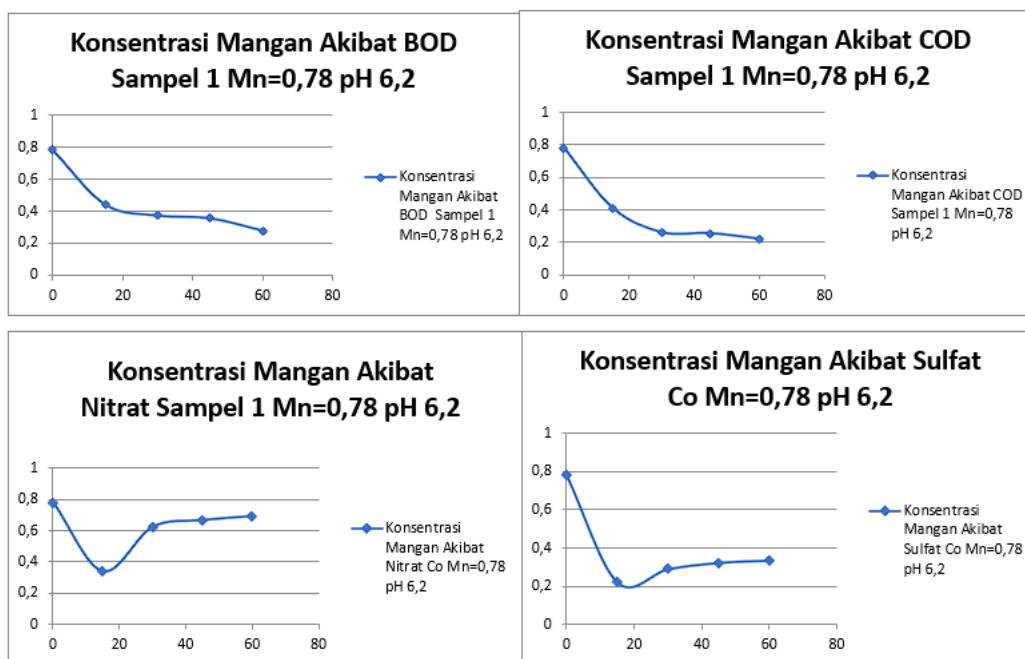
Pada tabel 3 terlihat parameter-parameter yang mempengaruhi Mangan menjadi lebih larut, terjadi pada sampel yang kandungan sampah plastinya lebih banyak. Kondisi-kondisi inilah yang menyebabkan reduksi pada valensi mangan menjadi lebih kecil. Pada gambar 4-11 ditunjukkan bagaimana kenaikan konsentrasi Mn, posisi ketiga sampel adalah larutan Mn yang memiliki konsentrasi awal 2,8 mg/L dan 0,78 mg/L yang diambil dari sumur warga pada musim kemarau.

**Gambar 4. Kondisi pengaruh zat-zat reduktor Mn (awal 2,8 mg/L) pada lindi pH 6,2**

Tren yang terjadi pada kondisi reaksi BOD pada Mangan, diawal Mn adalah 2,8 mg/L dimana sempat mengalami penurunan pada pengadukan 15 menit hingga angka 2,633 mg/L hingga akhirnya mengalami kenaikan sedikit demi sedikit. Hal ini disebabkan kerja dari aktivitas mikrobioma, kontrol pH menunjukkan pH turun menjadi 6,08 di menit ke 15. Ketika menit ke 30,45, dan 60 kadar Mn berangsur naik begitu juga pada Sulfat. Berbeda dengan COD, dan Nitrat dimana pada fase ini kadar mangan tidak turun namun langsung naik dalam pH yang relatif asam bahkan tidak pernah turun pada konsentrasi awal. Pada COD kondisi Mn ekstrim mencapai angka 3,24 mg/L.

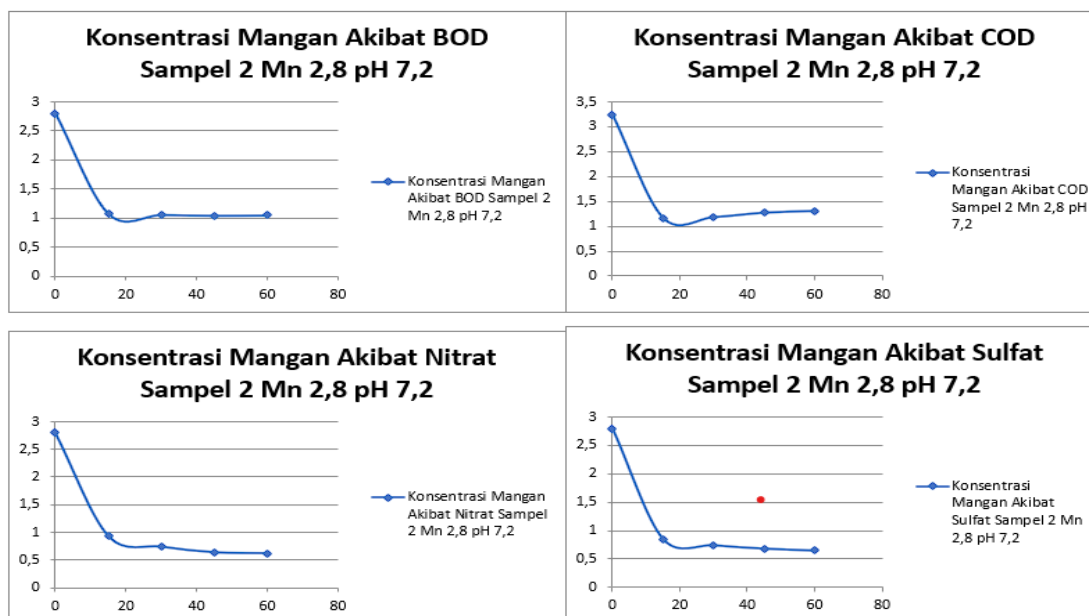
Pada gambar 5 ditunjukkan bahwa saat konsentrasi awal Mn adalah 0,78. Tren berbeda dialami oleh bagaimana parameter-parameter oksida pada lindi yang menyebabkan reduksi mengalami penurunan namun pada COD, Nitrat, dan Sulfat kenaikan dialami setelah konsentrasi Mn turun dahulu, pada konsentrasi awal Mn yang lebih kecil terjadi fase *releasing energy* pada reaksi redoks Mn tersebut. Berbeda dengan BOD, menurut Seran 2017 Mangan bersifat immobile yaitu tidak dapat bergerak atau beralih tempat dari organ yang satu ke organ lain yang membutuhkan. Aktifitas mikroorganisme pada BOD menyebabkan organisme biologi, karena reaksi redoks mangan mikroba sangat penting bagi lingkungan, seperti evolusi fotosintesis, transformasi geokimia, degradasi bahan organik (Wang dkk.,

2022). Pada konsentrasi Mangan yang relatif kecil, imobilitas Mangan dipengaruhi degradasi bahan organik pada Lindi.



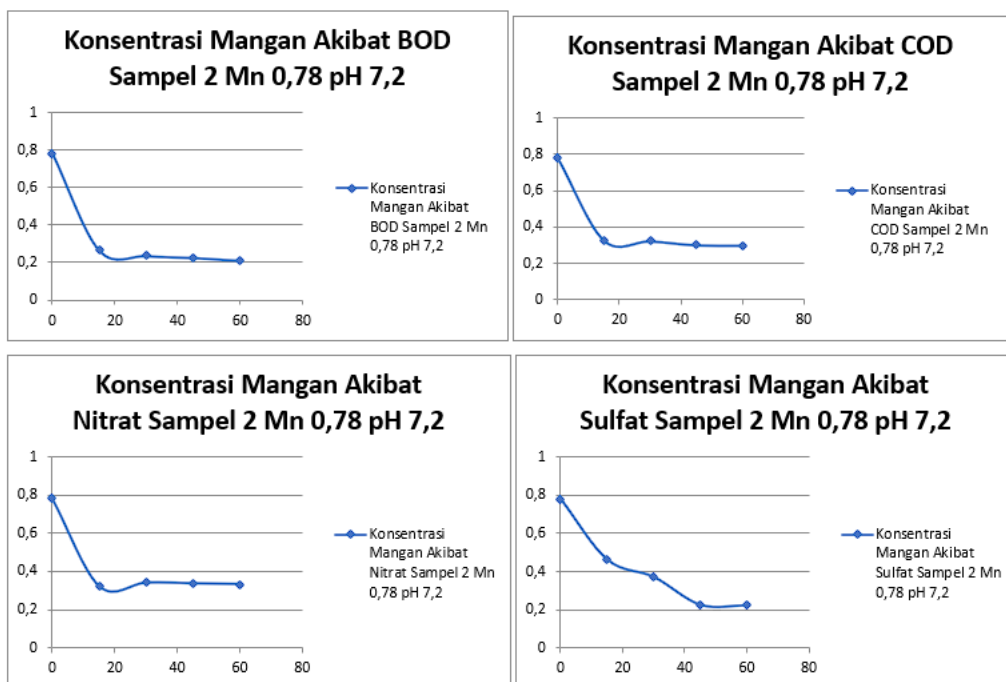
Gambar 5. Kondisi pengaruh zat-zat reduktor Mn (awal 0,78 mg/L) pada lindi pH 6,2

Selanjutnya pada gambar 6 dan 7 adalah bagaimana kondisi Mangan dalam pH 7,2. Perbandingan kondisi ini menunjukkan bahwa dengan sampah plastik 20% dari total sampah yang direndam, dimana pH telah menunjukkan kondisi basa. Kondisi BOD, COD, Nitrat dan Sulfat lebih rendah daripada dalam pH 6,2.



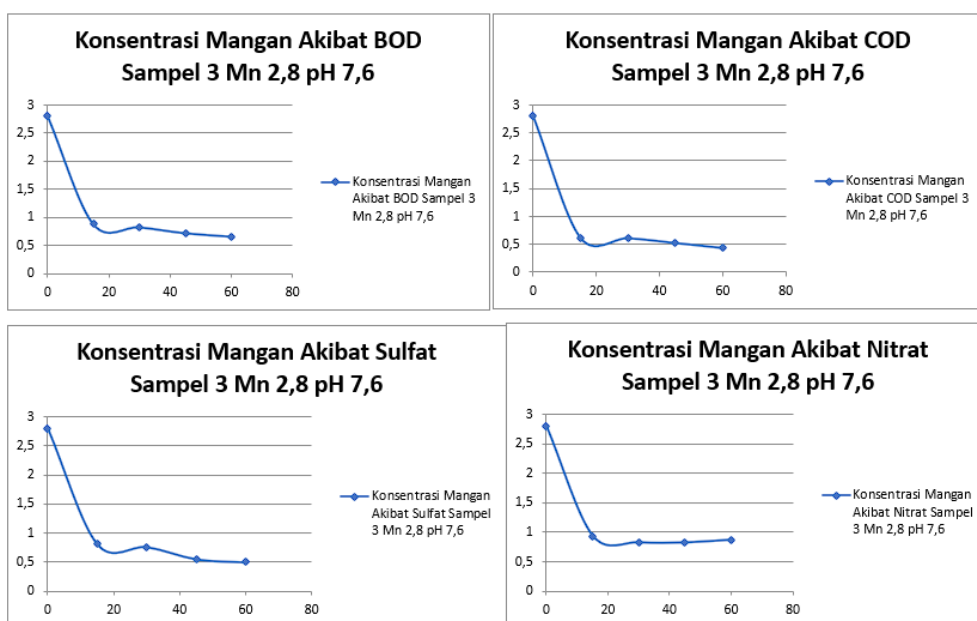
Gambar 6. Kondisi pengaruh zat-zat reduktor Mn (awal 2,8 mg/L) pada lindi pH 7,2

Tren pada rendaman dengan pH 7,2 mengalami penurunan setelah 30 menit dan seterusnya hingga 60 menit cenderung eksponensial kecuali BOD. Pada BOD mengalami pertumbuhan yang menunjukkan kesetimbangan di 45 dan 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada pH basa menunjukkan terjadinya oksidasi dari Mn itu sendiri. Mangan yang ada umumnya Mn(IV) dilihat dari grafik Fetter pada gambar 12. Selanjutnya gambar 7 menjelaskan tentang reaksi dengan kondisi awal Mn = 0,78.



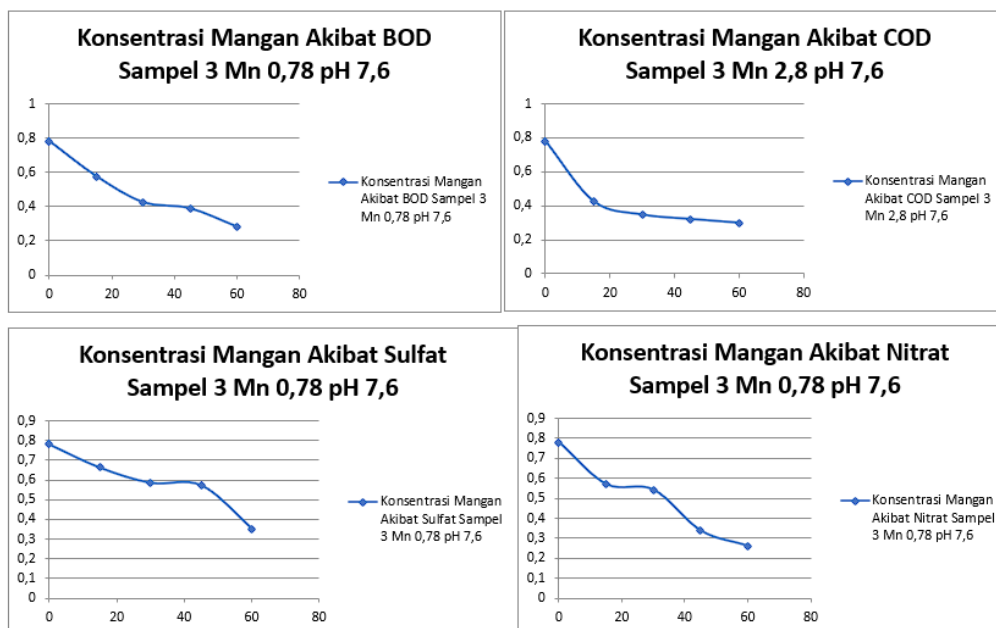
Gambar 7. Kondisi pengaruh zat-zat reduktor Mn (awal 0,78 mg/L) pada lindi pH 7,2

Pada kondisi Mn awal 2,8 mg/L kondisi reaktif memang lebih tinggi dari Mn awal 0,78 mg/L. Terbukti pada BOD, COD, Sulfat, Nitrat penurunan pada pH 2,8 adalah hingga 1,9 mg/L sedangkan pada pH yang sama di angka Mn awal 0,78 mengalami penurunan hanya sekitar 0,3-0,5 poin. Hal ini menunjukkan pada kondisi basa, kondisi reaktif ditunjukkan pada penurunan yang lebih tinggi. Berikutnya pada gambar 8 dan 9 ditunjukkan kondisi yang larutannya lebih basa.

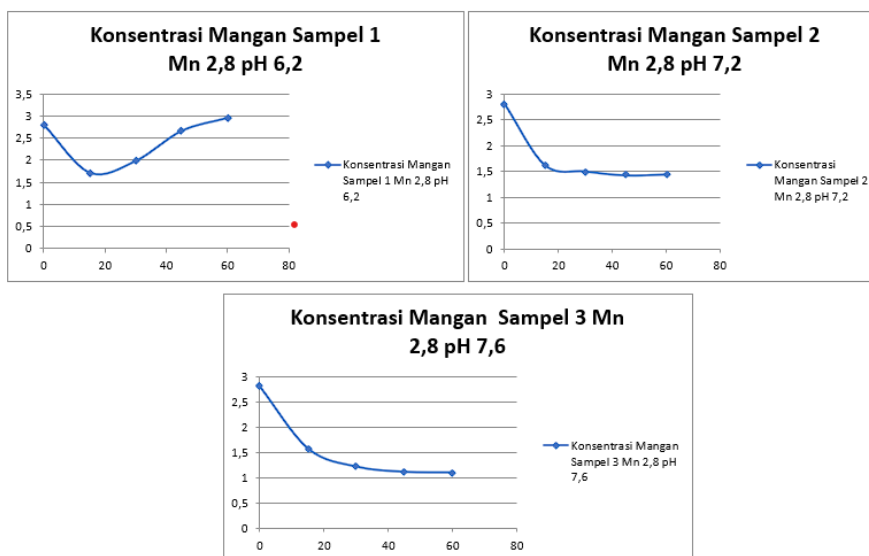


Gambar 8. Kondisi pengaruh zat-zat reduktor Mn (awal 2,8 mg/L) pada lindi pH 7,6

Selanjutnya pada gambar 9 ditunjukkan bagaimana reaksi Mn terhadap reduktor-reduktornya diambil konsentrasi awal Mn adalah 0,78 mg/L. Perbandingan reaktifitas antar reaksi dengan sampel dalam pH yang sama dilihat dari bagaimana penurunan/ kenaikan.

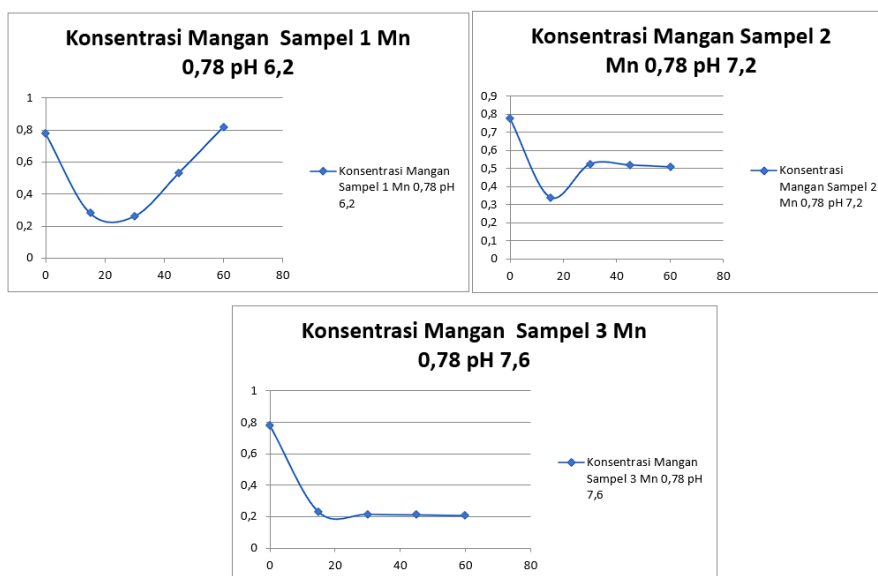


Gambar 9. Kondisi pengaruh zat-zat reduktor Mn (awal 0,78 mg/L) pada lindi pH 7,6 Perbedaan reaksi Mangan dengan zat-zat oksidator pada pH 7,6 dan konsentrasi awal Mn 0,78 mg/L tampak pada perbedaan dengan penurunan konsentrasi zat Mangan pada konsentrasi awal 2,8 mg/L. Pada konsentrasi awal yang lebih besar terlihat ada penurunan yang ekstrim pada menit ke-30 namun pada kondisi pada gambar 9 kesetimbangan reaksi terjadi di menit ke 15-30 dan menit ke 30-45 lalu kemudian turun ekstrim. Perbedaan berikutnya adalah pada gambar 10. Dimana reaksi dilakukan pada masing-masing lindi pada sampel 1,2, dan 3 tidak dipisahkan secara senyawa.



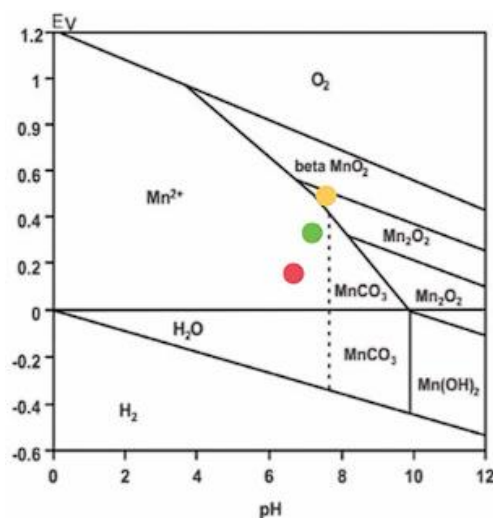
Gambar 10. Kondisi pengaruh sampel lindi 1,2,3 (awal 2,8 mg/L)

Pada gambar 10, pengaruh pH lindi sintetik terlihat signifikan. Dimana pada pH asam lindi jumlah konsentrasi Mangan naik di menit ke 60 melebihi konsentrasi awalnya 2,8 mg/L kemudian turun menjadi 1,721 dan akhirnya naik menjadi 3mg/L hingga turun kembali 2,96 mg/L. Pada pH 7,2 penurunan terjadi lalu kemudian terjadi penurunan sedikit-sedikit hingga pada menit ke 60 turun menjadi 1,481 mg/L.



Gambar 11. Kondisi pengaruh sampel lindi 1,2,3 (awal 0,78 mg/L)

Gambar 11 menunjukkan reaksi mangan pada konsentrasi Mn awal adalah 0,78. Pada pH=6,2 terlihat penurunan konsentrasi lalu meningkat hingga sebesar 0,85 mg/L pada titik ekstrim. Pada sampel kedua terlihat penurunan yang ekstrim pada menit ke-15 kemudian mengalami kenaikan pada menit ke-30, 45, dan 60 pada kondisi stabil. Pada pH 7,8 terjadi penurunan pada menit ke-15 kemudian stabil pada menit ke-30 hingga 60 yaitu di kisaran 0,3 mg/L. Berikutnya pada gambar 12 ditunjukkan Mangan jenis apa saja yang terjadi pada reaksi-reaksi yang ditunjukkan pada gambar 4-11.



Gambar 12. Kondisi pengaruh pH pada jenis Mangan yang Dominan

Sumber: Fetter, 1994 dalam Rahayu (2022)

(Keterangan: Titik merah adalah sampel 1, titik hijau sampel 2 dan titik kuning sampel 3)

Pada pH 6,2 dengan elektrovoltase (EV) yang diukur adalah 0,18 maka mangan yang dominan pada sampel 1 adalah Mn(II) dalam kondisi terlarut dan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh pH yang didapat dari sampah yang memiliki 30% plastik berhubungan dengan kelarutan Mn. Hal ini menjadi urgensi bahwa hendaknya sebuah perencanaan TPA harus menghindari kondisi asam, yaitu terbentuk dari pelepasan gas etilen dari plastik. Pada titik hijau yaitu sampel 2 dengan Ev 0,368 mangan masih menunjukkan mangan terlarut. Bedanya Mn pada kondisi ini tidak terlalu reaktif karena pH lebih tinggi. Pada sampel 3 Mn menunjukkan Mn(IV) dalam Mn_2O_3 . Mangan yang cenderung tidak terlarut dengan stabilitas rendah.

E. KESIMPULAN

Bahwa keberadaan plastik sangat mempengaruhi bagaimana Mn bereaksi dengan cairan lindi sintetis. Plastik pada jumlah yang lebih besar menghasilkan gas Etilen, dimana dalam rendaman lindi sintetis 30 hari, adanya pengaruh parameter-parameter pada lindi seperti zat organik dan pH yang mempengaruhi kenaikan kadar Mangan terutama dalam cairan bermangan yang berkonsentrasi besar dalam fase asam. Pengaruh reaksi dari parameter-parameter lindi paling reaktif meningkatkan kadar mangan adalah COD dan Sulfat dalam kondisi larutan yang asam. Namun pada Nitrat dan BOD tidak adanya perubahan signifikan walau dalam pH yang berubah reaksinya ada pada zat cair bermangan. Dengan reaksi yang terjadi pada lindi sintetis dan beberapa teori mengenai kondisi pH terlihat bahwa pH yang mengalami penurunan karena banyaknya sampah plastik yang *non-biodegradable*, bahwa sebelum fase adsorpsi mangan yang menjadikan Mangan (II) semakin terlarut, fase redoksnya mengalahi desorpsi dahulu. Artinya risiko pencemaran Mn terlarut tinggi pada parameter-parameter yang tidak melibatkan faktor *biological*.

DAFTAR PUSTAKA

- Attamimi, N. N. (2017). Analisis Hubungan Proses Geokimia Lindi Dengan Konsentrasi Mangan Pada Tanah Tempat Pembuangan Akhir (Studi Kasus TPA Supit Urang, Malang, Jawa Timur). (*Undergraduate Thesis Universitas Bakrie*).
- Apriyani, N. (2017). Penurunan kadar surfaktan dan sulfat dalam limbah laundry. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 37–44. <https://doi.org/10.33084/mitl.v2i1.13> 2
- Asdak, C. (2014). *Hidrologi Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- Budiyanto, G. (2012). *Biokimia Mn di Dalam Tanah*. Yogyakarta: Agroteknologi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Calder, G. V., & Stark, T. D. (2010). Aluminum reactions and problems in municipal solid waste landfills. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 14(4), 258-265.
- Chern, J. M., & Chien, Y. W. (2002). Adsorption of nitrophenol onto activated carbon: isotherms and breakthrough curves. *Water Research*, 36(3), 647-655.
- Chesworth, W. (1991). Geochemistry of micronutrients. *Micronutrients in agriculture*, 4, 1-30.
- Dauphas, N., & Rouxel, O. (2006). Mass spectrometry and natural variations of iron isotopes. *Mass spectrometry reviews*, 25(4), 515-550.
- Demirkol, G. T., Balcioglu, G., Durak, S. G., Acar, T. O., & Tüfekci, N. (2017). Investigation of Adsorption of Landfill-Leachate Transport in Clay Soils. *Nesehir Bilim ve Teknoloji Dergisi Cilt by Istanbul University and Nevsehir Haci Bektas Veli University*, 6, 380-387.
- Dewi. (2013). *Studi Penyebaran Klorida dan Kromium (Vi) di Air Tanah Dangkal (Studi Kasus: TPA Kopiluhur Cirebon)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Demazeau, G., Buffat, B., Pouchard, M., & Hagenmuller, P. (1982). Recent developments in the field of high oxidation states of transition elements in oxides stabilization of Six-coordinated Iron (V). *Z. Anorg. Allg. Chem.:(German Democratic Republic)*, 491.
- Diartika, E. I. A., & Sueb. (2021). Studi Kasus Pencemaran Sampah dan Pengelolaan Sampah di TPA Supit Urang Malang. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 17(1), 70-82.
- Direktorat PU Cipta Karya. (2012). *Materi Bidang Sampah, Diseminasi dan Sosialisasi Keteknik Bidang PLP*. Jakarta: Direktorat PU Cipta Karya.
- Evans, A. E. V., Hanjra, M. A., Jiang, Y., Qadir, M., & Drechsel, P. (2012). Water quality: Assessment of the current situation in Asia. *International Journal of Water Resources Development*, 28(2), 195-216. <https://doi.org/10.1080/07900627.2012.669520>

- Fontecha-Cámara, M. A., López-Ramón, M. V., Álvarez-Merino, M. A., & Moreno-Castilla, C. (2006). About the endothermic nature of the adsorption of the herbicide diuron from aqueous solutions on activated carbon fiber. *Carbon*, 44(11), 2335-2338.
- Hakim, A. R., Susilo, A., & Maryanto, S. (2014). Indikasi Penyebaran Kontaminan Sampah Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Magnetik (Studi Kasus: TPA Supit Urang, Malang). *Natural B*, 2(3), 281-289.
- Harmayani, K. D., & Konsukartha, I. G. (2007). Pencemaran Air Tanah AkibatPembuangan Limbah Domestik di Lingkungan Kumuh. *Pemukiman Natak*, 92-102.
- Kusumawati, T. (2012). *Kajian Degradasi Air Tanah Dangkal Akibat Air Lindi (LEACHATE) di Lingkungan Tempat Pembuangan Akhir Putri Cempo Surakarta*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Mahyudin, R. P. (2017). Kajian Permasalahan Pengelolaan Sampah dan Dampak Lingkungan Di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 66-74.
- Maramis, A. A. (2008). *Pengelolaan Sampah dan Turunannya di TPA*. Universitas Satya Wacana.
- Muryani, E. (2010). Faktor Lingkungan Fisik yang Paling Berpengaruh TerhadapPotensi Pencemaran Benzena pada Airtanah di Sekitar SPBU 44.552.10 Yogyakarta. *Sains dan Teknologi Lingkungan*, 55-64.
- Purwandari, E. R. (2015). *Studi Kualitas Airtanah Kawasan TPA Supit Urang Kota Malang*. (Thesis Universitas Brawijaya).
- Pangestu, R., Riani, E., & Effendi, H. (2017). Estimasi beban pencemaran point source dan limbah domestik di Sungai Kalibaru Timur, Provinsi DkI Jakarta, Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 7(3), 219–226. <https://doi.org/10.29244/jpsl.7.3.219-226>
- Poedjiastoeti, H., Sudarmadji, Sunarto, & Paryogi, S. (2017). Penilaian kerentanan air permukaan terhadap pencemaran di Sub DAS Garang Hilir berbasis multi-indeks. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 5(3), 168-180. <https://doi.org/10.14710/jwl.5.3.168-180>
- Pradana, H A, Novita, E., Wahyuningsih, S., & Pamungkas, R. (2020). Analysis of deoxygenation and reoxygenation rate in the Indonesia River (a case study: Bedadung River East Java). *Series: Earth and Environmental Science*, 243, 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/243/1/012006>
- Rahayu, M. M., Notodarmojo, & Damanhuri. (2022). *Perilaku Kelarutan Mangan Akibat Lindi Melalui Reaksi Sorpsi dan Desorpsi Sebagai Kontribusi Pencemaran Air Tanah*. (Disertasi Institut Teknologi Bandung).
- Rahayu, Y., Juwana, I., Marganingrum, D., & Lingkungan, J. T. (2018). Kajian perhitungan beban pencemaran air sungai di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung dari sektor domestik. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 2(1), 61–71. <https://doi.org/10.26760/jrh.v2i1.2043>
- Saraswati, S. P., Sunyoto, Kironoto, B. A., & Hadisusanto, S. (2014). Kajian Bentuk dan Sensitivitas Rumus Indeks PI, Storet, Come untuk Penentuan status mutu perairan sungai tropis di Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2), 129-142. <https://jurnal.ugm.ac.id/JML/article/view/18536>
- Solichin, M., Munandar, K., & Eurika, N. (2015). Keanekaragaman dan kelimpahan ikan di Sungai Bedadung wilayah Kota Jember. In *Seminar Nasional Biologi, IPA Dan Pemebelajarannya* (pp. 36-48).
- Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.

- Thesiwati, A. S. (2011). Analisis perilaku masyarakat dalam pengelolaan lingkungan disepanjang Daerah Aliran Sungai Batang Kuranji. *Jurnal Pelangi*, 3(2), 74–92. <https://doi.org/10.22202/jp.2011.v3i2.22>
- Vadde, K. K., Wang, J., Cao, L., Yuan, T., McCarthy, A. J., & Sekar, R. (2018). Assessment of Water Quality and Identification of Pollution Risk Locations in Tiaoxi River (Taihu Watershed), China. *Water*, 10(183),
- Disertasi dan Thesis:
- Syahza, A. (2004). *Pemberdayaan Ekonomi Masyarakat Pedesaan melalui Pengembangan Industri Hilir Berbasis Kelapa Sawit di Daerah Riau*. (Doctoral Dissertation, Universitas Padjajaran, Bandung, Indonesia).
- Zarei, R. (2017). *Developing enhanced classification methods for ECG and EEG signals*. (Doctoral Dissertation, Victoria University, Melbourne, Australia).