

## **Peningkatan kualitas tanah melalui formulasi sludge industri, arang sekam, dan kompos**

### ***Soil quality improvement through industrial sludge, rice husk charcoal and compost formulations***

**Indri Hapsari Fitriyani\*, Fahrizal Hazra, Shobrina Muthmainnah Nurdifa**

Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University  
Jl. Raya Darmaga Kampus IPB, Babakan, Kec. Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16680,  
Indonesia

\*Corresponding author: [ihapsari@apps.ipb.ac.id](mailto:ihapsari@apps.ipb.ac.id)

#### **ABSTRACT**

Industrial wastewater sludge is rich in organic matter and nutrients and has the potential to be used as a amendments despite its high moisture content (91,87%). Rice husk charcoal can address moisture and heavy metal content to achieve quality standards. This study aims to determine the optimal combination of each material and to investigate the correlation between chemical and biological properties. Incubation of the growing medium (sludge, rice husk charcoal, compost) was conducted using seven different material combinations with a completely randomized design. Soil chemical analysis (pH, organic carbon, N, P, K, KTK) and soil biological analysis (total microbes and fungi) were conducted after one month of incubation. The results showed that MSG sludge is nutrient-rich (organic carbon 46.63%, N 7.30%) but Fe (27,836 ppm) and Pb (54 ppm) exceed the limits. Treatment P1 (100% sludge, 75% rice husk charcoal, and 50% compost) had the highest total microorganisms and fungi ( $0.75 \times 10^5$  CFU/g and  $0.88 \times 10^5$  CFU/g), as well as the highest pH, organic carbon, N, P, K, and KTK. Fe increased while Pb decreased. Treatment P1 was the best combination and met the quality standards for soil conditioners. Microbes and fungi were positively correlated with pH. KTK was positively correlated with pH and organic carbon. An increase in pH had the highest positive correlation with the growth of microbes and fungi.

**Keywords:** : amendments, compost, husk charcoal, organic matter, sludge

#### **PENDAHULUAN**

Laju pertumbuhan industri yang meningkat memberi pengaruh terhadap pencemaran lingkungan. Limbah atau sisa pengolahan bahan baku dalam industri dikategorikan sebagai produk yang tidak memiliki nilai manfaat bagi perusahaan. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menyebutkan sebanyak 59% sungai di Indonesia masih dalam kondisi tercemar. Industri menghasilkan jenis limbah yang bervariasi termasuk jenis limbah cair, padat maupun gas. Persentase limbah cair industri yang diolah secara aman baru mencapai 77% pada tahun 2022 (BPS 2022). Hal ini menunjukkan pentingnya pengolahan limbah bagi suatu perusahaan industri. Pengolahan limbah dapat mencegah adanya akumulasi limbah berbahaya yang berpotensi mencemari lingkungan.

Salah satu proses pengolahan limbah cair dilakukan dengan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). IPAL menggabungkan teknologi elektrokoagulasi dengan filtrasi atau filter karbon (Arifudin *et al.* 2019). Limbah cair industri diolah untuk mengurangi konsentrasi COD

(*Chemistry Oxygen Demand*) dan menghilangkan warna. Hasil produk sampingan dari proses IPAL yaitu lumpur atau *sludge* mengandung bahan organik cukup tinggi. Menurut penelitian Sulthan dan Slamet (2022) *sludge* memiliki kandungan unsur hara seperti C-organik (5,52%), C/N (30,81), N-total (0,18%), P-total (0,07%), K-total (0,06%) serta pH (6,1). *Sludge* atau limbah lumpur hasil IPAL juga memiliki kadar air 91,87% pada penelitian Utami (2016). Kandungan unsur hara yang tinggi dalam limbah lumpur industri dapat menjadi produk yang bermanfaat salah satunya menjadi amelioran.

Kandungan air yang cukup tinggi pada *sludge* membuatnya tidak dapat menjadi bahan satu-satunya untuk menjadi amelioran atau pembenah tanah. Salah satu bahan yang dapat mengatasi persoalan kandungan air yang tinggi yaitu arang sekam. Bahan ini memiliki kemampuan menahan air dalam kapasitas yang cukup di dalam tanah (Nurmalasari *et al.* 2021). Bahan organik sulit lapuk seperti sekam padi mengandung karbon yang tinggi, bila diproses dengan teknik pirolisis dapat dimanfaatkan sebagai pembenah tanah atau biochar yang meningkatkan kemampuan tanah menahan air (Mahardhika *et al.* 2023). Perlu diperhatikan juga bahwa *sludge* memiliki kandungan bahan lain yaitu logam berat dalam jumlah sedikit. Penelitian Sasmita *et al.* (2021) menyatakan bahwa biochar dari sekam padi dapat membantu mengurangi kadar logam berat dengan menyerap ion logam. Kandungan logam berat harus menyesuaikan syarat produk pembenah tanah yang ada dalam Keputusan Menteri Pertanian Republik Indonesia Nomor 261/KPTS/SR.310/M/4/2019. Tanah latosol memiliki karakteristik tersendiri sesuai spesifik lokasi yaitu Dramaga. Jenis tanah ini telah mengalami pencucian dan pelapukan lanjut dengan kondisi pH masam dan C-organik tergolong rendah (Suminar *et al.* 2017). Penelitian ini melihat hasil analisis kualitas tanah serta hubungan antara sifat kimia dan biologi dari hasil uji tersebut. Hasil ini diharapkan menjadi acuan dalam memanfaatkan limbah *sludge* sebagai bahan pembenah tanah yang meningkatkan kualitas tanah.

## **MATERI DAN METODE**

### **Waktu dan lokasi penelitian**

Penelitian dilakukan pada bulan September 2024 hingga Februari 2025. Lokasi penelitian untuk di rumah kaca Kebun Percobaan Cikabayan IPB University. Analisis sifat tanah dilakukan di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB University.

### **Metode Pelaksanaan dan Prosedur Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan asumsi kondisi lingkungan homogen di dalam rumah kaca. Tujuh perlakuan inkubasi diterapkan, termasuk satu kontrol dan enam kombinasi media tanam dari *sludge*, arang sekam, dan kompos yang dicampur dengan tanah Latosol Dramaga. Dosis masing-masing bahan ditentukan berdasarkan rekomendasi dosis per hektar yang dikonversi ke dalam volume pot. *Sludge* menggunakan dosis 10 ton/ha, arang sekam 5 ton/ha, dan kompos 10 ton/ha, dengan proporsi campuran yang berbeda pada setiap perlakuan (Simanihuruk *et al.* 2020, Indriyanti *et al.* 2022). Kombinasi tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

Inkubasi bahan amelioran dilaksanakan selama 30 hari dengan pemantauan harian terhadap suhu dan kelembaban. Setelah masa inkubasi, sampel tanah dianalisis untuk berbagai parameter biologi dan kimia. Analisis biologi mencakup populasi mikrob total dan fungi total menggunakan metode *Total Plate Count* (TPC). Sementara itu, analisis kimia meliputi pH (elektrometri), C-organik (Walkley and Black), N-total (Kjeldahl), P-total dan K-total (ekstraksi HCl 25%), serta KTK (NH<sub>4</sub>OAc). Analisis logam berat seperti Fe, Zn, Pb, Ni, dan Cr juga dilakukan menggunakan metode HNO<sub>3</sub>+HClO<sub>4</sub> (AAS).

### Analisis Data

Analisis data yang dilakukan yaitu uji sidik ragam ANOVA, uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) serta uji korelasi pearson untuk melihat hubungan antara parameter-parameter kimia dan biologi. Hubungan antar parameter dilihat pada tingkat signifikansi hasil korelasinya serta dilihat hubungan positif dan negatif antara parameter kimia dan biologi (Soesana et al. 2023).

Tabel 1. Kombinasi bahan amelioran sludge, arang sekam, kompos dan komposisi tanah latosol Dramaga

| No | Kode perlakuan | Sludge       | Arang Sekam | Kompos | Tanah   |
|----|----------------|--------------|-------------|--------|---------|
|    |                | Perbandingan |             |        | g/pot   |
| 1  | Kontrol        | 0            | 0           | 0      | 1589,63 |
| 2  | P1             | 100%         | 75%         | 30%    | 1589,63 |
| 3  | P2             | 75%          | 75%         | 30%    | 1589,63 |
| 4  | P3             | 50%          | 75%         | 30%    | 1589,63 |
| 5  | P4             | 100%         | 50%         | 30%    | 1589,63 |
| 6  | P5             | 75%          | 50%         | 30%    | 1589,63 |
| 7  | P6             | 50%          | 50%         | 30%    | 1589,63 |

Keterangan:

Kebutuhan tanah per pot dihasilkan dari volume pot dengan tinggi 5 cm

Kontrol (tanpa pemberian bahan)

P1 (sludge 100% + arang sekam 75% + kompos 30%)

P2 (sludge 75% + arang sekam 75% + kompos 30%)

P3 (sludge 50% + arang sekam 75% + kompos 30%)

P4 (sludge 100% + arang sekam 50% + kompos 30%)

P5 (sludge 75% + arang sekam 50% + kompos 30%)

P6 (sludge 50% + arang sekam 50% + kompos 30%)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Tanah Sebelum Inkubasi

Tanah Latosol di wilayah Dramaga sebelumnya telah dianalisis oleh Suminar et al. (2017) untuk beberapa parameter seperti pH, C-organik, serta unsur hara lainnya. Analisis tanah latosol di daerah Dramaga pada penelitian tersebut berada pada lahan Cikarawang. Tanah latosol memiliki tingkat pH masam (5,50), C-organik rendah (1,99%), N sedang (0,24%), KTK rendah (11,35),  $P_2O_5$  sangat tinggi (18,20 ppm) dan K rendah (0,20 me/100g).

Hasil analisis awal latosol Kebun Pendidikan Cikabayan IPB disajikan pada Tabel 2. Kadar air yang dimiliki tanah sebesar 7,80%. Tanah latosol Dramaga tergolong masam dengan nilai pH 4.72 dan kadar C-organik 1,20% rendah. Kadar nitrogen total sebesar 0,17% yang tergolong rendah, P-total 76,29 mg/100 g tergolong sangat tinggi dan K-total 17,72 mg/100 g yang tergolong rendah. Nilai Fe-total tanah latosol cukup tinggi yakni sebesar 67854 ppm hal ini dikarenakan kondisi pH tanah yang rendah (Fajrina et al. 2019). Kandungan Fe yang tinggi pada tanah awal latosol dapat dihubungkan dengan kondisi umum Fe sebagai bentuk mineral penyusun tanah pada lahan kering wilayah tropika basah (Nurnikmat et al. 2020). Kadar Zn tinggi namun dalam batas normal serta kandungan logam berat Pb dan Ni yang termasuk normal berada dalam tanah latosol yang sering dijumpai pada daerah tropis dan memiliki curah hujan yang tinggi. Kadar Zn-total tanah awal sebesar 152 ppm, Cr-total tidak terukur, dan Ni-total sebesar 6,40 ppm. Kadar unsur Zn dan Ni masih masuk dalam batas normal di dalam tanah.

Tabel 2. Analisis awal tanah latosol Dramaga pada beberapa parameter kimia

| Parameter    | Satuan     | Hasil analisis |
|--------------|------------|----------------|
| Kadar Air    | %          | 7,80           |
| pH           | -          | 4,72 (m)       |
| C-Organik    | %          | 1,20 (r)       |
| N-total      | %          | 0,17 (r)       |
| P-total      | mg/100 g   | 76,29 (st)     |
| K-total      | mg/100 g   | 17,72 (r)      |
| KTK          | cmol(+)/kg | 6,12 (r)       |
| Besi (Fe)    | ppm        | 67854          |
| Seng (Zn)    | ppm        | 152            |
| Timbal (Pb)  | ppm        | 33,1 (n)       |
| Kromium (Cr) | ppm        | t.u.           |
| Nikel (Ni)   | ppm        | 6,40 (n)       |

Keterangan: Kode dalam tanda kurung merupakan kriteria penelitian hasil analisis tanah berdasarkan BBPSI SLP (2023); m: masam, r: rendah, s: sedang, st: sangat tinggi, n: batas normal, t.u.: tidak terukur.

#### Karakteristik Bahan Pembenh Tanah

Sludge yang berasal dari industri bumbu masak dan penyedap masakan memiliki karakteristik kimia yang beragam. Penelitian sebelumnya, Utami (2016) menyebutkan bahwa limbah cair khususnya dari industri serupa mengandung bahan organik 8-12%, kandungan nitrogen 2-7%, serta mengandung unsur ikutan Ca, Mg, K, P dan S yang sangat dibutuhkan tanaman. Sludge tersebut masih mengandung logam berat dalam jumlah sedikit serta tingkat kemasaman mendekati netral. Kondisi tersebut menjadikan bahan sludge berpotensi untuk dimanfaatkan bagi tanah dan tanaman.

Tabel 3. Analisis awal bahan sludge limbah industri bumbu masak pada berbagai parameter kimia

| Parameter    | Satuan   | Hasil analisis |
|--------------|----------|----------------|
| Kadar Air    | %        | 92,5           |
| pH           | -        | 5,49 (am)      |
| C-Organik    | %        | 46,63 (st)     |
| N-total      | %        | 7,30 (st)      |
| P-total      | mg/100 g | 3520 (st)      |
| K-total      | mg/100 g | 240 (st)       |
| Besi (Fe)    | ppm      | 27836          |
| Seng (Zn)    | ppm      | 2707           |
| Timbal (Pb)  | ppm      | 54 (n)         |
| Kromium (Cr) | ppm      | 129 (n)        |
| Nikel (Ni)   | ppm      | 39 (n)         |

Keterangan: Kode dalam tanda kurung merupakan kriteria penelitian hasil analisis tanah berdasarkan BBPSI SLP (2023); am: agak masam, st: sangat tinggi, n: batas normal (BBPSI SLP 2023)

Sludge yang digunakan merupakan hasil limbah pabrik industri bumbu masak. Beberapa hasil analisis bahan sludge pada Tabel 3 merupakan syarat produk pembenh tanah dalam

Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261/KPTS/SR.310/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah tanah. Tabel 3 menunjukkan kandungan C-organik bahan sludge sangat tinggi serta kondisi pH agak masam. Kandungan nitrogen tergolong sangat tinggi 7,30% dimana penelitian sebelumnya menunjukkan hasil sekitar 4,92-6,12% (Utami 2016). Kandungan lain yaitu fosfor dan kalium tergolong tinggi yaitu 3,52% dan 0,24%. Kadar tersebut lebih tinggi dibandingkan hasil P-total dan K sludge pada penelitian Cahyaningroho dan Hidayah (2023) yaitu 0.07% dan 0.06%. Logam berat dan unsur mikro yang ada dalam sludge berada pada batas normal dan sesuai standar pada Permentan. Kandungan Pb dan Fe melebihi standar mutu yaitu Fe semestinya maksimal 9.000 ppm dan Pb maksimal 50 ppm.

Sludge memiliki kadar air yang tinggi yaitu 92,5% serta kadar Fe dan Pb yang melebihi maksimum syarat mutu. Hal ini perlu diatasi dengan pemberian bahan lain. Arang sekam menjadi campuran media tanam yang banyak digunakan karena kemampuannya dalam menahan air atau cadangan air yang cukup dibandingkan dengan menggunakan pasir. Selain itu, berdasarkan penelitian Juliana *et al.* (2015) arang sekam dapat menurunkan kadar Pb dalam tanah. Arang sekam memiliki kandungan unsur hara seperti C-organik (3,97%) dan N-total (0,35%) (Yosephine *et al.* 2020). Unsur hara lain yang terkandung dalam arang sekam padi yaitu SiO<sub>2</sub> (52%), K (0,3%), P (0,08%) dan Ca (0,14%) (Musdi *et al.* 2021). Bahan lain yang menjadi campuran yaitu kompos dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Kompos yang baik sesuai dengan SNI 19-7030-2004 memiliki kandungan karbon (C) minimal 9,8%, kandungan fosfor (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) sebesar 0,1%, kalium (K<sub>2</sub>O) sebesar 0,2% dan rasio C/N sebesar 10 (Bachtiar dan Ahmad 2019).

#### Karakteristik Biologi Tanah Setelah Inkubasi

Penambahan sludge dan kompos pada tiap perlakuan kecuali kontrol (tanpa pemberian bahan) dapat meningkatkan populasi total mikrob dan fungi karena kandungan bahan organik pada sludge yang sudah tinggi dapat dilihat pada Tabel 4. Penelitian Lestari *et al.* (2017) menunjukkan penambahan kompos pada lubang resapan biopori meningkatkan total mikrob tanah karena ketersediaan sumber energi dan makanan yang tinggi dan total fungi yang dikarenakan karakteristiknya yang dapat tumbuh pada berbagai kondisi tanah. Aktivitas dan populasi mikrob dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas kandungan bahan organik tanah, pH, ketersediaan oksigen, temperatur, kelembaban, pupuk anorganik dan adanya zat penghambat (Ohiwal *et al.* 2017).

Tabel 4. Analisis sifat biologi tanah total mikrob dan total fungi setelah masa inkubasi selama 30 hari

| Perlakuan         | Parameter                |             |
|-------------------|--------------------------|-------------|
|                   | Total Mikrob             | Total Fungi |
|                   | (x10 <sup>5</sup> CFU/g) |             |
| Kontrol           | 0,22 c                   | 0,27 b      |
| P1 (S100-A75-K30) | 0,75 a                   | 0,88 a      |
| P2 (S75-A75-K30)  | 0,40 b                   | 0,34 b      |
| P3 (S50-A75-K30)  | 0,30 c                   | 0,21 b      |
| P4 (S100-A50-K30) | 0,25 bc                  | 0,47 b      |
| P5 (S75-A50-K30)  | 0,31 bc                  | 0,17 b      |
| P6 (S50-A50-K30)  | 0,35 bc                  | 0,29 b      |

Keterangan: S: sludge. A: arang sekam, K: kompos. Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda nyata berdasarkan hasil uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

Hasil analisis penetapan populasi mikrob dan fungi disajikan pada Tabel 4. Total populasi mikrob pada perlakuan P1 (sludge 100%, arang sekam 75% dan kompos 30%) yang diikuti huruf a menunjukkan peningkatan jumlah total mikrob tertinggi dibandingkan kontrol dan perlakuan lainnya yaitu sebesar  $0,75 \times 10^5$  CFU/g tanah. Perlakuan P2 secara signifikan lebih tinggi dari kontrol sedangkan perlakuan lain menunjukkan jumlah mikroba yang tidak berbeda secara statistik dari kontrol. Sedangkan untuk populasi fungi menghasilkan nilai berkisar  $0,17-0,88 \times 10^5$  CFU/g tanah. Hasil tertinggi secara signifikan ada pada perlakuan P1  $0,88 \times 10^5$  CFU/g tanah. Perlakuan P1 lebih tinggi dibandingkan kontrol dengan total fungi sebesar  $0,27 \times 10^5$  CFU/g tanah. Perlakuan lain (P2, P3, P4, P5, P6) menunjukkan total fungi yang tidak berbeda secara statistik dari kontrol.

Perlakuan P1 secara statistik meningkatkan sifat biologi yaitu total mikrob dan fungi, hal tersebut karena kandungan sludge yang tinggi menyediakan sumber nutrisi bagi mikrob dan fungi. Fungi sendiri yang merupakan mikroorganisme heterotrof membutuhkan substrat sebagai makanan (Kusbianto *et al.* 2023). Populasi mikroorganisme sangat ditentukan oleh keberadaan nutrisi, air, karbon, nitrogen dan oksigen (Sunarti *et al.* 2014). Sludge memiliki semua kandungan tersebut dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga memberikan lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan populasi mikrob dan fungi.

### Karakteristik Kimia Tanah Setelah Inkubasi

Beberapa sifat kimia tanah yang dianalisis merupakan syarat mutu pembenah tanah organik yang perlu disesuaikan. Namun, beberapa parameter lain yang tidak termasuk dalam persyaratan dapat menggambarkan pengaruh pemberian sludge, arang sekam, dan kompos dalam meningkatkan kualitas tanah. Kandungan hara dan nutrisi dalam sludge dapat meningkatkan kualitas tanah ditambah bahan arang sekam dan kompos yang umum digunakan sebagai bahan amelioran. Pemberian limbah sludge dapat meningkatkan parameter kimia seperti pH tanah, C-organik, P-tersedia (Pandapotan *et al.* 2017).

Tabel 5. Analisis sifat kimia tanah setelah masa inkubasi selama 30 hari

| Perlakuan | Parameter  |             |              |              |              |             |
|-----------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|           | pH         | C-Org       | N-total      | P-total      | K-total      | KTK         |
|           | -          | %           |              | mg/100g      | mg/100g      | cmol(+)/kg  |
| Kontrol   | 4,64 b (m) | 1,13 d (r)  | 0,14 c (r)   | 76,24 a (st) | 18,84 a (t)  | 6,99 c (r)  |
| P1        | 6,02 a (m) | 2,15 a (s)  | 0,20 a (r)   | 77,71 a (st) | 20,69 a (st) | 10,31 a (r) |
| P2        | 5,09 b (m) | 1,91 ab (r) | 0,17 ab (r)  | 76,53 a (st) | 19,94 a (t)  | 8,40 bc (r) |
| P3        | 5,18 b (m) | 2,03 a (s)  | 0,18 abc (r) | 83,01 a (st) | 20,10 a (st) | 9,82 ab (r) |
| P4        | 5,13 b (m) | 2,03 a (s)  | 0,19 ab (r)  | 77,12 a (st) | 20,67 a (st) | 8,03 bc (r) |
| P5        | 5,23 b (m) | 1,62 bc (r) | 0,16 cd (r)  | 78,59 a (st) | 20,75 a (st) | 9,36 ab (r) |
| P6        | 4,69 b (m) | 1,37 cd (r) | 0,18 ab (r)  | 76,53 a (st) | 20,74 a (st) | 7,30 c (r)  |

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda nyata berdasarkan hasil uji lanjut Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ). Kode dalam tanda kurung merupakan kriteria penelitian hasil analisis tanah berdasarkan BBPSI SLP (2023); m: masam, r: rendah, s: sedang, t: tinggi, st: sangat tinggi (BBPSI SLP 2023).

Sifat kimia hasil inkubasi dapat dilihat pada Tabel 5. Tingkat kemasaman tanah setelah inkubasi meningkat signifikan pada perlakuan P1 karena karakteristik awal sludge yang sudah memiliki pH 5,49. Kadar C-organik meningkat paling tinggi pada P1 dengan kenaikan sebesar 1,02% dari kontrol namun diikuti huruf yang sama pada analisis statistik. N-total sludge awal yang menunjukkan angka sebesar 7,30% dapat meningkatkan kadar N-total pada tanah. Perlakuan P1 memiliki nilai N-total tertinggi dibandingkan kontrol dan perlakuan P5. Peningkatan ini hasil sumbangan sumber nitrogen dari sludge dan kompos. Perlakuan P1

secara signifikan meningkatkan KTK tanah. Nilai KTK pada perlakuan P1 sebesar 10,31 cmol(+)/kg. KTK yang merupakan jumlah total kation-kation dapat tukar yang dapat diserap oleh tanah. Bahan organik memiliki daya jerap yang tinggi sehingga dapat meningkatkan KTK tanah (Safitri *et al.* 2023).

Hasil parameter P-total dan K-total memiliki huruf yang sama pada hasil uji DMRT. Semua perlakuan termasuk kontrol menunjukkan nilai P-total yang tidak berbeda secara statistik. Bahan amelioran sludge, arang sekam, dan kompos tidak meningkatkan kandungan P-total secara signifikan. Hasil P-total tertinggi perlakuan P3 sebesar 83,01 mg/100g, sedangkan P1 sebesar 77,71 mg/100g masih lebih tinggi dibandingkan kontrol. Hasil K-total tidak memiliki perbedaan yang signifikan secara statistik sama dengan P-total. Perlakuan P5 memiliki nilai K-total 20,75 mg/100g tertinggi dibandingkan perlakuan lain dan kontrol, P1 memiliki hasil sebesar 20,69 mg/100g meningkat dibandingkan hasil kontrol. Kadar awal P dan K sudah cukup tinggi sehingga penambahan tidak menimbulkan perbedaan yang terdeteksi secara statistik. Bentuk P dan K dalam bahan organik ini tidak langsung tersedia atau metode pengujian hanya mengukur P dan K total, bukan P dan K tersedia.

Bahan sludge dan kompos meningkatkan kadar C-organik, N-total, serta pH karena kandungan awal bahan tersebut yang kaya bahan organik serta sumber nitrogen yang tinggi. Hal tersebut dapat dilihat pada data P1 yang memiliki peningkatan tinggi karena menambahkan sludge sebanyak 100% dan kompos 30%. Kapasitas tukar kation sangat didukung oleh kondisi pH dan kadar bahan organik, pH rendah membuat muatan permanen liat dan sebagian muatan koloid organik memegang ion yang dapat digantikan melalui pertukaran kation (Suryani 2014). Penambahan arang sekam dapat meningkatkan salah satunya KTK karena memiliki kepadatan muatan yang tinggi dalam satuan luas permukaannya. Luas permukaan yang lebih tinggi pada arang sekam menjadi tempat adsorpsi kation. Terbentuknya gugus karboksil dapat meningkatkan KTK, hal ini akibat oksidasi permukaan partikel arang sekam itu sendiri atau adsorpsi bahan organik yang sangat teroksidasi pada permukaan arang sekam (Liang *et al.* 2006). Hal tersebut menjelaskan hasil KTK yang tinggi pada perlakuan P1, P2 dan P3 dengan komposisi arang sekam 75% dibandingkan P4, P5 dan P6 dengan komposisi arang sekam 50%.

### Kandungan Logam Berat dan Unsur Mikro

Kandungan logam berat dan beberapa unsur mikro dianalisis untuk melihat kesesuaian kadarnya dalam tanah setelah inkubasi. Syarat mutu pembenah tanah organik mencakup parameter logam berat Pb dan unsur mikro Fe serta Zn yang perlu disesuaikan kembali dengan penambahan arang sekam dan kompos. Kandungan logam berat Pb yang masih tinggi dalam bahan Sludge dapat diatasi dengan adanya arang sekam dan bahan organik yang tinggi.

Tabel 6. Analisis logam berat dan unsur mikro setelah masa inkubasi selama 30 hari

| Perlakuan | Parameter |        |           |          |      |
|-----------|-----------|--------|-----------|----------|------|
|           | Fe        | Zn     | Pb        | Ni       | Cr   |
|           | ppm       |        |           |          |      |
| Kontrol   | 63472,52  | 146,47 | 34,29 (n) | 6,43 (n) | t.u. |
| P1        | 68628,01  | 135,04 | 35,66 (n) | 5,91 (n) | 0,96 |
| P2        | 69715,81  | 135,79 | 31,89 (n) | 6,52 (n) | 1,72 |
| P3        | 64346,62  | 134,61 | 30,52 (n) | 6,05 (n) | t.u. |
| P4        | 71077,65  | 145,52 | 33,59 (n) | 7,06 (n) | 2,30 |
| P5        | 71787,49  | 170,90 | 33,71 (n) | 6,37 (n) | 1,71 |
| P6        | 70347,07  | 162,68 | 29,82 (n) | 6,81 (n) | 0,58 |

Keterangan: t.u.: tidak terukur, n: batas normal (BBPSI SLP 2023)

Tabel 6 menyajikan data logam berat dan unsur mikro tanah hasil inkubasi tiap perlakuan. Kadar total unsur Fe dan Zn pada tanah awal sudah menunjukkan angka yang cukup tinggi. Hal tersebut mungkin terjadi karena tanah latosol yang berada pada kawasan iklim tropika basah, sudah mengalami proses pelapukan dan pembentukan tanah serta pencucian basa yang sudah berlangsung lama. Pencucian basa menghasilkan tanah yang miskin hara dan memiliki banyak fraksi salah satunya Fe oksida (Fajrina *et al.* 2019). Unsur Fe meningkat paling tinggi dari kontrol pada P5 sebesar 8315 ppm. Perlakuan P1 mengalami kenaikan kadar Fe sebesar 5156 ppm. Unsur mikro Zn pada sludge tidak secara merata meningkatkan kandungan Zn tiap perlakuan namun paling tinggi meningkatkan Zn sebesar 24,43 ppm pada P5. Peningkatan kadar Fe dan Zn tidak mencapai setengah dari kadarnya dalam bahan sludge. Perlu diperhatikan juga bahwa tingkat Fe dan Zn sudah tinggi dalam tanah yang digunakan. Unsur Fe dalam tanah Fe dalam tanah akan larut pada pH 3 (Gelyaman 2018). Ketersediaan unsur hara mikro Fe dan Zn sangat dipengaruhi oleh pH, dimana pH tinggi maka unsur mikro seperti Fe dan Zn akan menurun (Gultom 2024). Hal ini karena terdapat interaksi besi dengan fosfor pada tanah seperti bentuk P anorganik menjadikan kelarutannya sangat rendah pada pH yang masam (Anwar dan Sudadi 2013). Selain itu, Kelarutan Al dan Fe dalam tanah dapat terjadi karena faktor jenis dan komposisi mineral serta keberadaan kation-kation basa sebagai pengimbangnya.

Kandungan logam berat cenderung mengalami peningkatan pada Ni dan Cr sedangkan Pb cenderung menurun. Kadar ketiga logam berat pada tiap perlakuan berada pada batas normal dan tidak melebihi syarat maksimum uji mutu pembenah tanah. Andhika dan Effendi (2018) menunjukkan peningkatan kadar logam berat Pb, Ni dan Cr pada penelitiannya, namun tetap dibawah syarat maksimum untuk uji mutu pembenah tanah. Adsorpsi Pb oleh media arang sekam padi karena adanya jaringan selulosa yang mengikat ion logam berat (Riskirana *et al.* 2014). Sasmita *et al.* (2021) menjelaskan biochar sekam padi mempunyai kemampuan membuat logam berat menjadi tidak aktif. Mekanisme penyerapan logam pada arang sekam terjadi melalui kompleksasi dengan gugus fungsional, pertukaran kation, dan presipitasi (Li *et al.* 2017). Penelitian Chen *et al.* (2019) menunjukkan kompleksasi ion logam berat Pb dengan gugus karboksilat. Atom hidrogen pada gugus fungsional karboksil -COOH mengalami deprotonasi dan terbentuklah kompleks dengan ion logam. Logam Pb memiliki karakteristik konstanta elektronegativitas terbesar dan jari-jari ion terhidrasi kecil membuat  $Pb^+$  mudah diserap pada gugus fungsional (Sasmita *et al.* 2021).

### **Analisis Korelasi Sifat Kimia dan Biologi**

Dilakukan uji korelasi untuk melihat hubungan antara sifat biologi dan sifat kimia dari hasil inkubasi beberapa kombinasi perlakuan. Tabel 7 menunjukkan sifat biologi yaitu populasi mikrob dan fungi yang berkorelasi positif dengan parameter pH. Penelitian Fitriyani *et al.* (2023) menunjukkan bahwa korelasi positif ini sejalan karena kondisi utama suatu lingkungan untuk menunjang aktivitas biologi dalam tanah yang penting ialah pH atau tingkat kemasaman. Berdasarkan hasil pH pada Tabel 7 ditunjukkan hasil pH yang meningkat dari 4,64 hingga 5,02 sehingga meningkatkan total mikrob dan fungi. Nilai 0,85 pada mikrob termasuk pada validitas yang sangat baik dalam berkorelasi dengan pH, untuk fungi nilai korelasi sebesar 0,77 menunjukkan validitas yang tinggi atau baik (Soesana *et al.* 2023).

Parameter KTK berkorelasi positif dengan pH dengan nilai 0,88 dan juga C-organik sebesar 0,76 hal ini selaras dengan pernyataan Suryani (2014) bahwa pH dan bahan organik termasuk faktor yang sangat mempengaruhi besarnya KTK. Beberapa parameter lain seperti C-organik dengan N-total dan KTK juga memiliki korelasi positif. Kemasaman tanah yang rendah menyebabkan kelarutan Al dan Fe yang tinggi sehingga memiliki hubungan negatif

sesuai dengan hasil korelasi yaitu -0,73 (Rosmarkam dan Yuwono 2002). Tidak hanya Fe unsur logam lain memiliki hubungan negatif dengan pH karena pertukaran ion hidrogen dengan kation alkali tanah serta adanya fenomena pertukaran ion logam terlarut dengan ion logam alkali saat terjadi peningkatan pH (Nirtha dan Sari 2018).

Tabel 7. Korelasi sifat biologi dengan kimia tanah setelah inkubasi menggunakan uji pearson

| Parameter | pH          | C-org       | N     | P     | K     | KTK   | Mik   | Fun   | Fe   | Zn    | Pb    | Ni   | Cr |
|-----------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|----|
| pH        | 1           |             |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |    |
| C-org     | 0,78        | 1           |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |    |
| N-total   | 0,62        | 0,76        | 1     |       |       |       |       |       |      |       |       |      |    |
| P-total   | 0,25        | 0,43        | 0,11  | 1     |       |       |       |       |      |       |       |      |    |
| K-total   | 0,48        | 0,51        | 0,79  | 0,13  | 1     |       |       |       |      |       |       |      |    |
| KTK       | <b>0,88</b> | <b>0,76</b> | 0,47  | 0,65  | 0,45  | 1     |       |       |      |       |       |      |    |
| Mikrob    | <b>0,85</b> | 0,52        | 0,61  | -0,51 | 0,39  | 0,63  | 1     |       |      |       |       |      |    |
| Fungi     | <b>0,77</b> | 0,54        | 0,66  | -0,24 | 0,30  | 0,40  | 0,85  | 1     |      |       |       |      |    |
| Fe        | -0,73       | -0,73       | -0,65 | 0,10  | -0,28 | -0,40 | -0,57 | -0,87 | 1    |       |       |      |    |
| Zn        | -0,50       | -0,83       | -0,33 | -0,44 | -0,19 | 0,58  | -0,94 | -0,14 | 0,51 | 1     |       |      |    |
| Pb        | 0,40        | 0,32        | 0,38  | -0,09 | 0,45  | 0,40  | 0,60  | 0,21  | 0,02 | -0,14 | 1     |      |    |
| Ni        | -0,07       | -0,50       | -0,57 | 0,24  | -0,15 | 0,12  | -0,16 | -0,34 | 0,47 | 0,40  | -0,27 | 1    |    |
| Cr        | -0,34       | -0,32       | -0,32 | 0,41  | 0,17  | 0,88  | -0,35 | -0,76 | 0,84 | 0,19  | 0,26  | 0,50 | 1  |

## KESIMPULAN

Kombinasi bahan sludge, arang sekam dan kompos terbaik dari ketujuh perlakuan untuk menjadi pembenah tanah dapat disimpulkan yaitu campuran sludge 100%, arang sekam 75% dan kompos 30% atau dalam dosis rekomendasi sludge 15 ton/ha, arang sekam 3,5 ton/ha, dan kompos 4,5 ton/ha. Hasil sifat kimia dan biologi menunjukkan kondisi yang baik untuk menjadi pembenah tanah dilihat dari pemenuhan syarat uji mutu pembenah tanah. Sifat biologi yang berkorelasi dengan sifat kimia yaitu total mikrob dan fungi serta parameter KTK berkorelasi dengan tingkat pH. Peningkatan pH dari 4,72 menjadi 5,02 meningkatkan total populasi mikrob dan fungi.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa tidak ada benturan kepentingan dengan pihak manapun terkait materi yang dibahas dalam makalah, pendanaan, dan perbedaan pendapat antar para penulis.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian didanai oleh PT. Ajinomoto Indonesia Karawang Factory tahun 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik (BPS) Republik Indonesia. 2022. *Lingkungan*. Bps.go.id. (diakses pada tanggal 9 Juni 2025).
- [BBPSI] Badan Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. 2023. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, Dan Pupuk (Petunjuk Teknis Edisi 3)*. Bogor: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- [Kementan] Keputusan Menteri Pertanian Nomor 261 Tahun 2019 Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenah Tanah. 2019.

- Andhika S, Effendi AJ. 2018. Pemanfaatan hasil pengolahan sludge produced water industri lng sebagai fertiliser atau pembenah tanah. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 24(2): 92-101.
- Anwar S, Sudadi U. *Kimia Tanah*. 2013. Bogor: Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan.
- Arifudin, Setiyono, Priyanto FE, Sulistia S. 2019. Evaluasi instalasi pengolahan air limbah industri pengolahan makanan. *Jurnal Air Indonesia*. 11(1): 32-37.
- Bachtiar B, Ahmad AH. 2019. Analisis kandungan hara kompos johan cassia siamea dengan penambahan aktivator promi. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*. 4(1): 68-76.
- Cahyaningroho GR, Hidayah EN. 2023. Potensi pemanfaatan lumpur dari proses pengolahan air limbah industri. *Nusantara Hasana Journal*. 3(2): 22-26.
- Chen Z, Zhang J, Huang L, Yuan Z, Li Z, Liu M. 2019. Removal of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. *Journal of Integrative Agriculture*. 18(1): 201–210.
- Fajrina C, Arabia T, Sufardi. 2019. Distribusi Fe- dan Al-humus serta C organik tanah pada entisol dan inceptisol di lahan kering Jantho, Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*. 4(1): 664-676.
- Fitriyani IH, Widyastuti R, Yusuf SM, Wulandari AP. 2023. Analisis korelasi sifat biologi, kimia dan fisika tanah pada berbagai ketinggian tempat di Bandung, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*. 25(2): 64-70.
- Gelyaman GD. 2018. Faktor-faktor yang mempengaruhi bioavailabilitas besi bagi tumbuhan. *Jurnal Saintek Lahan Kering*. 1(1): 17-19.
- Gultom YL. 2024. Kajian ketersediaan unsur hara mikro (Fe, Cu, dan Zn) pada lahan sawah dengan perlakuan pengelolaan air dan bahan organik [skripsi]. Malang: Universitas Brawijaya
- Indriyanti S. Priyono, Bahri S. 2022. Pengaruh arang sekam dan dosis pupuk npk terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* L.). *Innofarm: Jurnal Inovasi Pertanian*. 24(1): 139-146.
- Juliana E, Sarifuddin, Jamilah. 2015. Pemberian zeolit dan arang sekam pada lahan sawah tercemar limbah pabrik terhadap pb tanah dan tanaman padi. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 3(2): 703-709.
- Kusbianto DE, Sitompul LY, Sari AP, Oetama BS. 2023. Total mikroba pada tanah yang dicemari sludge limbah pabrik kertas dengan perlakuan pupuk guano. *Jurnal Berkala Ilmiah Pertanian*. 6(2): 43-47.
- Lestari DS, Brata R, Widyastuti R. 2017. PENGARUH *Trichoderma* Sp. dan molase terhadap sifat biologi tanah di sekitar lubang resapan biopori pada latosol Darmaga. *Jurnal Buletin Tanah dan Lahan*. 1(1): 17-22.
- Li H, Dong X, Silva EB, de Oliveira LM, Chen Y, Ma LQ. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications. *Chemosphere*. 178(1): 466–478.
- Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Mbugua M, Pell A, Smernik RJ. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 70(5): 1719–1730.

- Mahardhika BEP, Suwardji, Fauzi, Sudarmawan. 2023. Variasi bahan baku biochar terhadap kualitas tanah dan produktivitas tanaman kedelai di lahan kering Lombok Utara. *AGROTEKSOS: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*. 33(3): 969-975.
- Musdi, Kurniawan H, Parlaongan. 2021. Pemanfaatan limbah padi menjadi arang sekam oleh petani lahan gambut. *Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*. 5(2): 277-281.
- Nirtha RI, Sari DP. 2018. Analisis nilai pH dan konsentrasi logam besi (Fe) pada media lahan basah buatan aliran horizontal bawah permukaan yang mengolah air saluran reklamasi. *Jurnal Enviro Scientiae*. 14(3): 200-210.
- Nurmalasari, AI, Supriyono, Budiastuti MTS, Nyoto S, Sulistyo TD. 2021. Pengomposan jerami padi untuk pupuk organik dan pembuatan arang sekam sebagai media tanam dalam demplot kedelai. *Jurnal PRIMA*. 5(2): 102-109.
- Nurnikmat TZ, Arabia T, Sufardi. 2020. Kandungan Fe, Al, dan Si bebas dan status kesuburan tanah pada Entisol dan Inceptisol di lahan kering Jantho, Kabupaten Aceh Besar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*. 4(2): 446-456.
- Ohiwal M, Widyastuti R, Sabiham S. 2017. Populasi mikrob fungsional pada rhizosfer kelapa sawit di lahan gambut Riau. *Jurnal Ilmu Tanah Lingkungan*. 19(2): 74-80.
- Pandapotan CD, Mukhlis, Marbun P. 2017. Pemanfaatan limbah lumpur padat (sludge) pabrik pengolahan kelapa sawit sebagai alternatif penyediaan unsur hara di tanah ultisol. *Jurnal Agroekoteknologi*. 5(2): 271-276.
- Riskirana R, Mulyati, Jubaidi. 2014. Efektifitas arang sekam padi dan ampas kelapa kering dalam menurunkan kadar timbal pada air sumur. *Jurnal Media Kesehatan*. 7(1): 1-99.
- Rosmarkam A, Yuwono NW. 2002. *Ilmu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Safitri FL, Susilowati LE, Sutriyono. 2023. Residual N-Total and P-available in the rizosphere of *Arachis hypogaea* l. at various soil moisture content fertilized by mushroom baglog compost. *Jurnal Biologi Tropis*. 23(4): 420-427.
- Sasmita A, Elystia S, Fajri SM. 2021. Penyisihan logam Berat Pb pada tanah dengan penambahan biochar sekam padi. *Jurnal Riset Teknologi Industri*. 15 (2): 268-278.
- Simanihuruk BW, Lumbantoruan YO, Gusmara. 2020. Takaran dosis lumpur sawit dan pupuk KCl terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung (*Zea mays* l) pada Ultisols di Bengkulu. *JIPi: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 22(2): 85-92.
- Soesana A, Subakti H, Karwanto, Fitri A, Kuswandi S, Sastri L, Falani I, Aswan N, Hasibuan FA, Lestari H. 2023. *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Yayasan Kita Menulis.
- Sulthan MQ, Slamet A. 2022. Evaluasi proses pengeringan lumpur pada unit sludge dewatering dengan media filter cloth di IPAL komunal telaga abadi Kabupaten Gresik. *Jurnal Teknik ITS*. 11(2): 61-65.
- Sunarti TC, Suprihatin, Lauda RD. 2014. Stabilisasi sludge dari instalasi pengolahan air limbah (IPAL) menggunakan starter bakteri indigenous pada aerobik sludge digester. *Jurnal Agroindustri Indonesia*. 3(1): 200-213.
- Suminar R, Suwanto, Purnamawati H. 2017. Pertumbuhan dan hasil sorgum di tanah latosol dengan aplikasi dosis pupuk nitrogen dan fosfor yang berbeda. *Jurnal Agron. Indonesia*. 45 (3): 271-277.

- Suryani I. 2014. Kapasitas tukar kation (ktk) berbagai kedalaman tanah pada areal konversi lahan hutan. *Jurnal Agrisistem*. 10(2): 99-106.
- Utami AR. 2016. Pemanfaatan sludge limbah industri MSG sebagai bahan baku pupuk organik. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*. 2(1): 53-57.
- Yosephine IO, Saklah, Siahaan EAL. 2020. Pemberian beberapa jenis biochar terhadap c-organik dan N-total pada pertumbuhan bibit kelapa sawit. *Agrosains: Jurnal Penelitian Agronomi*. 22(2): 79-82.