

# Kandungan Logam Berat pada Tanaman Kentang Dampak Implementasi Sistem LEISA

I Gusti Lani Triani<sup>1\*</sup>, Yohanes Setiyo<sup>2</sup>, Victor Manuntun Manurung<sup>3</sup>, Ketut Budi Susrusa<sup>4</sup>, I Putu Surya Wirawan<sup>2</sup>, I Nyoman Rai<sup>3</sup>, dan I Made Sugitha<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali, Indonesia. e-mail: [lanitriani@unud.ac.id](mailto:lanitriani@unud.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

<sup>4</sup>Program Studi Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

<sup>5</sup>Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

## ABSTRAK

Petani kentang di Bali sudah menerapkan sistem *Low External Input on Sustainable Agriculture* (LEISA) mempergunakan pupuk dasar kompos dan pupuk susulan biourine, namun mereka tetap menggunakan insektisida dan fungisida untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman. Penelitian mengkaji dampak budidaya sistem LEISA dan NONLEISA terhadap kandungan logam Fe, Pb, Cd, Cr di umbi kentang, serta menilai kandungan logam tersebut berdasarkan Standar Nasional Indonesia 2009. Penelitian menggunakan perlakuan: (1) pemupukan dasar menggunakan kompos dan pemupukan susulan menggunakan biourine (LEISAKU), (2) pemupukan dasar menggunakan kompos dan pemupukan susulan menggunakan NPK (LEISANPK), (3) pemupukan dasar menggunakan NPK dan pemupukan susulan menggunakan biourine (NPKLEISA), dan (4) pemupukan dasar menggunakan NPK dan pemupukan susulan menggunakan NPK (NONLEISA). Parameter diamati adalah populasi mikroba dan kandungan logam Fe, Pb, Cd, Cr. Populasi mikroba untuk sistem LEISA dan NONLEISA masing-masing 5,2-6,5 log cfu, dan 3,2-5,3 log cfu. Kandungan logam Fe, Pb, Cd, Cr pada umbi kentang untuk sistem LEISA berturut-turut 3,6- 5,4 ppm, 0,031-0,05 ppm, 0,04-0,05 ppm, dan 0,04-0,05 ppm, sedangkan untuk sistem NONLEISA berturut-turut 12,0-13,2 ppm, 0,07-0,09 ppm, 0,04-0,05 ppm, dan 0,03-0,04 ppm. Kandungan logam Fe, Pb, Cd, Cr sistem LEISA di bawah SNI, namun untuk sistem NONLEISA tidak memenuhi standar SNI.

**Kata kunci:** LEISA, logam, zone perakaran, kentang

## ABSTRACT

Potato farmers in Bali have implemented the Low External Input On Sustainable Agriculture (LEISA) system using compost base fertilizer and biourine supplementary fertilizer, but they still use insecticides and fungicides to control pests and plant diseases. The study examined the impact of LEISA and NONLEISA system cultivation on the content of Fe, Pb, Cd, Cr metals in potato tubers, and assessed the metal content based on the 2009 Indonesian National Standard. The study used the following treatments: (1) basic fertilization using compost and supplementary fertilization using biourine (LEISAKU), (2) basic fertilization using compost and supplementary fertilization using NPK (LEISANPK), (3) basic fertilization using NPK and supplementary fertilization using biourine (NPKLEISA) and (4) basic fertilization using NPK and supplementary fertilization using NPK (NONLEISA). Parameters observed were microbial population, and metal concentrations of Fe, Pb, Cd, Cr. Microbial populations for LEISA and NONLEISA systems were 5.2-6.5 log cfu, and 3.2-5.3 log cfu, respectively. The content of metals Fe, Pb, Cd, Cr in potato tubers for LEISA system was 3.6-5.4 ppm, 0.031-0.05 ppm, 0.03-0.04 ppm, and 0.04-0.05 ppm, respectively, while for NONLEISA system was 12.0-13.2 ppm, 0.07-0.09 ppm, 0.04-0.05 ppm, and 0.03-0.04 ppm, respectively. The metal content of Fe, Pb, Cd, Cr of the LEISA system is below SNI, but for the NONLEISA does not meet SNI.

**Keywords:** LEISA, metals, root zone, potato

**Citation:** Triani, I G. L., Setiyo, Y., Manurung, V. M., Susrusa, B., Wirawan, I P. S., Rai, I N., dan Sugitha, I M. (2024). Kandungan Logam Berat pada Tanaman Kentang Dampak Implementasi Sistem LEISA. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1526-1536, doi:10.14710/jil.22.6.1526-1536

## 1. PENDAHULUAN

Kentang merupakan bahan makanan ke empat di dunia yang dikonsumsi oleh manusia, karena merupakan sumber karbohidrat (Rattan et al., 2002). Pentingnya peran kentang ini, sehingga petani di seluruh dunia termasuk Indonesia yang menghasilkan kelompok kentang konsumsi harus menjaga agar kandungan logam berat berada di bawah standar yang ditetapkan WHO. Budidaya kentang konsumsi tersebut meliputi: (1) pemilihan bibit berkualitas mulai varietas granola (G) kelompok 1 s/d 4 bersertifikat (Setiyo et al., 2022) dan (2) penerapan teknologi budidaya ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan teknologi Low External Input on Sustainable Agriculture atau LEISA (Setiyo et al., 2020). Standar kandungan logam berat untuk keamanan pangan yang ditetapkan WHO adalah Fe < 0,4 ppm, Pb < 0,2 ppm, Cd < 0,1 ppm, Cr < 0,1 ppm dan Zn < 0,35 ppm (Suruchi and Khanna, 2011; Kamran et al., 2013).

Faktanya, meskipun petani kentang di Bali sudah menggunakan sistem LEISA, tetapi mereka masih menggunakan insektisida serta fungisida untuk pengendalian hama dan penyakit (Setiyo et al., 2018). Fungisida serta insektisida tersebut mengandung logam-logam berat, seperti: logam Fe, Pb, Cd, dan Cr berturut-turut sebanyak 20–247 ppm, 5,0–7,3 ppm, 2,1–4,1 ppm dan 4,5–4,9 ppm (Rattan et al., 2005). Selain itu, penyemprotan tanaman kentang dilakukan minimal sekali seminggu dengan dosis 2 mL L<sup>-1</sup> air. Penyemprotan seluas 1 ha tanaman kentang dilakukan setelah tanaman berumur 2 minggu dengan volume 600 L larutan insektisida dan fungisida (Rattan et al., 2005).

Residu insektisida dan fungisida terakumulasi di zona perakaran, dan berdampak pada pencemaran lingkungan, kesehatan tumbuhan, hewan, dan manusia (Rattan et al., 2005; Colak et al., 2005). Bahan aktif dalam insektisida dan fungisida yang digunakan oleh petani kentang di Bali, Indonesia adalah *mankozeb*, *propineb*, *diphenconazole*, *dimetomorph*, dan *carbanil* (Suruchi and Khanna, 2011). Peningkatan kandungan residu insektisida dan fungisida di tanah berdampak pada penyerapan residu pestisida dan fungisida oleh akar tanaman untuk diakumulasikan di bagian-bagian tanaman kentang (Setiyo et al., 2020), dan peningkatan kandungan logam-logam tersebut pada umbi kentang.

Pada musim penghujan, residu insektisida dan fungisida dalam tanah selain diserap tanaman juga ada yang tercuci oleh air hujan. Nilai residu yang tercuci air hujan mencapai 0,008-0,02 ppm teremediasi oleh mikroba tanah. Logam dalam bentuk terlarut lebih mudah diserap tanaman dan dicuci oleh air irigasi atau air hujan (Setiyo et al., 2023). Nilai residu insektisida dan fungisida yang teremediasi pada perlakuan budidaya kentang dengan sistem LEISAKU, LEISANPK dan NONLEISA masing-masing adalah: 90-95%, 70 – 75% dan 30-42% (Setiyo et al., 2023).

Sistem LEISA menggunakan pupuk dasar kompos kotoran ayam dosis 10-30 ton/ha dan pupuk susulan

adalah NPK dosis 150 kg/ha. Metode ini sudah digunakan petani kentang di Bali lebih dari 10 tahun. Sementara itu, budidaya sistem LEISAKU menggunakan pupuk dasar kompos kotoran ayam dosis 10-30 ton/ha dengan pupuk susulan pupuk organik cair berupa urine sapi dosis 250 L/ha yang diterapkan petani kentang di Bali baru 2 tahun, sedangkan budidaya kentang dengan sistem NONLEISA hanya mengandalkan pupuk dasar NPK dosis 250 kg/ha dan pupuk susulan NPK dosis 150 kg/ha (Setiyo et al., 2023). Metode input luar rendah pada pertanian berkelanjutan (LEISA dan LEISAKU) mampu meningkatkan kualitas sifat fisik tanah (Kamran et al., 2013), kesuburan tanah (Suruchi and Khanna, 2011; Setiyo et al., 2018), dan (bioremediasi in-situ residu insektisida dan fungisida dengan adanya mikroba dalam kompos (Setiyo et al., 2018). Selain itu, LEISA mampu mengurangi penggunaan insektisida dan fungisida pada budidaya kentang.

Fakta lain, kompos mengandung Fe, Pb, Cd, dan Cr dengan konsentrasi 600 ± 15 ppm, 7,3 ± 0,6 ppm, 2,4 ± 0,3 ppm, dan 4,7 ± 0,6 ppm (Rattan et al., 2005). Penambahan dosis 1 ton ha<sup>-1</sup> menyebabkan peningkatan kandungan logam Fe, Pb, Cd, dan Cr dalam tanah sebesar 9,7 ± 1,2 ppm, 0,36 ± 0,07 ppm, 0,023 ± 0,006 ppm, dan 0,11 ± 0,02 ppm. Selain itu, kompos memiliki kapasitas tukar kation sebesar 65,8 me (100g)<sup>-1</sup>, C/N rasio sebesar 16,6, pH sebesar 6,8, dan populasi mikroba sebesar (3 – 8)(× 10<sup>7</sup>) cfu g<sup>-1</sup>.

Konsentrasi logam berbahaya di bagian sayuran dipengaruhi oleh: konsentrasi logam di zona perakaran tanaman, spesies tanaman, umur tanaman, jenis tanah, kondisi tanah, dan iklim mikro dan lingkungan (Suruchi and Khanna, 2011). Oleh karena itu, penelitian tentang konsentrasi logam dalam umbi-umbian kelompok benih benih dasar dalam budidaya pada musim hujan dan kemarau memerlukan kajian yang mendalam. Penelitian mengkaji dampak budidaya sistem LEISA dan NONLEISA terhadap kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr di umbi kentang, serta menilai kandungan logam tersebut berdasarkan Standar Nasional Indonesia 2009.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Bahan

Bahan penelitian adalah: (1) kentang bibit varietas granola kelompok 2 (G2), (2) pupuk kompos kotoran ayam, (3) pupuk bio-urine, (4) pestisida *Antracol*, *Acrobat*, dan *Dithane M45*, (5) fungisida dan zat kimia untuk analisis kandungan logam berat serta populasi mikroba. Bahan kimia yang digunakan untuk analisis kandungan logam berat adalah HNO<sub>3</sub> pekat, HCl pekat, akuades, larutan stok Pb, Cd, Cr, dan Fe 1000 ppm.

### 2.2. Rancangan Penelitian

Penelitian dengan menggunakan rancangan acak lengkap dengan empat perlakuan, yaitu (1) pemupukan dasar menggunakan kompos dan pemupukan susulan menggunakan biourine (LEISAKU), (2) pemupukan dasar menggunakan kompos dan pemupukan susulan menggunakan NPK

(LEISANPK), (3) pemupukan dasar menggunakan NPK dan pemupukan susulan menggunakan biourie (NPKLEISA), dan (4) pemupukan dasar menggunakan NPK dan pemupukan susulan menggunakan NPK (NONLEISA). Setiap unit penelitian dilakukan di lahan seluas 40 are dan penelitian di ulangi 3 kali dengan sistem blok. Sistem LEISAKU menggunakan pupuk dasar kompos kotoran ayam dosis 10-30 ton ha<sup>-1</sup> dengan pupuk susulan pupuk organik cair berupa urine sapi dosis ±1000 L ha<sup>-1</sup> minggu<sup>-1</sup>. Sementara itu, sistem LEISANPK menggunakan pupuk dasar kompos kotoran ayam dosis 10-30 ton ha<sup>-1</sup> dan pupuk susulan adalah NPK dosis 150 kg ha<sup>-1</sup>. Sistem NONLEISA hanya mengandalkan pupuk dasar NPK dosis 250 kg ha<sup>-1</sup> dan pupuk susulan NPK dosis 150 kg ha<sup>-1</sup>, sebagaimana yang pernah dilakukan (Setiyo et al., 2023).

### 2.3. Budidaya Kentang

Budidaya kentang dilakukan pada bedengan dengan dimensi lebar 0,9 m, panjang 10 m, dan tinggi 30 cm. Selanjutnya diantara bedengan dibuat saluran drainase selebar 40 cm. Pada setiap punggung bedengan ditanami 3 alur tanaman kentang dengan jarak 60 cm antara alur dan tempat tanam jarak 30 cm pada setiap alur. Setiap bedengan ditutup dengan mulsa plastik hitam (Suruchi and Khanna, 2011). Pengendalian hama dan penyakit dilakukan dengan penyemprotan insektisida dan fungisida seminggu sekali (Suruchi and Khanna, 2011).

#### 2.3.1. Pengamatan Populasi Mikroba

Mikroba yang dianalisis adalah kelompok bakteri (Setiyo et al., 2017; Setiyo et al., 2018). Pengambilan sampel tanah pada masing-masing demplot dilakukan pada 5 titik sampel setelah 3 hari sejak penyemprotan pestisida. Kedalaman pengambilan sampel tanah adalah 0 - 30 cm. Pengambilan sampel tanah ± 100 g menggunakan range (terbuat dari plat besi berbentuk silinder dengan diameter 4 cm, tinggi 4 cm) sampel dengan posisi titik sampling bersilang dan jarak antar titik 1 m. Populasi bakteri diamati dengan menggunakan metode total *plate count* (TPC).

#### 2.3.2. Kandungan Logam Berat di Tanah dan Bagian Tanaman

Pengamatan kandungan logam pada tanah, tanaman dan umbi kentang dilakukan setiap minggu mulai dari awal penanaman sampai umbi kentang dipanen. Sampel tanah, tanaman dan umbi kentang diambil secara acak dari setiap perlakuan budidaya sebanyak 3 sampel untuk setiap blok percobaan budidaya.

Metode ekstraksi logam dari tanah, bagian tanaman, dan umbi kentang adalah dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: sampel tanah, bagian tanaman, dan umbi kentang kering dalam bentuk serbuk diambil 5 g dan dimasukkan ke dalam gelas kimia 100 mL. Sebanyak 5 mL air suling dan 5 mL asam nitrat pekat (HNO<sub>3</sub>) ditambahkan ke dalam gelas

kimia dan kemudian dipanaskan selama 5 menit pada 100 °C.

Setelah larutan didinginkan, ditambahkan 5 mL HNO<sub>3</sub> pekat kemudian dipanaskan kembali selama 5 menit. Lima mililiter asam klorida pekat ditambahkan perlahan diikuti dengan penambahan 10mL air suling kemudian dipanaskan pada 100 °C. Larutan disaring dengan kertas saring menjadi 50 mL labu ukur dan dihomogenkan. Konsentrasi logam berat Fe, Cd, Pb, dan Cd pada tanah, tanaman, dan umbi kentang diamati dengan spektrofotometri serapan atom (AAS) (Setiyo et al., 2017).

### 2.4. Analisis Data

Data dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi. Selain itu, data dibuat menjadi grafik; hubungan antara umur tanaman dengan populasi mikroba, konsentrasi logam Fe, Pb, Cd, dan Cr pada tanaman kentang dengan memasukkan persamaan regresi, nilai determinasi (r<sup>2</sup>). Data-data populasi mikroba, kandungan logam berat antar perlakuan diuji ANOVA. Apabila terdapat perbedaan nyata antar perlakuan dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

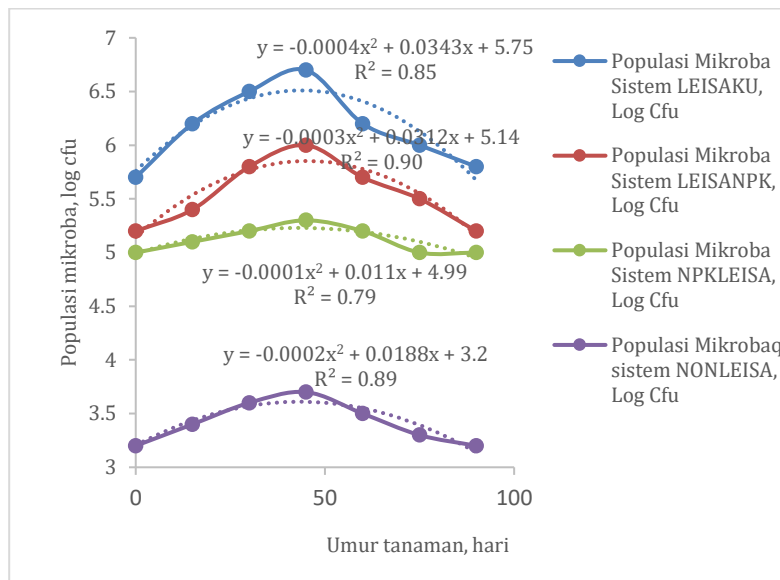
### 3.1. Populasi Mikroba di Lahan Budidaya Kentang

Populasi mikroba (Gambar 1) pada budidaya kentang di zone perakaran bersifat dinamis dan berpola kwadratik dengan nilai r<sup>2</sup> ≥ 0,79 (Qian et al., 2003; Santillán et al., 2014; Setiyo et al., 2016). Persamaan hubungan antara umur tanaman dengan populasi mikroba sangat valid karena nilai r<sup>2</sup> > 0,75.

Persamaan gradient kenaikan dan penurunan populasi mikroba didapatkan dari hasil turunan pertama persamaan hubungan antara umur tanaman dengan populasi mikroba. Nilai gradient kenaikan atau penurunan populasi mikroba untuk budidaya sistem LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA berturut-turut dihitung menggunakan persamaan  $y = -0,0008x + 0,0343$ ,  $y = -0,0006x + 0,0312$ ,  $y = -0,0002x + 0,011$ , dan  $y = -0,0004x + 0,0188$ .

Berdasarkan persamaan gradient tersebut, maka kenaikan dan penurunan populasi mikroba berturut-turut dari yang paling tajam adalah budidaya sistem LEISAKU, LEISANPK, NONLEISA, dan NPKLEISA (Kaharu et al., 2021). Untuk umur tanaman (x) kurang dari 45 hari terjadi kenaikan populasi mikroba (y) dan untuk umur tanaman lebih dari 45 haari terjadi penurunan populasi mikroba dari semua metode budidaya kentang di penelitian ini.

Populasi mikroba pada budidaya dengan perlakuan LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA masing-masing berfluktusasi pada: 5,7-6,7 log cfu, 5,2-6,0 log cfu, 5,0-5,3 log cfu dan 3,2-3,7 log cfu (Gambar 1).



**Gambar 1.** Populasi Mikroba di Zone Perakaran Tanaman Kentang

Mikroba di zona perakaran dengan sistem LEISA (LEISAKU, LEISANPK) dan NPKLEISA menguraikan kompos, bio urin, pupuk NPK, residu insektisida dan residu fungisida secara aktif (Setiyo et al., 2018; Setiyo et al., 2023). Oleh sebab itu, populasi mikroba secara berturut-turut adalah sistem LEISAKU, LEISANPK dan NPKLEISA, dan NONLEISA. Mikroba pada budidaya dengan sistem LEISA lebih ber-kembangbiak dari pada di sistem NONLEISA karena tersedianya unsur hara makro, unsur hara mikro dan sifat fisik tanah yang lebih baik. Pada sistem NONLEISA unsur hara tersedia hanya dari pemupukan dasar, pemupukan susulan, residu insektisida serta residu fungisida.

Kondisi psikokimia tanah dan populasi mikroba mendukung optimalnya proses bioremediasi secara in-situ terhadap residu insektisida dan fungisida, nilai residu yang terbioremediasi sebesar  $\pm 92\%$ . Mikroba dalam tanah mampu berkembang secara optimal akibat tersedianya: hara makro (C-organik,  $K_2O$ , Nitrogen,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ , hara mikro (Mg, Ca, Mo, Co, Fe, Al, dll), air, dan udara di dalam tanah (Setiyo et al., 2018; Setiyo et al., 2023).

Kompos sebanyak 10-30 ton  $ha^{-1}$  pada budidaya kentang meningkatkan kandungan C-organik,  $K_2O$ , Nitrogen,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$  sebesar  $1,102 \pm 0,04\%$ , serta meningkatkan Mo, Co, Fe, dan Al sebesar  $0,146 \pm 0,002\%$ . Biourine pada budidaya kentang meningkatkan C, N, P, dan K di dalam tanah, nilai kenaikan sebesar  $0,56 \pm 0,03\%$ . Selain itu, biourine juga meningkatkan kandungan Mg, Ca, Mo, Co, Fe, Al, sebesar  $0,343 \pm 0,02\%$  (Setiyo et al., 2023). Kandungan bahan organik (BO) akibat tanaman kentang dipupuk dengan kompos dan biourine meningkat sebesar  $0,1\%$  (musim tanam) $^{-1}$ , serta peningkatan nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) sebesar  $1,82 me (100g)^{-1}$  dan tidak terjadi perubahan nilai pH tanah (Lambert et al., 2005; Brown & Cotton, 2011; Kateb et al., 2013)

Sistem budidaya NONLEISA tidak terjadi penambahan hara mikro, sehingga kandungan hara mikro pada budidaya kentang mengalami penurunan

(Restitiasih et al., 2015). Dampak dari berkurangnya hara mikro di tanah adalah perubahan sifat fisik, kimia, dan juga populasi mikroba di dalam tanah (Kaharu et al., 2021; Setiyo et al., 2016).

Mikroba pada kompos mampu mereduksi residu *Dithane M-45*, di tanah 0,6 ppm menjadi 0,003 ppm selama 6 hari, dan bakteri *Pseudomonas luteola* mampu mendegradasi pestisida *Curacron profenofos* 500 EC pada pH 6-8 mencapai 95,27 % atau konsentrasi residu yang terdegradasi 98,11 ppm (Setiyo et al., 2011). Kompos mengandung jenis mikroba: *Bacillus* sp., *Pseudomonas* sp., *Gigaspora* spp., *Arbuscular mycorrhizal* fungi), *Aspergillus* sp., *Trichoderma* sp., dan *Rhizobium* sp. sebanyak masing-masing  $5 \times 10^5$ ,  $3 \times 10^5$ ,  $2,1 \times 10^4$ ,  $1,2 \times 10^4$ ,  $2,2 \times 10^4$ , dan  $3,2 \times 10^5$  cfu (Setiyo et al., 2016).

### 3.2 Kandungan Logam Pada Tanah

Kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr budidaya kentang sistem LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA diilustrasikan pada Tabel 1. Kandungan logam Fe, Pb, Cd, dan Cr untuk sistem LEISAKU nilainya terendah dibandingkan dengan sistem budidaya lainnya (Singh and Kumar, 2016). Tampaknya, peningkatan kandungan logam-logam tersebut dari hasil uji ANOVA menyatakan metode budidaya berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr di awal budidaya, di akhir budidaya dan penambahan logam tersebut di tanah.

Hasil uji Duncan menjelaskan bahwa kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr di tanah (awal budidaya, akhir budidaya dan penambahan logam) yang paling tinggi adalah budidaya NONLEISA, dan kandungan logam tersebut yang terendah adalah budidaya sistem LEISAKU (Tabel 1). Tingginya kandungan logam pada budidaya sistem NONLEISA disebabkan oleh penggunaan obat-obatan untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Berbeda halnya, pada sistem LEISAKU proses bioremediasi secara in-situ sangat

efektif memperkecil kandungan logam tersebut. Kecepatan proses bioremediasi secara in-situ dipengaruhi oleh populasi mikroba.

Berdasarkan Tabel 1, untuk semua sistem budaya terjadi penambahan logam Fe, Pb, Cd dan Cr, di tanah. Peningkatan kandungan logam-logam tersebut terjadi akibat: (1) pemupukan dasar menggunakan kompos atau pupuk NPK, (2) pemupukan susulan menggunakan pupuk NPK atau biourine, serta (3) pemberantasan hama serta penyakit tanaman.

Kompos kotoran ayam sebagai pupuk dasar pada system LEISA mengandung logam Fe, Pb, Cd dan Cr sebesar  $600,5 \pm 11,2$  ppm,  $7,3 \pm 0,3$  ppm,  $2,4 \pm 0,2$  ppm dan  $4,7 \pm 0,2$  ppm (Bülent, 2016; Santillán et al., 2014). Pupuk NPK mengandung logam-logam tersebut sebanyak: 3 ppm, 202 ppm, 102,5 dan 182 ppm, sedangkan pupuk biourine mengandung logam tersebut berturut-turut 43 ppm, 8,2 ppm, 0,4 ppm dan 0,2 ppm.

Logam pada kompos, biourine dan NPK lebih banyak diserap tanaman daripada terakumulasi di zone perakaran. Sehingga, penambahan logam tersebut lebih disebabkan oleh aktivitas pengendalian hama dan penyakit tanaman atau dari residu insektisida dan fungisida.

Rata-rata kandungan logam Fe di tanah pada budidaya LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA berturut-turut  $978,7 \pm 7,2$  ppm,  $1151,8 \pm 8,2$  ppm,  $1269,9 \pm 17,2$  ppm, dan  $1418,6 \pm 12,2$  ppm, sedangkan rata-rata kandungan logam Pb berturut-turut  $26,9 \pm 4,2$  ppm,  $35,1 \pm 4,1$  ppm,  $36,5 \pm 5,1$  ppm, dan  $39,7 \pm 6,7$  ppm. Rata-rata kandungan logam Cd di tanah pada budidaya LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA berturut-turut  $5,5 \pm 0,2$  ppm,  $6,7 \pm 0,8$  ppm,  $7,8 \pm 0,2$  ppm, dan  $11,5 \pm 0,4$  ppm, dan rata-rata kandungan logam Cr berturut-turut  $7,0 \pm 0,2$  ppm,  $9,8 \pm 1,2$  ppm,  $15,0 \pm 0,4$  ppm, dan  $16,7 \pm 1,2$  ppm. Kandungan logam-logam ini masih berada di bawah SNI 2009.

Peningkatan kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr di zone perakaran tanaman kentang terendah terjadi pada budidaya sistem LEISAKU dan tertinggi pada perlakuan NONLEISA, hal ini karena populasi mikroba

sistem LEISAKU lebih tinggi dibandingkan sistem NONLEISA. Dampak populasi mikroba lebih tinggi adalah jumlah logam tersebut yang dipergunakan untuk penyusunan sel mikroba menjadi lebih banyak, dan akibat proses bioremediasi unsur-unsur logam di tanah lebih mudah diserap tanaman.

Residu insektisida dan fungisida berdampak secara nyata pada penambahan logam-logam Fe, Pb, Cd dan Cr di zone perakaran tanaman kentang. Penambahan logam-logam Fe, Pb, Cd dan Cr di zone perakaran tanaman kentang tetap terjadi, walaupun ada sebagian logam-logam tersebut dipergunakan oleh mikroba untuk selnya akibat perkembangbiakan mikroba, logam-logam tercuci oleh air hujan atau air irigasi. Oleh sebab itu, budidaya LEISAKU dan LEISANPK memiliki kandungan logam berat Fe, Pb, Cd dan Cr lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan budidaya NONLEISA atau NPKLEISA. Konsentrasi logam Cd dan Pb pada sistem budidaya kentang dengan sistem LEISAKU dan LEISANPK lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Xu Cui (2015) dan Jung (2018).

Jumlah logam Fe, Pb, Cd, dan Cr yang terserap oleh tanaman dari sistem budidaya dengan sistem LEISA adalah: 57-61%, 27-29%, 46-49%, dan 47-66%, sedangkan jumlah logam tersebut yang terremediasi oleh mikroba masing-masing sebesar: 18-33%, 11-32%, 42-52%, dan 62-80%.

Berdasarkan Tabel 2, kandungan logam Fe, Pb, Cd, dan Cr untuk sistem budidaya LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA setelah umbi kentang dipanen mengalami peningkatan. Peningkatan kandungan logam-logam Fe, Pb, Cd dan Cr akibat aktivitas: (1) pemupukan dasar, (2) pemupukan susulan dan (3) pemberantasan hama dan penyakit tanaman.

Peningkatan kandungan logam-logam tersebut di zone perakaran untuk ke empat perlakuan budidaya dari hasil uji ANOVA sangat berbeda nyata. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kandungan logam pada kompos, biourine, NPK dan obat-obatan pengendalian hama dan penyakit tanaman kentang.

**Tabel 1.** Kandungan Logam Fe, Pb, Cd, dan Cr di Zone Perakaran Tanaman Kentang

Kandungan Logam di Zone Perakaran Tanaman Kentang Pada Awal Budidaya, ppm				
	LEISAKU	LEISANPK	NPKLEISA	NONLEISA
Fe	316±8,2d	446±5,3b	592±7,2c	618±8,2a
Pb	22±1,3b	32±2,2a	32,9±4,7a	33,10±4,2a
Cd	0,78±0,2c	1,43±0,2b	2,99±0,2a	3,02±0,2a
Cr	4,3±0,2c	6,20±1,2b	7,51±1,0b	9,20±1,2a
Kandungan Logam di Zone Perakaran Tanaman Kentang Pada Akhir Budidaya, ppm				
Fe	1292±8,2c	1647±5,2c	1819±8,1b	1992±8,7a
Pb	34,20±1,2c	43,30±7,2b	46,60±3,7b	52,30±1,2a
Cd	11,37±1,2c	14,00±1,2c	19,79±3,5b	26,82±2,2a
Cr	21,00±1,2c	32,33±28,2c	72,00±5,2b	95,00±8,2a
Penambahan Logam Di Zone Perakatan Tanaman Kentang, ppm				
Fe	976.67±7,2d	1200±12,4c	1226±11,3b	1373±9,7a
Pb	1,87±2,1c	10,75±1,2c	13,63±1,6b	19,20±3,1a
Cd	10,59±1,2d	12,57±2,2c	16,80±3,2b	23,80±1,8a
Cr	16,67±1,2d	26,13±3,2c	64,49±2,5b	85,80±2,2a

Catatan: notasi yang berbeda pada satu baris menunjukkan adanya perbedaan nilai antara perlakuan

**Tabel 2.** Jumlah Penambahan Logam Fe, Pb, Cd dan Cr di Zone Perakaran Tanaman Kentang

Jumlah Logam Bertambah di Zone Perakaran Tanaman Kentang Akibat Pemupukan Dasar, ppm				
	LEISAKU	LEISANPK	NPKLEISA	NONLEISA
Fe	626±9,5b	806±9,7a	12,49±1,5c	14,05±1,5c
Pb	2,62±0,5c	0,35±0,02d	6,48±0,59b	9,07±1,5a
Cd	2,20±0,5c	0,27±0,02d	8,19±1,5b	11,21±1,7a
Cr	4,23±0,5c	0,61±0,05d	31,19±9,5b	41,16±1,5a
Jumlah Logam Bertambah di Zone Perakaran Tanaman Kentang Akibat Pemupukan Susulan, ppm				
Fe	44,89±1,5b	4,03±0,2d	157,58±9,5a	14,05±1,2c
Pb	2,94±0,8b	9,64±1,1a	0,49±0,5c	9,07±1,5a
Cd	0,37±0,02b	11,34±1,5a	0,06±0,001c	11,21±1,5a
Cr	0,18±0,09c	23,66±1,5b	0,07±0,005c	41,16±4,5a
Jumlah Logam Bertambah di Zone Perakaran Tanaman Kentang Akibat Pemberantasan Hama Dan Penyakit				
Fe	300±5,5c	261,85±7,7c	1055±19,2b	1348±22,5a
Pb	6,14±0,8a	0,75±0,2c	1,02±0,6b	0,77±0,12c
Cd	8,24±0,5a	0,92±0,05c	1,38±0,4b	0,98±0,05c
Cr	12,69±1,5a	1,70±0,2c	4,65±0,8b	3,19±0,6b

Catatan: notasi yang berbeda pada satu baris menunjukkan adanya perbedaan nilai antara perlakuan

Pemupukan dasar menggunakan kompos dan NPK pada budidaya sistem LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA hasil uji Anova berpengaruh sangat nyata pada kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr di zone perakaran (Tabel 2). Kandungan logam Pb, Cd dan Cr pada budidaya sistem NONLEISA merupakan yang paling berdampak, sedangkan budidaya sistem LEISANPK merupakan yang paling tidak berdampak.

Kandungan logam Pb, Cd dan Cr pada pupuk NPK lebih besar dari kandungan logam Fe. Selain itu, kandungan ketiga logam tersebut pada kompos lebih rendah dari yang ada pada pupuk NPK. Kedua alasan ini menyebabkan kandungan ketiga logam ini pada budidaya sistem NONLEISA yang paling berdampak akibat pemupukan dasar dan sistem LEISANPK paling tidak berdampak dari hasil uji Duncan (Tabel 2).

Kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr akibat pemupukan susulan pada system budidaya LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA hasil uji ANOVA berpengaruh sangat nyata. Seperti halnya pemupukan dasar menggunakan pupuk NPK, hasil uji Duncan kandungan logam Pb, Cd dan Cr di tanah untuk budidaya sistem NONLEISA yang paling berdampak (Tabel 2). Ha ini sesuai disebabkan oleh kandungan ketiga logam tersebut pada pupuk susulan NPK yang digunakan lebih tinggi dari kandungan logam tersebut di biourin.

### 3.2. Kandungan Logam pada Tanaman Kentang

Gambar 2 sampai Gambar 5 mengilustrasikan kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr pada tanaman kentang dengan perlakuan budidaya sistem LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA. Kandungan logam tersebut di bagian tanaman (akar, batang dan daun) mengalami peningkatan dengan meningkatnya umur tanaman kentang secara linier. Selain itu, dari gambar grafik tersebut dijelaskan nilai  $r^2 \geq 0,84$  atau data penelitian sangat valid.

Berdasarkan Gambar 2 sampai Gambar 5, kecepatan peningkatan kandungan logam Fe, Pb, Cd, dan Cr pada tanaman kentang berturut-turut 9,8-20,1 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,14-0,46 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,05-0,1 ppm hari<sup>-1</sup>, dan 0,01-0,35 ppm hari<sup>-1</sup>. Peningkatan kandungan

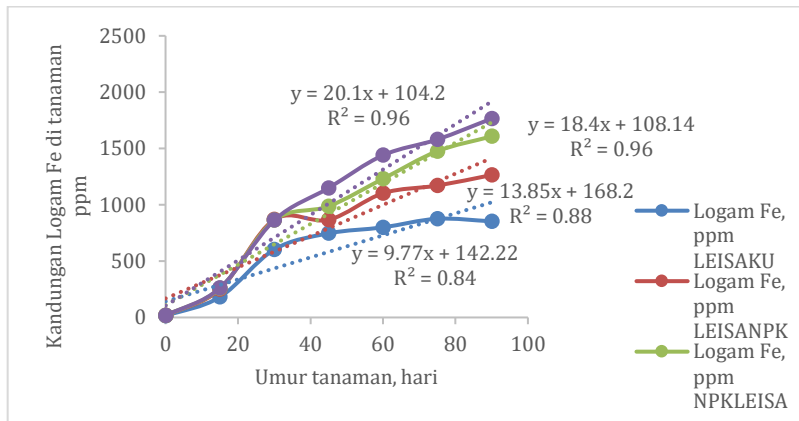
logam pada tanaman kentang sebagai dampak pemupukan dasar menggunakan kompos, pemupukan susulan menggunakan biourine, dan pemberantasan hama penyakit menggunakan insektisida dan fungisida, bahan-bahan tersebut mengandung logam berat (Bülent, 2016; Leblebici et al., 2017).

Peningkatan kandungan logam Fe, Pb, Cd, dan Cr untuk budidaya sistem LEISAKU pada bagian tanaman kentang merupakan yang paling besar, dan budidaya sistem NONLEISA peningkatan logam tersebut yang paling kecil. Peranan mikroba di zone perakaran mengurai bahan organik menjadi hara yang tersedia bagi tanaman dan kondisi fisik tanah pada sistem LEISA lebih baik dibandingkan sistem NONLEISA.

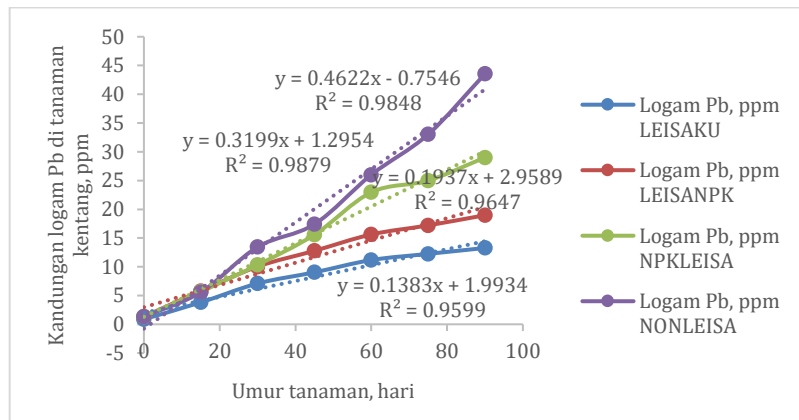
Oleh sebab itu, budidaya sistem LEISAKU menghasilkan konsentrasi logam Fe, Pb, Cd dan Cr paling tinggi diantara budidaya sistem lainnya. Selain itu, kandungan logam di tanaman kentang sistem NONLEISA peningkatannya paling rendah karena tidak mempergunakan pupuk kompos dan biourine.

Peningkatan kandungan logam Fe di bagian tanaman untuk budidaya sistem LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA berturut-turut sebesar 10,8 ppm hari<sup>-1</sup>, 13,3 ppm hari<sup>-1</sup>, 13,6 ppm hari<sup>-1</sup> dan 15,3 ppm hari<sup>-1</sup>. Peningkatan kandungan logam Pb di bagian tanaman kentang untuk keempat sistem budidaya berturut-turut sebesar 0,13 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,12 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,15 ppm hari<sup>-1</sup> dan 0,21 ppm hari<sup>-1</sup>.

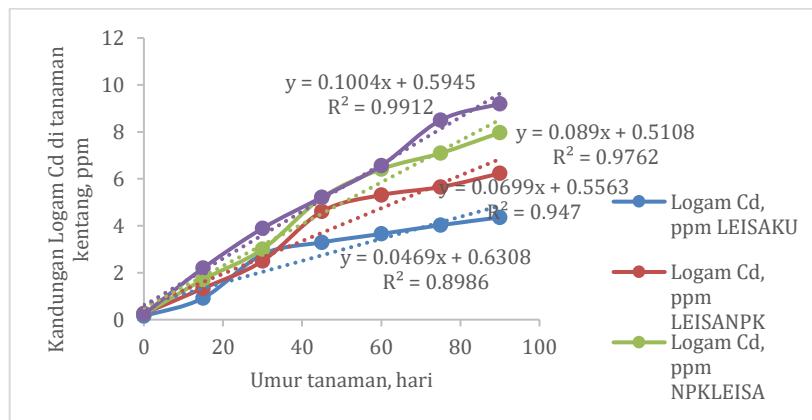
Peningkatan kandungan logam Cd di bagian tanaman kentang untuk sistem budidaya LEISAKU, LEISANPK, NPKLEISA dan NONLEISA masing-masing sebesar 0,12 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,14 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,19 ppm hari<sup>-1</sup> dan 0,26 ppm hari<sup>-1</sup>, peningkatan kandungan logam Cr adalah 0,19 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,29 ppm hari<sup>-1</sup>, 0,72 ppm hari<sup>-1</sup> dan 0,95 ppm hari<sup>-1</sup> (Angelova et al., 2010). Peningkatan kandungan logam ini akibat pemupukan susulan dengan biourine, dan penggunaan insektisida serta fungisida secara kontinu dan berkala seminggu sekali. Logam Fe dan Pb juga ada pada insektisida Dithane M45 sejumlah 247,3 ppm dan 7,4 ppm. Atracol mengandung Cd = 4,15 ppm dan Acrobat mengandung Cr = 4,96 ppm (Xu et al., 2015).



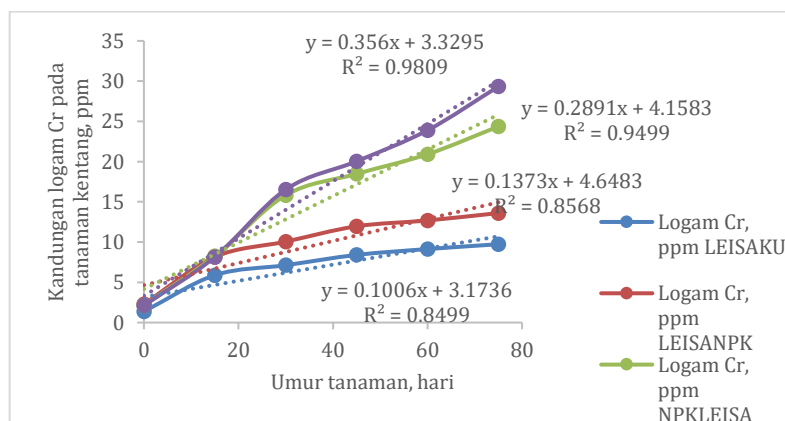
Gambar 2. Kandungan Logam Fe pada Tanaman Kentang



Gambar 3. Kandungan Logam Pb pada Tanaman Kentang



Gambar 4. Kandungan Logam Cd pada Tanaman Kentang



Gambar 5. Kandungan Logam Cr pada Tanaman Kentang

Pemupukan menggunakan kompos kotoran ayam pada sistem LEISAKU dan LEISANPK mengakibatkan peningkatan logam Fe sebanyak  $626 \pm 9,5$  ppm dan  $806 \pm 9,7$  ppm. Hal ini sebagai dampak dari kompos mengandung logam Fe sebanyak  $600,5 \pm 11,2$  ppm. Dampak nyata pupuk susulan berupa Biourine terjadi pada perlakuan NPKLEISA, hal ini terlihat pada peningkatan kandungan logam Fe sebesar  $157,58 \pm 9,5$  ppm, kandungan logam Fe pada Biourine adalah 43 ppm (Setiyo et al., 2023).

Pada penelitian laboratorium residu insektisida dan fungisida yang dapat dilakukan bioremediasi sebesar lebih dari 95% (Setiyo et al., 2018). Jumlah logam Fe, Pb, Cd dan Cr pada perlakuan budidaya NONLEISA yang terserap tanaman masing-masing adalah: 62-63%, 37-41%, 38-55%, dan 30-42%, sedangkan jumlah logam tersebut yang terremediasi oleh mikroba masing-masing sebesar: 9-10%, 7-8%, 30-32%, dan 30-35% (Setiyo et al., 2020). Pada perlakuan budidaya dengan sistem LEISA populasi mikroba lebih besar dibandingkan perlakuan NONLEISA. Hal ini mengakibatkan proses bioremediasi residu insektisida dan fungisida menjadi lebih baik dan konsentrasi logam-logam tersebut di tanah menjadi lebih rendah.

Kandungan logam Fe pada tanaman kentang saat dipanen untuk perlakuan LEISA dan NONLEISA adalah 346-477 ppm, dan 597-666 ppm, sedangkan kandungan Pb untuk kedua perlakuan tersebut adalah: 7,47-10,46 ppm, dan 13,47-16,14 ppm. Tanaman kentang pada sistem LEISA mengandung logam Cd sebesar 4,4-6,2 ppm dan logam Cr sebesar 10,6-14,4 ppm. Lain halnya pada budidaya NONLEISA kandungan logam Cd sebesar 7,9-9,2 ppm dan kandungan logam Cr sebesar 28,2 -32,8 ppm (Musilova et al., 2016); Jonathan et al., 2018). Potensi tanaman menyerap logam Fe, Pb, Cd dan Cr dari tanah untuk NONLEISA lebih besar dari LEISA, karena kandungan logam tersebut juga lebih besar (Tabel 1 dan Tabel 2).

Kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr pada bagian akar secara berturut-turut 72,2%, 20,9%, 48,4%, dan 51,4%. Kandungan logam tersebut pada bagian batang adalah: 1,0%, 20,9 %, 30,5 %, dan 2,3 %, sedangkan kandungan logam tersebut di bagian daun tanaman kentang adalah: 26,4 %, 25,4 %, 48,4 %, dan 45,7 %. Penyerapan logam berat tidak hanya terjadi melalui akar, namun dapat pula terjadi melalui stomata daun (Alloway. 1990)

Pada umumnya tumbuhan akan menyerap unsur – unsur hara yang larut dalam air maupun dari tanah melalui akarnya. Semua tumbuhan memiliki kemampuan penyerapan yang memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel (Filter dan Hay, 1992). Oleh sebab, itu bagian akar tanaman kentang memiliki kandungan logam Fe, Cd dan Cr lebih tinggi dari kandungan logam tersebut di batang dan daun, sedangkan kandungan logam-logam tersebut di bagian daun lebih tinggi dari di bagian akar.

Kandungan logam-logam di bagian daun lebih tinggi dari logam di bagian batang, karena efek penyemprotan insektisida dan fungisida yang dilakukan setiap seminggu sekali (Press and Norris, 1974).

Bahan aktif dari insektisida dan fungisida diserap oleh bagian-bagian tanaman dan meningkatkan konsentrasi logam di tanaan (Edwards, 2017). Namun, hasil penelitian menunjukkan konsentrasi logam Pb, dan Cd pada bagian-bagian tanaman kentang lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Hang Zhou (2016) dan Jonathan (2018).

### 3.3. Kandungan Logam pada Umbi Kentang

Konsentrasi logam Fe, Pb, Cd dan Cr di umbi kentang ditampilkan di Gambar 6 sampai Gambar 9. Pola hubungan antara umur tanaman dengan kandungan logam tersebut adalah kwadrat dengan nilai  $r^2 > 0,92$  atau data penelitian sangat valid. Peningkatan kandungan logam Fe, Pb, Cd, Cr pada umbi kentang paling besar adalah pada budidaya sistem LEISA.

Laju peningkatan logam merupakan turunan pertama dari persamaan hubungan antara umur tanaman dengan kandungan logam di tanaman. Laju peningkatan logam Fe dituliskan secara berturut-turut dengan persamaan  $y = -0,0046x + 0,43$ ,  $y = -18 \times 10^{-6}x + 0,0023$ ,  $y = -10 \times 10^{-5}x + 0,0012$ , dan  $y = -8 \times 10^{-6}x + 0,0012$ . Laju peningkatan logam Pb untuk keempat sistem budidaya dituliskan secara berturut-turut dengan persamaan  $y = -0,005x + 0,42$ ,  $y = -10 \times 10^{-6}x + 0,0017$ ,  $y = -12 \times 10^{-5}x + 0,0014$ , dan  $y = -14 \times 10^{-6}x + 0,0015$ .

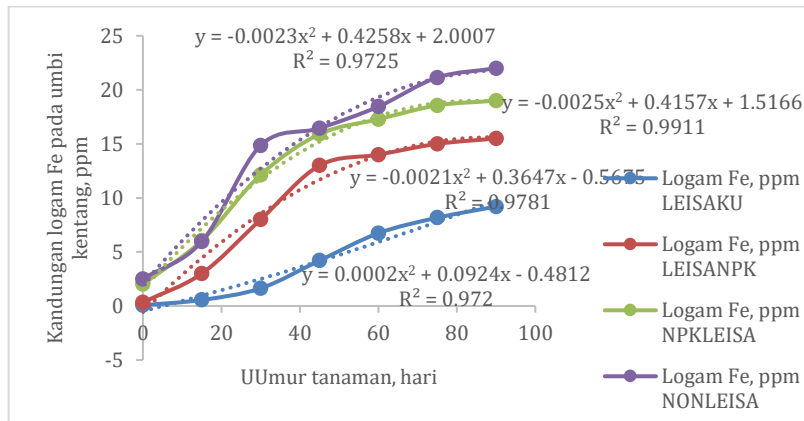
Lain halnya, laju peningkatan logam Cd untuk keempat sistem budidaya dituliskan secara berturut-turut dengan persamaan  $y = -0,0042x + 0,009$ ,  $y = -8 \times 10^{-6}x + 0,0009$ ,  $y = -2 \times 10^{-5}x + 0,009$ , dan  $y = -8 \times 10^{-6}x + 0,001$ . Sedangkan, laju peningkatan logam Cr untuk keempat sistem budidaya dituliskan secara berturut-turut dengan persamaan  $y = -0,0004x + 0,36$ ,  $y = -10 \times 10^{-6}x + 0,005$ ,  $y = -16 \times 10^{-7}x + 0,005$ , dan  $y = -10 \times 10^{-7}x + 0,005$ .

Berdasarkan persamaan-persamaan tersebut, laju peningkatan logam Fe pada umbi kentang sistem LEISA dan NONLEISA sebesar 0,10-0,16 ppm hari<sup>-1</sup>, dan 0,18-0,21 ppm hari<sup>-1</sup>. Sedangkan peningkatan kandungan logam Pb di umbi kentang untuk dua kelompok budidaya tersebut adalah: 0,0085 -0,001 ppm hari<sup>-1</sup>, dan 0,0012-0,0013 ppm hari<sup>-1</sup>.

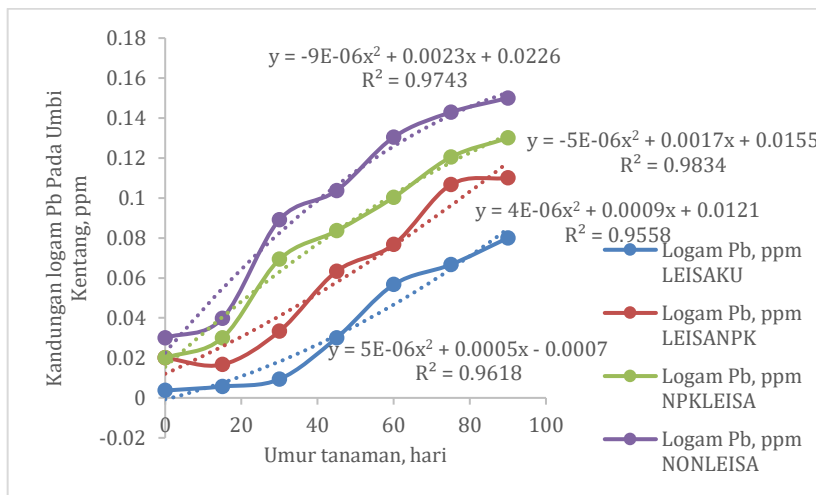
Laju peningkatan logam Cd pada umbi kentang untuk sistem LEISA dan NONLEISA masing-masing sebesar: 0,0004-0,0007 ppm hari<sup>-1</sup>, dan 0,0027-0,0032 ppm hari<sup>-1</sup>. Peningkatan kandungan logam Cr di umbi kentang untuk sistem LEISA dan NONLEISA adalah: 0,0007-0,0008 ppm hari<sup>-1</sup>, dan 0,0005-0,0006 ppm hari<sup>-1</sup>.

Peningkatan kandungan logam di bagian umbi sebagai dampak dari terjadinya peningkatan kandungan logam di akar, batang dan daun tanaman kentang.

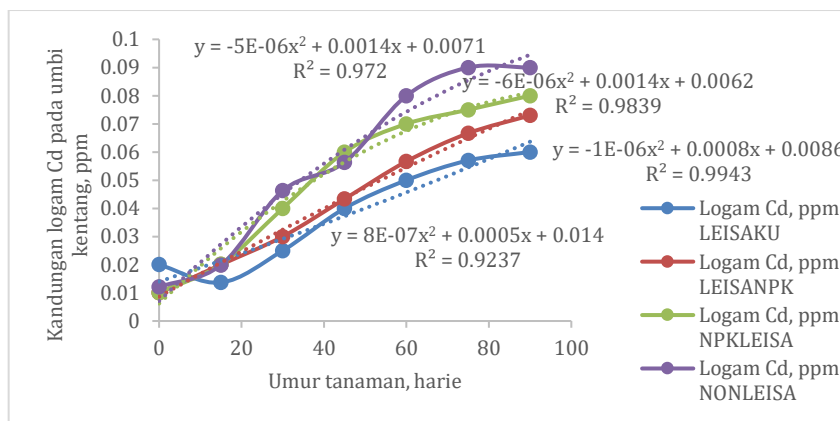




Gambar 6. Hubungan Kandungan Logam Fe dengan Umur Tanaman



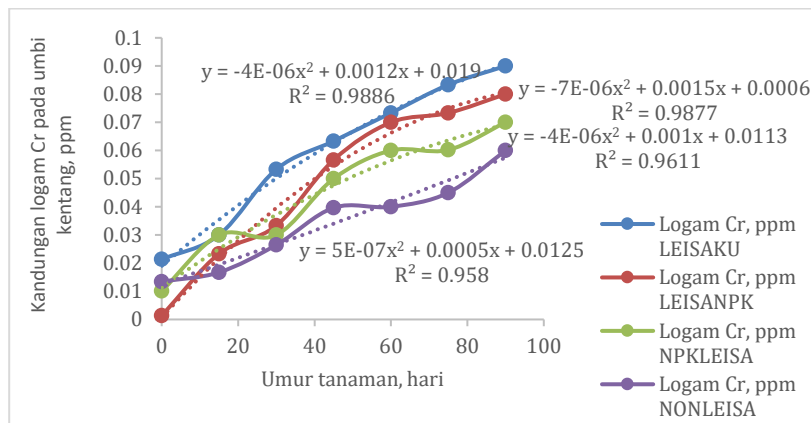
Gambar 7. Hubungan Kandungan Logam Pb dengan Umur Tanaman



Gambar 8. Hubungan Kandungan Logam Cd dengan Umur Tanaman

Rata-rata kandungan logam Fe di umbi kentang untuk budidaya LEISA sebesar 3,6-5,4 ppm, dan untuk budidaya NONLEISA sebesar 12,0-13,2 ppm. Rata-rata kandungan logam Pb dari kedua budidaya tersebut masing-masing 0,03-0,05 ppm, dan 0,07-0,09 ppm. Rata-rata kandungan logam Cd pada bagian umbi budidaya sistem LEISA dan NONLEISA masing-masing 0,03-0,04 ppm, dan 0,05 ppm, sedangkan rata-rata kandungan logam Cr dari kedua budidaya berturut-

turut 0,04-0,05 ppm, dan 0,03-0,04 ppm. Standar SNI kandungan logam Fe < 6 ppm, Pb < 0,2 ppm, Cd < 0,1 ppm, dan Cr < 0,1 ppm (Standar Nasional Indonesia, 2009). Sedangkan hasil penelitian budidaya kentang bibit dengan sistem LEISA dengan kandungan Fe, Pb, Cd dan Cr masing-masing adalah 2,3-4,22 ppm, 0,02 - 0,092 ppm, 0,052 - 0,095 ppm dan 0,023 - 0,096 ppm (Xu et al., 2015; Press and Norris, 1974)



**Gambar 9.** Hubungan Kandungan Logam Cr dengan Umur Tanaman

Selisih kandungan logam Fe, Pb, Cd, dan Cr pada umbi kentang antara budidaya sistem LEISA dengan NONLEISA berturut-turut 4,34-8,34 ppm, 0,03-0,04 ppm, 0,008-0,01 ppm, dan 0,006-0,01 ppm. Budidaya dengan sistem LEISA proses bioremediasi residu insektisida dan fungisida terjadi secara lebih efektif, sebab populasi mikroba budidaya sistem LEISA lebih banyak. Nilai logam Fe, Pb, Cd dan Cr dari residu insektisida dan fungisida yang terremediasi berturut-turut sebesar  $42,3 \pm 3,4$  ppm bulan<sup>-1</sup>,  $0,09 \pm 0,007$  ppm bulan<sup>-1</sup>,  $0,0063 \pm 0,0005$  ppm bulan<sup>-1</sup>, dan  $0,0038 \pm 0,00041$  ppm bulan<sup>-1</sup> (Edwards, 2017; Zhou et al., 2016; Tadesse et al., 2015).

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh populasi mikroba untuk budidaya sistem LEISA yaitu 5,2-6,5 log cfu, dan sistem NONLEISA yaitu 3,2-5,3 log cfu. Kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr pada tanah, bagian tanaman dan umbi kentang untuk budidaya sistem LEISA lebih kecil dari sistem NONLEISA. Kandungan logam tersebut pada umbi kentang untuk perlakuan LEISA sebesar  $3,6 < Fe < 5,4$  ppm,  $0,031 < Pb < 0,05$ ,  $0,03 < Cd < 0,04$  ppm,  $0,04 < Cr < 0,05$  ppm, sedangkan untuk sistem NONLEISA sebesar  $12,0 < Fe < 13,2$  ppm,  $0,07 < Pb < 0,09$ ,  $0,04 < Cd < 0,05$  ppm,  $0,03 < Cr < 0,04$  ppm. Kandungan logam Fe, Pb, Cd dan Cr budidaya sistem LEISA di bawah SNI, namun kandungan logam tersebut untuk sistem NONLEISA tidak memenuhi standar SNI.

#### DAFTAR PUSTAKA

Alloway, B. J. (1990). *Heavy Metal in Soil*. Jhon Willey and Sons Inc. New York

Angelova, V., Ivanova, R., Pevicharova, G., & Ivanov, K. (2010). Effect of organic amendments on heavy metals uptake by potato plants. *World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia*. Published on DVD

Brown, S., & Cotton, M. (2011). Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-farm Sampling. *Compost Science and Utilization*, 19(2), 87–96. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2011.1073698>

Bülent, T. (2016). Metal bioavailability and uptake by Potato plants (*Solanum Tuberosum* L.) grown in soils amended with MSW Compost. *International Journal of Advances in Agricultural and Environmental Engineering*, 3(2), 317–321. <https://doi.org/10.15242/ijaaee.ae0516114>

Colak, H., Soylak, M., & Turkoglu, O. (2005). Determination of trace metal content of various herbal and fruit produced and marketed in Turkey. *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease*, 22: 192– 195.

Edwards, C. A. (2017). Factors That Affect the Persistence of Pesticides in Plants and Soils. In *Rothamsted Experimental Station, Harpenden, Herts., UK*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-70708-4.50007-7>

Filter, A. H. & Hay, R. K. M. 1992. *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. UGM

Hang, Z., Yang, W. T., Zhou, X., Liu L., Gu, J. F., Wang, W. L., Zou J. L., Tian T., Peng, P. Q., & Liao, B. H. (2016). Accumulation of Heavy Metals in Vegetable Species Planted in Contaminated Soils and the Health Risk Assessment. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 Mar; 13(3): 289

Jonathan, N., Hassan, B., Yesufu, C., Wazis, Haruna, B., Kolo. (2018). Analysis of some heavy metals in Irish potatoes grown in Bokokos and Mangu local government areas of Plateau State, Nigeria. *Nigerian Journal of Pharmaceutical and Biomedical Research*. Vol. 3, No. 1, April, 2018. All Rights Reserved. ISSN: 2579-1419

Jung, M. C. (2018). Heavy Metal Concentrations in Soils and Factors Affecting Metal Uptake by Plants in the Vicinity of a Korean Cu-W Mine. *Sensors (Basel)*. 2008 Apr; 8(4): 2413–2423.

Kaharu, P. I., Tangapo, A. M., & Mambu, S. M. (2021). Dinamika Populasi Mikroba Tanah dan Respon Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) Terhadap Aplikasi Amelioran Pupuk Organik. *Jurnal Bios Logos*, 11(2), 102. <https://doi.org/10.35799/jbl.11.2.2021.32896>

Kamran, S., Shafaqat, A., Samra, H., Sana, A, Samra, F., Muhammad, B.S., Saima, A.B., & Hafiz, M. T. (2013) Heavy metal contamination and what are the impact on living organisms. *Journal of Environmental and Public safety*, 2 (4): 172-179.

Kateb, H. El, Zhang, H., Zhang, P., & Mosandl, R. (2013). Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in

- Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 105, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.12.012>
- Lambert, D.H., Powelson, M. L., and Stevenson, W. R. (2005). Nutritional interactions influencing diseases of potato. *American Journal of Potato Research*, 82: 309-319.
- Leblebici, Z., Aksoy, A., & Akgu, G. (2017). Accumulation And Effects Of Heavy Metals On Potatoes (Solanum Tuberosum L.) In The Nevsehir, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7083–7090.
- Musilova, J., Bystricka, J., Lachman, J., Harangozo, L., Trebichalsky, P., & Volnova, B. (2016). Potatoes – A crop resistant against input of heavy metals from the metalicaly contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 18(6), 547–552. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086303>
- Press, Y., & Norris, L.A. (1974). Behavior of Pesticides in Plants. Repressview. Pacific Northwest Forest and range Experiment Station U.S. Department of Agriculture. Forest Service Portland, Oregon.
- Qian, P., Schoenau, J. J., Wu, T., & Mooleki, S. P. (2003). Copper and zinc amounts and distribution in soil as influenced by application of animal manure in east-central Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 83(2), 197–202. <https://doi.org/10.4141/S02-063>
- Rattan, R. K., Datta, S. P., Chhonkar, P. K., Suribabu, K., & Singh, A. K. (2005). Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater - A case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109(3–4), 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.02.025>
- Restitiasih, N. W. M., Sukarasa, I K., & Yuda, I W. A. (2015). Southern Oscillation Index (SOI) Correlation of Rainfall at the Peak of the Rainy and Dry Seasons in the Kintamani-Bangli Region for the 1986-2015 Period. *Buletin Fisika*, 20, 2: 6 – 11.
- Santillán, Y., Moreno, F., Garcia, F., & Sandoval, O. (2014). Effect of the Application of Manure of Cattle on the Properties Chemistry of Soil in Tizayuca, Hidalgo, Mexico. *International Journal of Applied*, 4(3), 67–72.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). (2009). Batas Maksimum Cemaran logam Berat dalam Pangan. Badan Standar Nasional.
- Setiyo, Y., Gunadnya, I. B. P., Gunam, I. B. W., Permana, I. D. G. M., Susrusa, I. K. B., & Triani, I. G. A. L. (2016). Improving Physical and Chemical Soil Characteristic on Potatoes (Solanum tuberosum L.) Cultivation by Implementation of Leisa System. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 525–531. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.172>
- Setiyo, Y., Gunadnya, I. B. P., Gunam, I. B. W., & Susrusa, I. K. B. (2017). The implementation of low external input sustainable agriculture system to increase productivity of potato (Solanum tuberosum L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 15(2), 62–67.
- Setiyo, Y., Gunadnya, I. B. P., Gunam, I. B. W., Triani, I. G. A. L., Budisanjaya, P., & Yulianti, N. L. (2023). The Impact of Implementation of the Leisa System on the Conservation and Land Restoration of Citrus Cultivation in Bali, Indonesia. *International Journal of Agriculture and Biology*, 29(3), 181–192. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.2018>
- Setiyo, Y., Harsojuwono, B. A., & Gunam, I. B. W. (2020). The concentration of heavy metals in the potato tubers of the basic seed groups examined by the variation of fertilizers, pesticides and the period of cultivation. *AIMS Agriculture and Food*, 5(4), 882–895. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2020.4.882>
- Setiyo, Y., Susrusa, K. B., Yuliadhi, I. K. A., Gunam, I. B. W., Gunadnya, I. B. P., & Yulianti, N. L. P. (2022). Agribisnis Kentang. Udayana Press. Bali-Indonesia
- Setiyo, Y., Utama, M. S., Tika, W., & Gunadnya, I. B. P. (2011). Optimalisasi Proses Bioremediasi Secara in Situ Pada Lahan Tercemar Pestisida Kelompok Mankozeb. *Jurnal Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Malang*, 12(1), 51–56.
- Setiyo, Y., Yuliadhi, K. A., Triani, I. G. A. L., Permana, I. D. G. M., Gunam, I. B. W., & Antara, N. S. (2018). Application of chicken manure compost as organic fertilizer to improve the quality and productivity of potato (Solanum tuberosum l.). *Ecology, Environment and Conservation*, 24(2), 621–627.
- Singh, S., & Kumar, M. (2006). Heavy metal load of soil, water and vegetables in peri-urban Delhi. *Environ. Monit. Assess.* 120:79-90.
- Suruchi & Khanna, P. (2011). Assessment of heavy metal contamination in different vegetables grown in and around urban areas. *Research Journal of of Environmental Toxicology* 5: 162-179.
- Tadesse, B., Atlabachew, M., & Mekonnen, K. N. (2015). Concentration levels of selected essential and toxic metals in potato (Solanum tuberosum L.) of West Gojjam, Amhara Region, Ethiopia. *Journal Springerplus* 2015; 4: 514.
- Xu, C., Xulei, S., Pengjie, H., Cheng, Y., Yongming, L., Longhua, W., & Christie, P. (2015). Concentrations of Heavy Metals in Suburban Horticultural Soils and Their Uptake by Artemisia selengensis. *Pedosphere*, 25(6), 878–887. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30068-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30068-0)
- Zhou, H., Yang, W. T., Zhou, X., Liu, L., Gu, J. F., Wang, W. L., Zou, J. L., Tian, T., Peng, P. Q., & Liao, B. H. (2016). Accumulation of heavy metals in vegetable species planted in contaminated soils and the health risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/ijerph13030289>