BIOREMEDIASI TANAH TERKONTAMINASI LOGAM BERAT BESI (FE) DENGAN METODE *COMPOSTING*

BIOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH HEAVY METAL IRON (FE) USING COMPOSTING METHOD

Frissilia Destania[1]*, Andy Mizwar[1], Muhammad Abrar Firdausy[1] dan Muhammad Firmansyah[1]

[1]Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A.Yani Km 35,5, Banjarbaru, 70714, Indonesia

E-mail: tania1999494@gmail.com

ABSTRAK

Aktivitas pertambangan yang terus meningkat menyebabkan tinggi nya penyebaran logam berat pada tanah. Tanah tambang yang berasal dari Pertambangan Batubara di Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan memiliki kadar Fe sebesar 24.113,420 mg/kg dan telah melebihi ambang batas yang ditentukan. Tinggi nya konsentrasi logam berat akan menimbulkan pencemaran tanah dan merusak ekosistem sehingga perlu dilakukan pembenahan. Pembenahan dapat dilakukan dengan menggunakan metode bioremediasi composting yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme dalam proses pengomposan untuk mengurai polutan. Bahan composting yang digunakan yaitu sayuran, daun, dan ranting. Penelitian ini menggunakan metode in-vessel composting selama 60 hari dengan empat variasi komposisi kompos yaitu A (5%ranting + 75%sayur + 20%daun), B (5%ranting + 20%sayur + 75%daun), C (5% ranting + 47,5% sayur + 47,5% daun), D(100% tanah). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi kompos dan waktu kontak terhadap penurunan logam Fe selama proses composting. Reaktor in-vessel composting yang digunakan berjumlah 8 buah berkapasitas 3500 mL dengan diameter 15 cm dan tinggi 20 cm. Hasil penelitian selama 60 hari menunjukkan terjadinya perubahan suhu, pH dan kadar air selama proses composting. Penyisihan logam Fe terjadi pada setiap variasi. Variasi komposisi dan lama waktu composting terbaik yaitu ada pada variasi A (5%ranting + 75%sayur + 20%daun) pada hari ke-60 dengan nilai akhir logam Fe 7514,45 mg/kg dengan removal penurunan sebesar 51,14%.

Kata Kunci: Fe, *in-vessel composting*, bioremediasi, sampah organik

ABSTRACT

The continuous mining increment has caused an immense number of heavy metals in soil. Mining land which comes from Coal Mining in Taping, South Kalimantan possesses 24.113,420 mg/kg Fe rate and has exceeded the limit. The high concentration of heavy metal will inflict soil pollution and destroy the ecosystem, so there shall be cleansing. Recovery could be done by bioremediation composting which utilizes microorganism activity in the composting process in order to dissect pollution. Composting uses vegetables, leaves, and branches. This research adopt in-vessel composting method for 60 days within four composts composition, which are A (5%branches + 75%vegetables + 20%leaves), B (5%branches + 20%vegetables + 75%leaves), C (5% branches + 47,5% vegetables + 47,5% leaves), D(100% soil).

This research is conducted to find out the influence of compost composition variation and contact duration to the decrement of Fe within the composting process. The number of utilized reactors of in-vessel composting are 8, each consisting of 3500mL capacity with 15 cm diameter and 20 cm height. The result of 60 days research shows changes in temperature, pH, and water level within the composting process. Fe metal removal occurred in every variation. The best composition variation and composting timestamp happened in the variation A (5%branches + 75%vegetables + 20%leaves) on the 60th day with Fe final score 7514,45 mg/kg with the decrement of removal at 51,14%.

Keywords: Fe, in-vessel composting, bioremediation, organic waste

1. PENDAHULUAN

Pertambangan adalah salah satu sektor industri yang memiliki perkembangan cukup pesat di Indonesia. Namun, perkembangan industri pertambangan ini berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan sebagai akibat dari proses penambangan. Menurut Sunuk dkk (2018), masalah utama yang muncul dari sisa kegiatan pertambangan adalah adanya perubahan lingkungan. Sisa dari kegiatan pertambangan akan meninggalkan lahan yang rusak dan tanah dengan keasaman tinggi. Kondisi ini juga berpotensi menyebabkan besarnya akumulasi logam berat pada tanah. Konsentrasi logam berat yang tinggi dapat menimbulkan efek toksisitas pada makhluk hidup dan jika terus dibiarkan maka akan masuk ke siklus rantai makanan (Wulan dkk., 2020).

Logam berat besi (Fe) adalah logam essensial yang pada umumnya tersedia cukup di dalam tanah dan memberikan manfaat bagi tumbuhan dan hewan dalam proses biokimia dan fisiologis. Namun, jika berada dalam konsentrasi yang berlebih maka Fe juga dapat menimbulkan efek toksisitas, hal ini sering terjadi pada lahan-lahan kritis. Ambang batas konsentrasi Fe dalam tanah yaitu 300 ppm (Sukarjo dkk., 2017) dan dalam kondisi tanah agak masam-netral yaitu 250 ppm (Sipi & Subiadi, 2016). Apabila kondisi tanah telah berada pada tingkatan terpolusi, maka perlu dilakukannya pemulihan (Hamzah & Priyadarshini, 2019). Umumnya proses pemulihan tanah akibat logam berat memerlukan waktu yang cukup lama. Namun, proses pemulihan tersebut dapat dipercepat dengan teknologi bioremediasi (Najmina, 2019). Bioremediasi merupakan pemanfaatan kemampuan mikroorganisme dalam membersihkan polutan dilingkungan. Pada proses bioremediasi ini, bahan organik yang merupakan sumber dari mikroorganisme akan dimasukkan ke dalam polutan. Hal ini dikarenakan bahan organik sangat berperan penting dalam mempengaruhi ketersediaan logam berat didalam tanah. Salah satu teknik dalam bioremediasi adalah *composting*, yaitu penambahan dan pencampuran kompos pada tanah berpolutan (Edwin & Mera, 2019).

Beberapa penelitian tentang bioremediasi *composting* dalam pemulihan tanah akibat logam berat telah banyak dilakukan. Penelitian Najmina (2019), menunjukkan bahwa pemberian kompos organik pada tanah tercemar logam berat Fe mampu memberikan penurunan sebesar 78,18%. Penelitian serupa dilakukan oleh Rahmawati (2019) dengan menggunakan kompos sampah organik sebagai campuran untuk menyisihkan timbal (Pb) dan seng (Zn) pada lumpur WWTP dan abu boiler industri. Dimana hasil penelitian menunjukkan penambahan kompos mampu memberikan removal Pb sebesar 60,51%.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi suhu, pH, kadar air selama *composting*, menganalisis dinamika penyisihan logam Fe pada tanah, dan menentukan variasi komposisi kompos dan waktu kontak terbaik terhadap penurunan logam Fe pada tanah tercemar selama proses *composting*.

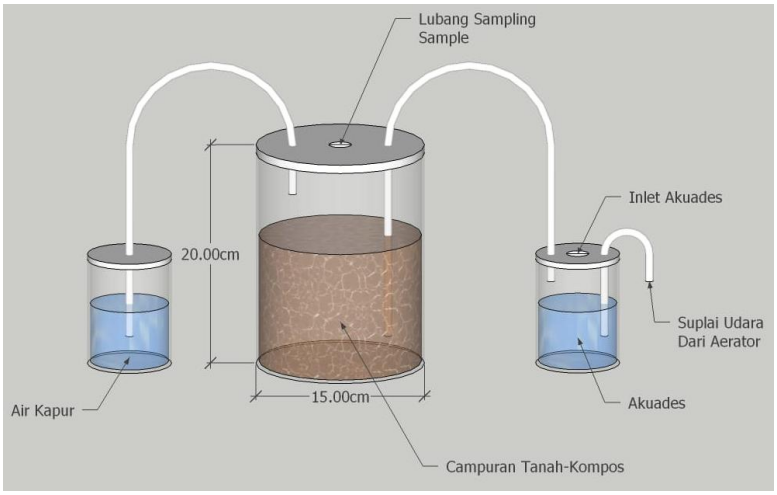
2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga September 2022 dengan skala laboratorium. Lokasi penelitian yaitu Laboratorium Rekayasa Teknik Lingkungan ULM Banjarbaru dan *Engineering Techno Park* (ETP) Fakultas Teknik ULM Banjarbaru

2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu saringan 10 mesh, aerator, *soil survey instrument* dan *soil tester* sebagai alat ukur suhu, pH dan kadar air selama *composting* serta reaktor kompos (**Gambar 1**). Bahan yang digunakan yaitu tanah tercemar dari pertambangan batubara, sampah organik berupa sisa sayur, daun dan ranting, akuades, dan air kapur.



Gambar 1. Desain Reaktor *Composting*
Sumber: Mizwar dkk., 2016.

2.3 Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan bahan kompos yang berbeda untuk mengetahui pengaruh variasi bahan kompos dan waktu kontak terhadap penurunan logam Fe selama proses *composting*. Untuk C/N rasio bahan organik didesain sebesar 20 dan didapatkan 3 variasi komposisi bahan yaitu A, B, dan C. Variasi komposisi kompos dapat diilihat pada **Tabel 1.** Perbandingan antara kompos dan tanah tercemar yaitu 1:1.

Tabel 1. Variasi Komposisi Bahan Kompos

Kode Reaktor	Komposisi			
	Tanah Tercemar	Kompos		
		Ranting	Sayur	Daun
A	100%	5%	75%	20%
B	100%	5%	20%	75%
C	100%	5%	47,5%	47,5%
D	100%	0%	0%	0%

Bahan organik untuk kompos yang digunakan diperoleh dari pasar Banjarbaru dan sekitaran area kampus ULM Banjarbaru. Bahan organik ini berupa ranting, daun dan sisa sayur. Proses pencacahan bahan dilakukan dengan alat pencacah, kemudian dikomposkan sesuai komposisi didalam rak *box* selama ± 10 hari baru kemudian diaplikasikan pada tanah tercemar. Proses remediasi tanah tercemar dengan kompos pada penelitian ini menggunakan metode *in-vessel composting*. Prinsip kerja dari metode ini adalah dengan yang menempatkan bahan kompos didalam sebuah kontainer tertutup dan dilengkapi dengan pengaturan oksigen menggunakan selang untuk menjaga kondisi tetap stabil selama proses pengomposan (Anindita, 2012). Reaktor *in-vessel composting* ini dilengkapi dengan aerator yang berfungsi sebagai pemompa udara menuju reaktor. Kadar air selama proses *composting* dikontrol pada rentang 50-60%.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 2 kali pengulangan dan lama waktu *composting* yaitu 60 hari. Setiap 5 hari sekali dilakukan pembalikkan dan penganginan bahan kompos. Hal ini bertujuan agar kondisi kompos tidak terlalu lembab dan tidak terlalu kering. Pengambilan sampel tanah untuk uji kandungan logam berat Fe dilakukan pada hari ke-0, 20, 40, dan 60. Parameter suhu, pH dan kadar air diukur setiap hari pukul 14.00-16.00 WITA. Pengukuran ini bertujuan untuk mengontrol kondisi kompos selama proses pengomposan.

2.4 Cara Analisis Data

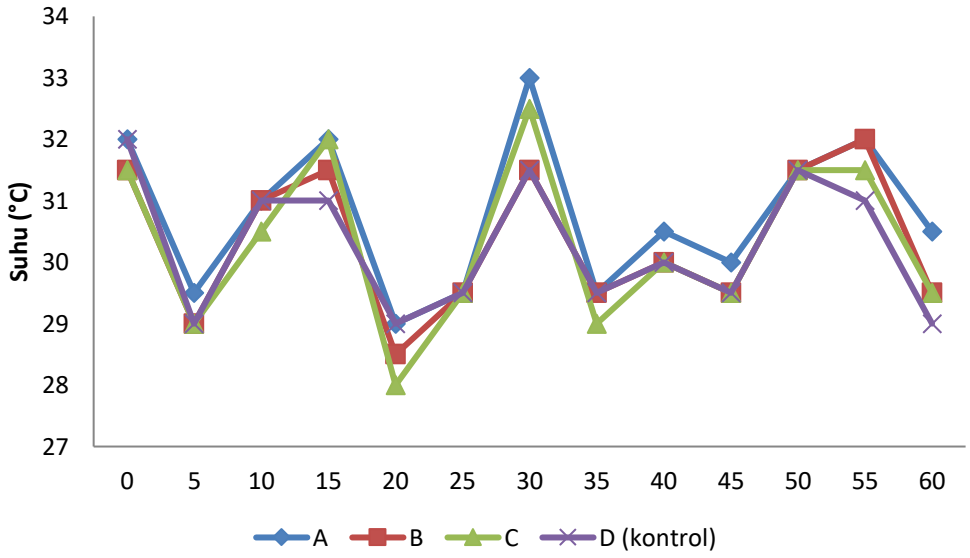
Analisis data meliputi analisis deskriptif dan statistik. Secara deskriptif berupa data hasil pengamatan suhu, pH, dan kadar air selama proses *composting*. Data pengamatan ini digunakan sebagai acuan penentu kondisi pengomposan. Hasil analisis data ini disajikan dalam bentuk grafik. Data pengujian logam berat Fe dianalisis secara deskriptif dan statistik. Secara deskriptif, disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui tingkat efisiensi penurunan logam berat Fe selama proses *composting* menggunakan metode AAS (*Atomic Absobtion Spectrophotometer)*. Sedangkan analisis statistik menggunakan aplikasi SPSS 20.0 dengan uji *Two Way* Anova untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi serta lama waktu *composting* dalam penurunan konsentrasi logam berat Fe pada tanah tercemar. Hipotesis statistik penelitian meliputi H_0 (tidak ada perbedaan penurunan nilai Fe akibat variasi komposisi dan lama waktu bioremediasi *composting* tanah tercemar) dan H_1 (ada perbedaan penurunan nilai Fe akibat variasi komposisi dan lama waktu bioremediasi *composting* tanah tercemar).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi *Composting*

3.1.1 Perubahan Suhu

Suhu adalah indikator penting dalam proses dekomposisi bahan organik (Marlina dkk., 2017). Suhu *composting* diamati setiap hari pada pukul 14.00-16.00 WITA selama 60 hari. Grafik hasil pengamatan suhu dapat dilihat pada **Gambar 2**. Selama proses *composting*, terjadi fluktuasi suhu yang signifikan. Pada 5 hari pertama c*omposting*, suhu mengalami penurunan diangka 29°C. Memasuki hari ke-10 hingga ke-15 suhu mengalami kenaikan diangka 30-32°C. Namun kembali mengalami penurunan di hari ke-20 diangka 28°C. Suhu reaktor terus mengalami fluktuasi hingga hari ke-60. Menurut Laily (2019), fluktuasi ini terjadi karena suhu dalam reaktor dipengaruhi oleh suhu lingkungan dimana reaktor diletakkan.



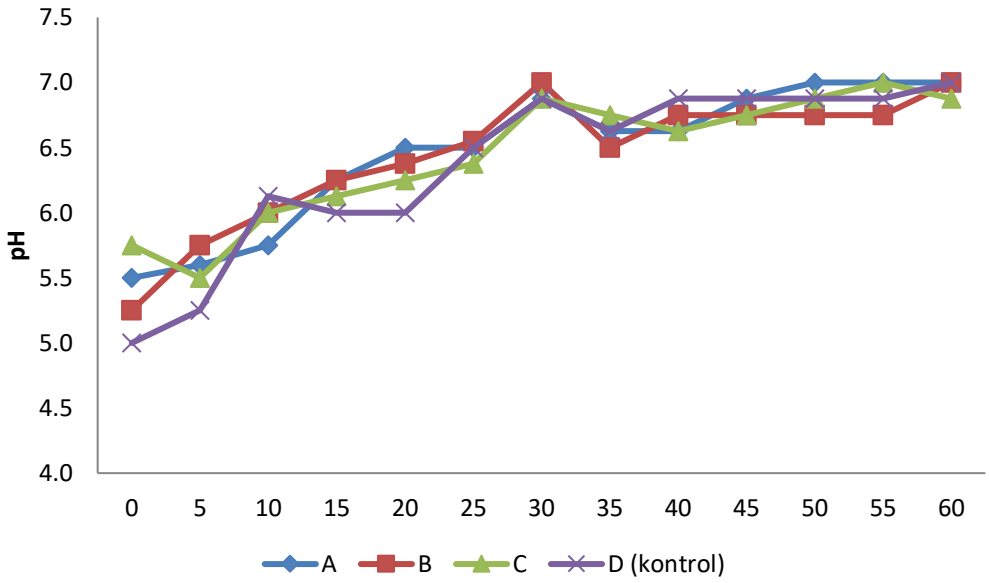
Gambar 2. Grafik Perubahan Suhu

Suhu semua reaktor selama 60 hari berada pada *range* 28-34°C. Kondisi ini menunjukkan bahwa *range* suhu penelitian ada pada kondisi mesofilik (23-45°C). Kondisi mesofilik merupakan kondisi terbaik dimana mikroorganisme bekerja aktif dalam memperkecil bahan organik sehingga dapat mempercepat proses penguraian. Suhu pada semua perlakuan tidak mencapai kondisi termofilik (45-65°C). Menurut Hermawansyah (2017), tidak tercapainya suhu termofilik ini dapat terjadi karena rendahnya tumpukan bahan kompos sehingga lebih cepat kehilangan panas.. Suhu tertinggi terjadi pada reaktor A di hari ke-31 dengan suhu 34°C. Sedangkan suhu terendah terjadi pada reaktor C dihari ke-20 dengan suhu 28°C. Suhu dalam reaktor terbilang rendah. Menurut Sinaga (2015), suhu rendah ini dapat disebabkan oleh kecilnya volume reaktor yang digunakan sehingga tidak dapat menahan panas dari proses metabolisme mikroba.

3.1.2 Perubahan pH

Nilai pH berpengaruh terhadap kondisi mikroorganisme dalam dekomposisi bahan organik selama proses *composting*. Kondisi pH ideal untuk kompos yaitu berkisar antara 6-8 (Hermawansyah, 2017). Grafik

nilai pH selama *composting* dapat dilihat pada **Gambar 3**. Nilai pH diukur setiap hari pada pukul 14.00-16.00 WITA. Hasil pengamatan kondisi pH menunjukkan bahwa tidak terjadi fluktuasi pH yang signifikan selama proses *composting*. Nilai pH dari awal pengomposan hingga hari ke-60 cenderung meningkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai pH meningkat seiring lamanya waktu *composting*.

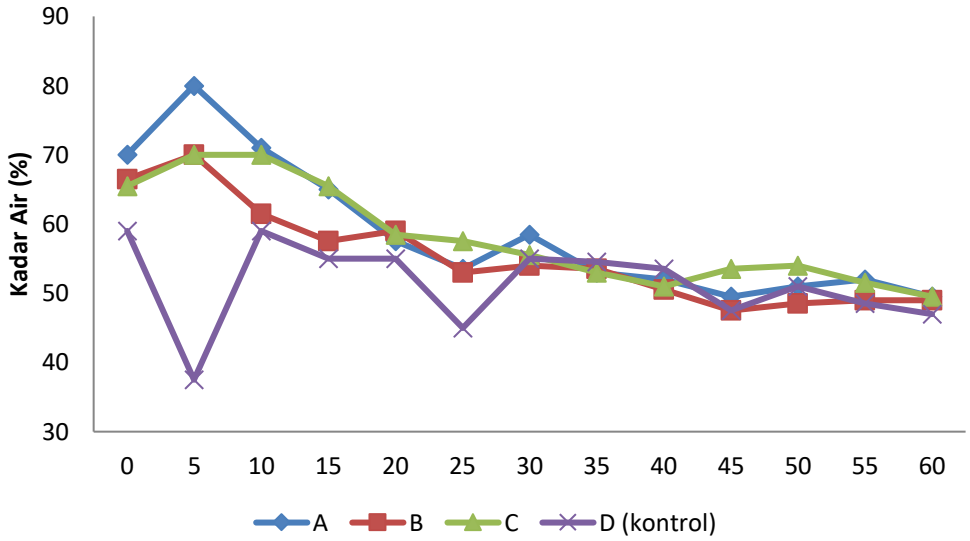


Gambar 3. Grafik Perubahan pH

Pada 5 hari pertama, pH reaktor berkisar antara 5-5,5 dan berada pada kondisi asam. Menurut Ariyanti dkk (2019), menurunnya nilai pH dapat terjadi karena terjadi proses perubahan bahan organik menjadi asam organik oleh aktivitas mikroorganisme. Nilai pH cenderung menunjukkan kenaikan pada hari ke-15 yaitu mencapai pH 6-6,3. Kenaikan pH terus terjadi hingga hari ke-60. Kenaikan pH ini terjadi karena meningkatnya aktivitas mikroorganisme selama proses *composting*. Aktivitas tersebut menghasilkan amonia dan gas nitrogen yang menyebabkan kondisi pH berangsur-angsur menjadi basa (Siagian dkk., 2021). Hasil akhir pH *composting* selama 60 hari disemua perlakuan berkisar antara pH 6,8-7 dan kondisi pH ini telah memenuhi syarat nilai pH kematangan kompos sesuai SNI 19-7030-2004.

3.1.3 Perubahan Kadar Air

Kadar air memiliki pengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme dalam proses degradasi bahan organik. Kisaran kadar air ideal untuk kompos yaitu berkisar 40-60% (Sandi & Hartono, 2020). Grafik hasil pengamatan kadar air selama proses *composting* dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pengukuran dilakukan setiap hari pada pukul 14.00-16.00 WITA selama 60 hari. Kadar air dikontrol pada rentang 50-60%. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar air selama 60 hari proses *composting*.

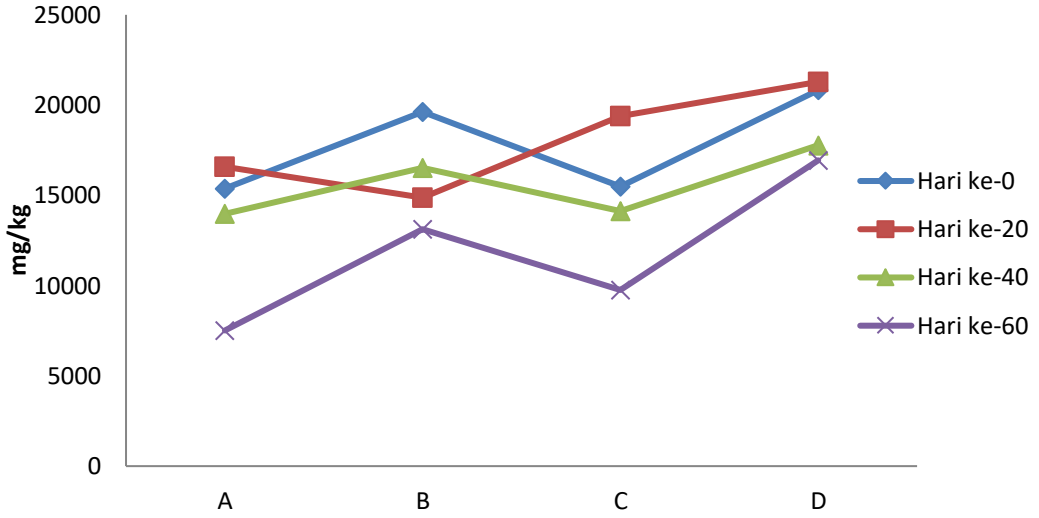


Gambar 4. Grafik Perubahan Kadar Air

Pada hari ke-1 variasi D (100% tanah) memiliki kadar air 53% sedangkan variasi lainnya memiliki kadar air tinggi antara 65-70%. Namun pada hari ke-4 hingga ke-5, variasi D mengalami penurunan hingga diangka 38%, sehingga dilakukannya penambahan air agar sesuai dengan kadar air kontrol. Sedangkan variasi A, B dan C mengalami peningkatan di angka 67-80%. Pada 10 hari pertama, variasi dengan kondisi kadar air tertinggi ada pada variasi A yang berkisar antara 70-80%. Hal ini karena variasi A didominasi oleh sampah sayur yang mengandung banyak air. Sejalan dengan Laily (2019) yang mengatakan semakin banyak sisa sayur yang digunakan, maka semakin besar pula kadar air didalam kompos. Proses pembalikan kompos dilakukan setiap 5 hari sekali. Proses ini bertujuan untuk menjaga kondisi kompos agar tidak terlalu lembab dan terlalu kering. Selama 60 hari pengamatan, kadar air disemua variasi mengalami penurunan dengan hasil akhir kadar air berkisar antara 47-50%.

3.2 Analisis Dinamika Penyisihan Logam Berat Fe

Grafik hasil pengamatan dinamika konsentrasi Fe disajikan pada **Gambar 5.** Nilai Fe pada hari ke-20 mengalami kenaikan pada variasi A, C dan D (kontrol) dibandingkan dengan hari ke-0, sedangkan variasi B mengalami penurunan. Naiknya konsentrasi Fe dapat disebabkan besarnya komposisi sayur yang digunakan pada kompos. Pada hari ke-40, terjadi penurunan pada variasi A, C, dan D (kontrol) sedangkan variasi B mengalami kenaikan. Pada hari ke-60, semua variasi terus mengalami penurunan. Konsentrasi akhir Fe terendah ada pada variasi A sebesar 7514,45 mg/kg. Menurut Notohadiprawiro (2006), batas kritis konsentrasi Fe pada tanah yaitu 300 ppm sehingga dapat dikatakan konsentrasi akhir Fe pada penelitian ini masih berada jauh diatas ambang batas. Hal ini dapat disebabkan oleh tingginya konsentrasi awal Fe pada tanah. Menurut Rahmadayani (2018), logam berat dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan tertekannya mikroorganisme sehingga mempengaruhi kinerja dalam proses degradasi polutan.



Gambar 5. Grafik Dinamika Penyisihan Fe tiap Variasi

Jika dikalkulasikan dari konsentrasi awal (hari ke-0), reduksi Fe paling besar terdapat pada variasi A dengan removal sebesar 7865,30 mg/kg atau 51,14%. Sedangkan untuk variasi B dengan removal sebesar 6507,2 mg/kg atau 33,17%, variasi C dengan removal sebesar 5727,75 mg/kg atau 37,01%, dan variasi D sebesar 3884,3 mg/kg atau 18,65%. Variasi A pada hari ke-60 menjadi komposisi dan waktu terbaik dalam penurunan konsentrasi Fe dalam tanah.

Hasil pengamatan per 20 hari pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa terjadi fluktuasi nilai Fe di setiap variasi nya. Fluktuasi ini terjadi karena tingginya konsentrasi awal Fe. Tingginya konsentrasi logam berat awal akan mempengaruhi kinerja mikroorganisme dalam mendegradasi polutan. Menurut Spain (2003), mikroorganisme menyerap logam berat menjadi sumber energi dan pertumbuhan. Namun jika konsentrasi logam berat terlalu tinggi, ion logam akan bersifat racun dalam sel sehingga menghambat metabolisme mikroorganisme. Kondisi ini disebut *metal-stressed conditions* yang akan mendorong mikroorganisme untuk beradaptasi dan berevolusi untuk bertahan hidup dengan mengembangkan mekanismenya agar dapat menolerir penyerapan ion logam berat. Kondisi inilah yang menyebabkan nilai penyisihan Fe naik-turun atau tidak konstan selama 60 hari.

Tabel 2. Efisiensi Penurunan Konsentrasi Fe tiap Variasi

Hari Ke-	Efisiensi Penurunan (mg/kg)			
	A	B	C	D
20	+1204,5	-4747,15	+3911,75	+462
40	-2608,35	+1662,65	-5250,35	-3508,3
60	-6461,45	-3422,7	-4389,15	-838

Keterangan :
Nilai (+) = kenaikan konsentrasi

Nilai (-) = penurunan konsentrasi

3.3 Analisis Uji Statistik dengan *Two Way Anova*

Analisis statistik penyisihan Fe dilakukan menggunakan aplikasi SPSS 20.0 dengan uji *Two Way* Anova. Terpenuhinya uji normalitas dan uji homogenitas menjadi syarat dapat dilakukannya Uji *Two Way* Anova. Uji normalitas menggunakan tes *Shapiro-Wilk*. Hasil menunjukkan signifikansi >0,05 yang artinya data memiliki sebaran yang sama dan terdistribusi normal. Kemudian dilanjutkan dengan uji homogenitas dengan hasil signifikansi >0,05 yang berarti data nilai Fe mempunyai varian homogen. Uji kemudian dilanjutkan dengan *Two Way* Anova. Pada variasi komposisi menunjukkan signifikansi < 0,05, artinya ada perbedaan penurunan Fe akibat variasi komposisi kompos. Pada variasi waktu menunjukkan signifikansi <0,05, yang berarti ada perbedaan penurunan Fe akibat variasi waktu *composting*.

Dalam uji *Two Way* Anova, kedua faktor harus diperhatikan, dalam penelitian ini yaitu komposisi kompos dan waktu *composting*. Hasil uji yang diperoleh dari variasi komposisi dan waktu menunjukkan signifikansi > 0,05 yang artinya hipotesis statistik H_0 diterima. Artinya hubungan variasi komposisi dan lama waktu *composting* selama remediasi tidak menunjukkan hasil yang signifikan terhadap penurunan nilai Fe. Karena hasil analisis penurunan Fe tidak menghasilkan perbedaan nyata yaitu signifikansi > 0,05, maka tidak perlu dilakukan uji lanjutan terhadap nilai Fe.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Selama proses pengomposan, terjadi fluktuasi suhu disemua reaktor. Suhu berada pada rentang 28-34°C. Nilai pH mengalami kenaikan seiring lamanya waktu *composting*. pH awal berkisar 5-5,5 dan terus mengalami kenaikan hingga mencapai pH akhir 6,8-7. Kadar air cenderung mengalami penurunan seiring lama waktu composting. Kadar air awal berkisar 67-80% dan kadar air akhir berkisar 47-50%.
2. Nilai Fe menurun hingga hari ke-60 untuk semua komposisi. Variasi A mengalami penurunan sebanyak 7865,30 mg/kg. Variasi B mengalami penurunan sebanyak 6507,2 mg/kg. Variasi C mengalami penurunan sebesar 5727,75 mg/kg dan variasi D mengalami penurunan sebanyak 3884,3 mg/kg
3. Variasi A (100% tanah :100% kompos (5%ranting + 75%sayur + 20%daun)) pada hari ke-60 merupakan komposisi dan waktu terbaik dalam penurunan logam berat Fe dengan removal sebesar 51,14%

4.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah:

1. Perlu adanya penelitian lanjutan dengan melakukan uji pendahuluan terhadap C/N rasio bahan organik yang akan digunakan dalam pembuatan kompos
2. Perlu dilakukan pengujian terhadap kualitas kompos sebelum pengaplikasiannya pada tanah

3. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang bioremediasi *in-vessel composting* dalam menurunkan logam berat Fe dengan memperhatikan kualitas kompos dan komposisi serta dengan bahan organik yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

Anindita, F. (2012). Pengomposan Dengan menggunakan Metode In Vessel System untuk Sampah UPS Kota Depok. *Tugas Akhir*, 1-90.

Ariyanti, M. S. (2019). Penentuan Rasio Bahan organik Optimum Terhadap Kinerja Compost Solid Phase Microbial Fuel Cells (CSMFCs). *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16-23.

Edwin, T. M. (2019). Bioremediasi dengan Metode Komposting untuk Biodegradasi Pestisida Pada Tanah. *ACE Conference 6th Padang, Sumatra Barat*, 1009-1017.

Hamzah, A. P. (2019). *Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat.* UNITRI Press.

Hermawansyah, D. (2017). Analisis Parameter Fisik Kompos Menggunakan Metode Vermikomposting pada Sampah Daun Kering. *Tugas Akhir*.

Laily, N. (2019). Uji Kualitas-Kuantitas Hasil Pengomposan Reaktor Aerob Termodifikasi Dari Sampah Sayur Dan Sisa Makanan. *Tugas Akhir*.

Marlina, E. K. (2017). Penyusutan dan Penurunan Nisbah C/N pada Vermicomposting Campuran Feses Sapi Perah dan Jerami Padi Menggunakan Eisenia fetida. *Jurnal Ilmu Ternak*, 114-119.

Mizwar, A. S. (2016). Bioremediation Of Soil Contamined With Native Polycyclic Aromatic Hydrocarbons From Unburnt Coal Using An Invessel Composting Method. *Bioremediation Journal*, 98-107.

Najmina, D. (2019). Penurunan Nilai Besi (Fe) pada Tanah Bekas Tambang Intan di Cempaka dengan Metode Composting Berbahan Dasar Sampah Organik Pasar. *Tugas Akhir*.

Rahmadayani, E. K. (2018). Pemanfaatan Lumpur Wastewater Treatment Plant dan Abu Boiler Industri Refinery dan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit dengan Sistem In Vessel Composting. *Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 49-64.

Rahmawati. (2019). Penyisihan Logam Timbal (Pb) dan Seng (Zn) pada Lumpur WWTP dan Abu Boiler Industri Refinery dan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit dengan Composting. *Tugas Akhir*.

Sandi., H. R. (2020). Sistem Kendali dan Monitoring Kelembapan, Suhu, dan pH pada Proses Dekomposisi Pupuk Kompos dengan Logika Fuzzy. *Telekontran*, 154-164.

Siagian, S. Y. (2021). Analisis Suhu, pH dan Kuantitas Kompos Hasil Pengomposan Reaktor Aerob Termodifikasi Dari Sampah Sisa Makanan Dan Sampah Buah. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 166-176.

Sipi, S. S. (2016). Penyakit Tungro dan Keracunan Fe Pada Tanaman Padi. *Buletin Agro-Infotek*, 13-18.

Spain. (2003). Implications of Microbial Heavy Metal Tolerance in the Environment. *Review in Undergraduate Research*, 1-6.

Sukarjo., H. C. (2017). Pengaruh Kandungan Besi Total dan Tembaga Total dalam Tanah dan Beras Terhadap Produktivitas Padi di Kabupaten Kediri. *Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek II*, 28-35.

Wulan, S. A. (2020). Studi Fitoremediasi Serapan Besi (Fe) dari Kolam Bekas Tambang Bauksit Menggunakan Purun (Eleocharis sp). *Limnotek Perairan Darat Tropis di Indonesia*, 67-78.