

Penyerapan Logam Berat Besi (Fe) dengan Metode Fitoremediasi pada Tanah Sawah menggunakan Tanaman Kangkung Air (*Ipomoea aquatica*)

Absorption of Heavy Metal Iron (Fe) by Phytoremediation Method in Rice Fields using Water Kangkung Plants (*Ipomoea aquatic*)

Ratna Sari^{1*}, Nurul Puspita Palupi^{2**}, Roro Kesumaningwati^{3***}, Rabiatul Jannah^{4****}

¹ Mahasiswa Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Jl Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, Kalimantan Timur, Indonesia.

^(2,3,4) Staf Pengajar Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman. Jl Pasir Balengkong, Kampus Gunung Kelua, Samarinda 75119, Kalimantan Timur, Indonesia

E-mail: ratsari2458@gmail.com; nurulpuspita2908@gmail.com; rorokesuma99@gmail.com; r.jannah74@gmail.com

Manuscript received: 05-01-2022 Revision accepted: 13-05-2022

Abstrac. Heavy metal elements that can cause pollution in the environment are Fe, As, Cd, Pb, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn, and Cu because they are used more extensively and have high levels of toxicity. The impact of heavy metals on soil and plants is excessive is the loss or change in soil quality, so that the soil becomes infertile and can be toxic to plants. Soil pollution can be done to overcome heavy metals by using phytoremediation methods. Phytoremediation is a method used to reduce soil damage caused by the high accumulation of heavy metals by utilizing plants that can absorb heavy metals. One type of plant that can be used as a phytoremediation plant is kale. Kale plants are not selective of certain nutrients, so they can absorb all the nutrients contained in the soil. This research aims to find out the levels of heavy metal iron (Fe) that can be absorbed by water kale plants in rice fields.

The research was conducted from November 2021 to January 2022, the location of soil sampling took place in the rice fields of Sidomulyo Village, Anggana Subdistrict, Kutai Kartanegara Regency. The research site is located at the Faculty of Agriculture of Mulawarman University. The location of the analysis is located at the Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Mulawarman University, Samarinda, East Kalimantan. This study was compiled using a Complete Randomized Design (RAL) factorial with a method of diversity analysis at the level of 5% followed by the Smallest Real Difference (BNT) test.

The results of this study showed that the highest levels of Fe heavy metals that can be absorbed by plants are found in the number of kale plant seeds as many as 10 seeds with absorption time for 4 weeks which is 2392.82 ppm and the absorption efficiency that is able to absorb fe heavy metals is greater in the treatment of the number of seeds as many as 20 seeds with Fe serpan that can be absorbed as much as 13.94 ppm..

Keywords: Phytoremediation, Heavy Metal Iron (Fe), Kale plant

Abstrak. Unsur logam berat yang dapat menimbulkan pencemaran pada lingkungan adalah Fe, As, Cd, Pb, Hg, Mn, Ni, Cr, Zn, dan Cu karena unsur tersebut penggunaannya lebih ekstensif dan memiliki tingkat toksisitas yang tinggi. Dampak dari logam berat terhadap tanah dan tanaman yang berlebihan adalah hilang atau berubahnya kualitas tanah, sehingga tanah menjadi tidak subur dan dapat menjadi racun bagi tanaman. Penanggulangan pencemaran tanah dapat dilakukan untuk mengatasi logam berat yaitu dengan menggunakan metode fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi kerusakan tanah yang diakibatkan tingginya akumulasi logam berat dengan memanfaatkan tanaman yang dapat menyerap logam berat. Salah satu jenis tumbuhan yang dapat digunakan sebagai tumbuhan fitoremediasi adalah kangkung. Tanaman kangkung tidak selektif terhadap unsur hara tertentu, sehingga dapat menyerap semua unsur hara yang terkandung di dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar logam berat besi (Fe) yang mampu diserap oleh tanaman kangkung air pada tanah sawah.

Penelitian dilaksanakan pada bulan November 2021 sampai dengan Januari 2022, lokasi pengambilan sampel tanah bertempat di areal persawahan Desa Sidomulyo, Kecamatan Anggana, Kabupaten Kutai Kartanegara. Lokasi penelitian bertempat di Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Lokasi analisis bertempat di Laboratrium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur. Penelitian ini disusun menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan metode analisis ragam pada taraf 5% yang dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar logam berat Fe tertinggi yang dapat diserap oleh tanaman terdapat pada jumlah benih tanaman kangkung sebanyak 10 benih dengan waktu penyerapan selama 4 minggu yaitu 2392,82 ppm dan efisiensi serapan yang mampu menyerap logam berat Fe lebih besar terdapat pada perlakuan jumlah benih sebanyak 20 benih dengan serapan Fe yang mampu diserap sebanyak 13,94 ppm.

Kata kunci: Fitoremediasi, Logam berat Besi (Fe), Tanaman kangkung

PENDAHULUAN

Tanah secara alami telah mengandung berbagai unsur logam termasuk logam berat. Unsur logam ini merupakan kontaminan utama bagi lingkungan karena bersifat *non-biodegradable*. Beberapa logam seperti mangan (Mn), Zn, kromium (Cr), molibdenum (Mo), besi (Fe), dan nikel (Ni) sangat penting pada konsentrasi rendah karena berkaitan dengan fungsi biota tanah, tetapi pada konsentrasi yang lebih tinggi dapat bersifat racun (Anand et al., 2019). Ditambahkan oleh (Yan et al., 2020), logam berat seperti kadmium (Cd), merkuri (Hg), timbal (Pb), arsenik (As), seng (Zn), tembaga (Cu), nikel (Ni), dan krom (Cr) dapat bersifat sangat meracun di dalam tanah. Dampak dari logam berat terhadap tanah dan tanaman adalah hilang atau berubahnya kualitas tanah, sehingga tanah menjadi tidak subur dan dapat menjadi racun bagi tanaman.

Sifat kimia pada tanah sawah yang mengandung unsur logam lebih didominasi oleh sifat besi dibanding unsur lainnya, hal ini karena adanya penggenangan pada tanah sawah. Kandungan Fe yang tinggi mengakibatkan terjadinya keracunan besi (Fe^{2+}). Senyawa besi yang pada kondisi tanah kering berada pada tingkat oksidatif Fe^{3+} akan tereduksi menjadi Fe^{2+} yang bersifat racun bagi tanaman. Konsentrasi Fe setelah sekitar 3-4 minggu penggenangan meningkat menjadi 600 ppm, dalam kondisi ini kadar Fe dapat menjadi racun bagi tanaman padi. Keracunan Fe berdampak pada produksi padi yang rendah, bahkan tanaman tidak berproduksi (Saidi et al., 2021).

Penanggulangan pencemaran tanah dapat dilakukan untuk mengatasi logam berat yaitu dengan menggunakan metode fitoremediasi. Fitoremediasi menggunakan tanaman hiperakumulator untuk mengadsorpsi logam berat di dalam tanah. Teknik ini ekonomis dan ramah lingkungan karena tidak merusak struktur tanah atau mengubah sifat tanah (Liu et al., 2020). Kangkung termasuk jenis tanaman hiperakumulator yang relatif tahan terhadap berbagai macam bahan pencemar. Kangkung menyerap bahan pencemar dan mengakumulasi di dalam jaringan dengan jumlah yang cukup besar (Fitri Dewi et al., 2015).

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat

Penelitian dilaksanakan pada 25 November 2021 sampai dengan 6 Januari 2022, lokasi pengambilan sampel tanah bertempat di areal persawahan Desa Sidomulyo, Kecamatan Anggana, Kabupaten Kutai Kartanegara. Lokasi penelitian bertempat di Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Lokasi analisis bertempat di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur.

Alat dan bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah ember, oven, saringan, timbangan analitik, plastik klip, mortar, tabung reaksi, Labu ukur, pipet, kertas label, Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) Shimadzu AA7000. Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah benih tanaman kangkung, tanah sawah, air, akuades, $HClO_4$, HNO_3 .

Rancangan Percobaan

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan analisis faktorial yang terdiri dari dua faktor perlakuan. Faktor pertama yaitu jumlah benih tanaman kangkung yang terdiri dari 4 taraf perlakuan. Faktor kedua yaitu waktu penyerapan yang terdiri dari 2 taraf perlakuan. Tiap kombinasi perlakuan di ulang sebanyak empat kali ulangan. Perlakuan penelitian faktor pertama jumlah benih (P) yang terdiri dari 4 taraf yaitu:

p0 = tanpa benih kangkung

p1 = 10 benih kangkung

p2 = 20 benih kangkung

p3 = 30 benih kangkung

dan faktor kedua penyerapan (W) yang terdiri dari 3 taraf yaitu:

w1 = waktu penyerapan selama 2 minggu

w2 = waktu penyerapan selama 4 minggu

w3 = waktu penyerapan selama 6 minggu

Prosedur penelitian

Tanah yang digunakan adalah tanah sawah yang diambil dari areal persawahan Desa Sidomulyo, Kecamatan Anggana, Kabupaten Kutai Kartanegara. Sampel tanah diambil menggunakan metode random sampling. Analisis dilakukan pada Laboratorium tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Tahap pertama yang dilakukan sebelum penanaman adalah analisis kadar Fe awal tanah.

Tanah yang telah halus ditimbang sebanyak 0,5 gram kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 0,5 mL asam perklorat serta 5 mL asam nitrat, kemudian di diamkan satu malam. Keesokan harinya dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam 30 menit, kemudian suhu ditingkatkan menjadi 130°C selama 1 jam, suhu ditingkatkan lagi menjadi 150°C selama 2 jam 30 menit (sampai uap kuning habis, bila masih ada uap kuning waktu pemanasan ditambah lagi), setelah uap kuning habis suhu ditingkatkan menjadi 170°C selama 1 jam, kemudian suhu ditingkatkan menjadi 200°C selama 1 jam (hingga terbentuk uap putih). Destruksi selesai dengan terbentuknya endapan putih atau sisa larutan jernih sekitar 0,5 mL. Ekstrak didinginkan kemudian diencerkan dengan air bebas ion menjadi 50 mL, lalu dikocok hingga homogen, biarkan semalam.

Fe diukur langsung dari ekstrak contoh menggunakan SSA dengan deret standar masing-masing sebagai pembanding. Al menggunakan nyala campuran gas N₂O-asetilen, sedangkan yang lainnya menggunakan nyala campuran udara-asetilen.

pengamatan

Penanaman dilakukan selama enam minggu dengan pengamatan waktu panen sebanyak 2 kali yaitu pada 2 minggu setelah tanam, 4 minggu setelah tanam dan 6 minggu. Parameter yang diamati yaitu berat basah, berat kering, pH, kandungan Fe total pada tanah, kandungan Fe pada tanaman.

Pengambilan Data Tanah dan Tanaman

Penanaman dilakukan selama enam minggu dengan pengamatan waktu panen sebanyak 2 kali yaitu pada 2 minggu setelah tanam, 4 minggu setelah tanam dan 6 minggu. Parameter yang diamati yaitu berat basah, berat kering, pH, kandungan Fe total pada tanah, kandungan Fe pada tanaman.

Analisis Data Tanah dan Tanaman

Data analisis menggunakan sidik ragam selang kepercayaan 95%. Jika hasil analisis berbeda nyata maka akan dilakukan uji lanjutan Beda Nyata Terkecil (BNT) atau Least Significant Difference (LSD) untuk mengetahui perlakuan mana yang memberikan pengaruh nyata terhadap variabel analisis.

Efektivitas serapan

Perhitungan efektivitas penyerapan yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kemampuan penyerapan besi. Efektivitas penyerapan (EP) Fe oleh kangkung air dilihat dari nilai efektifitas penyerapannya. Efektivitas penyerapan dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Yusuf, 2014), sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas Penyerapan (\%)} = \frac{\text{Logam pada tanaman}}{\text{Logam pada tanah awal}} \times 100$$

HASIL DAN DISKUSI

1. Data tanah

a. Nilai pH tanah

Berdasarkan hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah benih berpengaruh nyata, sedangkan perlakuan waktu penyerapan berpengaruh sangat nyata terhadap pH tanah. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan 2 mst, 4 mst, dan 6 mst berdasarkan parameter pH tanah

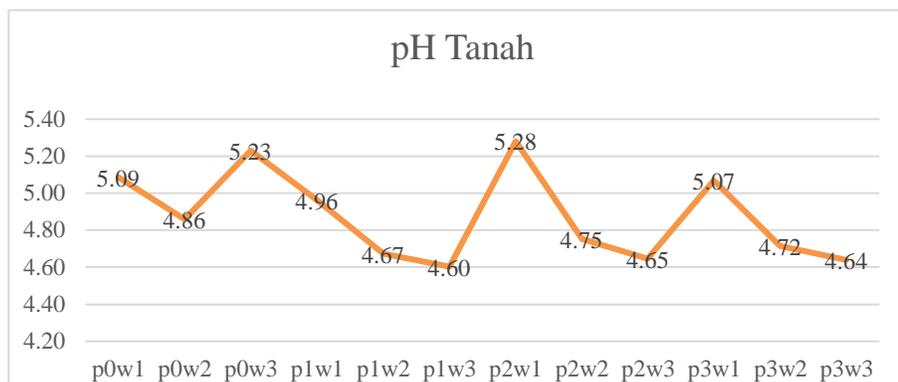
Jumlah benih	Waktu penyerapan			Rata-rata
	w1	w2	w3	
p0= 0	5.09	4.86	5.23	5.06 ^b
p1= 10	4.96	4.67	4.60	4.75 ^a
p2= 20	5.28	4.75	4.65	4.89 ^{ab}
p3= 30	5.07	4.72	4.64	4.81 ^a
Rata-rata	5.10 ^b	4.75 ^a	4.78 ^a	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5% ($p=0,228$; $w=0,197$)

Berdasarkan uji BNT 5% nilai rata-rata akhir dari pH tanah yang tertinggi untuk perlakuan jumlah benih terdapat pada p0 yang bernilai 5.06, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p1 yang bernilai 4.75. Perlakuan p0 berbeda sangat nyata dengan perlakuan p1 dan p3. Nilai rata-rata akhir dari pH tanah yang tertinggi untuk perlakuan waktu penyerapan terdapat pada w1 yang bernilai 5.10, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada w2 yang bernilai 4.75. Perlakuan w1 berbeda sangat nyata dengan w2 dan w3. Nilai rata-rata tertinggi untuk interaksi (pxw) terdapat pada p2w1 yang bernilai 5.28 dengan jumlah benih sebanyak 20 benih dan waktu penyerapan 2 minggu, sedangkan nilai rata-rata terendah terdapat pada p1w3 yang bernilai 4.60 dengan jumlah benih sebanyak 10 benih dan waktu penyerapan 6 minggu.

Nilai pH tanah pada perlakuan p0 mengalami fluktuasi dalam kurun waktu 6 minggu, dimana pada minggu kedua nilai pH tanah sebesar 5,09, pada minggu keempat mengalami penurunan menjadi 4,86, dan pada minggu keenam nilai pH tanah mengalami kenaikan menjadi 5,23. Perlakuan p1 pada parameter nilai pH menunjukkan bahwa perlakuan p1 mengalami penurunan nilai pH di setiap minggunya, yakni pada minggu kedua nilai pH tanah sebesar 4,96, pada minggu keempat mengalami penurunan menjadi 4,67, dan pada minggu keenam nilai pH tanah tetap mengalami penurunan menjadi 4,60. Perlakuan p2 juga mengalami penurunan nilai pH di setiap minggunya, dimana pada minggu kedua nilai pH tanah sebesar 5,28, pada minggu ke keempat mengalami penurunan menjadi 4,75 dan pada minggu keenam nilai pH mengalami penurunan menjadi 4,65. Perlakuan p3 mengalami penurunan nilai pH pada setiap minggunya, dimana minggu kedua nilai pH sebesar 5,07, pada minggu keempat mengalami penurunan menjadi 4,72 dan nilai pH tanah pada minggu keenam mengalami penurunan menjadi 4,64. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Secara garis besar pH tanah cenderung mengalami penurunan sejalan dengan waktu fitoremediasi, kecuali pada p0. Menurut (Ni'mah et al., 2019) pH tanah menurun sejalan dengan penambahan waktu pada fitoremediasi. Penurunan pH ini dipengaruhi oleh jumlah CO₂ yang dihasilkan dari proses respirasi oleh mikroorganisme didalam tanah dengan perlakuan fitoremediasi. Pendapat yang sama dikemukakan oleh (Zou et al., 2021) yang menyatakan bahwa fitoremediasi pada *S. plumbizincicola* yang ditumpangsarikan dan tanaman gandum berpengaruh nyata terhadap pH tanah, dengan penurunan pH pada semua perlakuan tumpangsari. Penurunan pH diduga disebabkan oleh sekresi asam organik seperti asam sitrat, oleh akar tanaman.



Gambar 1. Grafik Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan terhadap pH tanah

b. Kandungan Fe tanah

Berdasarkan hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah benih dan waktu penyerapan berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan Fe total pada tanah. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan 2 mst, 4 mst, dan 6 mst berdasarkan parameter kandungan Fe pada tanah

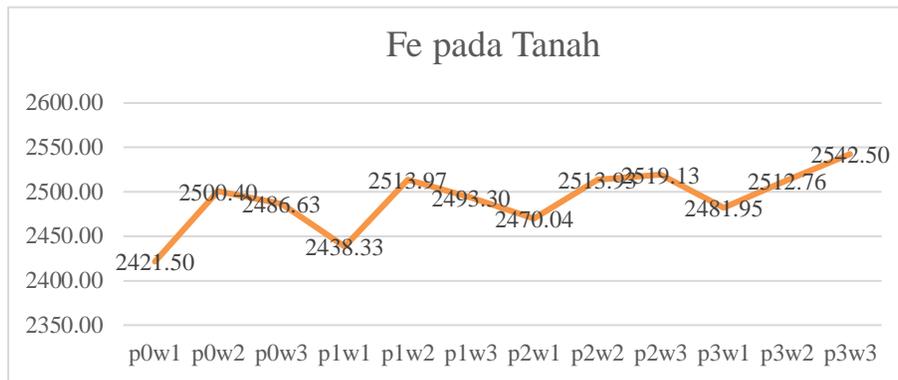
Jumlah benih	Waktu penyerapan			Rata-rata
	w1	w2	w3	
p0= 0	2421.50	2500.40	2486.63	2469.51 ^a
p1= 10	2438.33	2513.97	2493.30	2481.87 ^{ab}
p2= 20	2470.04	2513.93	2519.13	2501.03 ^{bc}
p3= 30	2481.95	2512.76	2542.50	2512.40 ^c
Rata-rata	2452.95 ^a	2510.26 ^b	2510.39 ^b	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5% (p= 25,348; w= 21,952)

Berdasarkan uji BNT 5% nilai rata-rata akhir kandungan Fe total pada tanah yang tertinggi untuk perlakuan jumlah benih terdapat pada p3 yang bernilai 2512.40 ppm, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p0 yang bernilai 2469.51 ppm. Perlakuan p3 berbeda sangat nyata dengan perlakuan p0 dan p1. Nilai rata-rata akhir tertinggi kandungan Fe total pada tanah untuk perlakuan waktu penyerapan terdapat pada w3 yang bernilai 2510.39 ppm, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada w1 yang bernilai 2452.95 ppm. Perlakuan w1 berbeda sangat nyata dengan perlakuan w2 dan w3. Nilai rata-rata tertinggi untuk interaksi (pxw) terdapat pada p3w3 yang bernilai 2542.50 ppm dengan jumlah benih sebanyak 30 benih dan waktu penyerapan selama 6 minggu, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p0w1 yang bernilai 2421.50 ppm dengan perlakuan tanpa benih dan lama waktu penyerapan selama 2 minggu.

Kandungan Fe pada tanah untuk perlakuan p0 (tanpa benih) dan perlakuan p1 (10 benih) mengalami fluktuasi disetiap minggunya, dimana untuk perlakuan p0 pada minggu kedua Fe yang terdapat dalam tanah sebanyak 2421,50 ppm, pada minggu keempat Fe yang terdapat dalam tanah mengalami kenaikan menjadi 2500,40 ppm, dan pada minggu keenam Fe yang terdapat dalam tanah mengalami penurunan menjadi 2486,63 ppm. Perlakuan p1 pada minggu kedua Fe yang terdapat dalam tanah sebanyak 2438,33 ppm, pada minggu keempat mengalami kenaikan menjadi 2513,97 ppm, dan pada minggu keenam kandungan Fe dalam tanah mengalami penurunan menjadi 2493,30 ppm. Berbeda halnya dengan kandungan Fe dalam tanah yang terjadi pada perlakuan p2 (20 benih) dan p3 (30 benih). Berdasarkan pengamatan, pada perlakuan p2 dan p3 kandungan Fe dalam tanah mengalami kenaikan di setiap minggunya, dimana perlakuan p2 pada minggu kedua kandungan Fe dalam tanah sebanyak 2470,04 ppm, pada minggu ke empat mengalami kenaikan menjadi 2513,93 ppm, dan pada minggu keenam kandungan Fe dalam tanah juga mengalami kenaikan menjadi 2519,13 ppm. Adapaun pada perlakuan p3 kandungan Fe dalam tanah pada minggu kedua sebesar 2481,95 ppm, dan pada minggu keempat dan keenam terus mengalami kenaikan dari 2512,76 ppm menjadi 2542,50 ppm.

Menurut (Saidi et al., 2021), pada tanah masam, unsur mikro seperti Fe dapat larut dan tersedia bagi tanaman dalam jumlah banyak dan seringkali meracuni tanaman. Batas kritis keracunan Fe pada tanaman adalah 300 ppm. Jika dilihat dari gambar 2 maka kandungan Fe dalam tanah sudah melebihi batas kritis keracunan Fe. Walaupun Fe tidak termasuk zat yang sangat beracun, tetapi Fe dapat bersifat sangat beracun pada kondisi lingkungan asam dalam endapan sulfida (Mazumdar & Das, 2015). Tingginya konsentrasi Fe dalam tanah selanjutnya akan mempengaruhi produksi padi sawah dimana menurut (Zahra et al., 2021), penurunan hasil padi berhubungan langsung dengan kandungan Fe²⁺ dalam larutan tanah. Toksisitas Fe di akhir periode vegetatif dan reproduktif awal menyebabkan malai per rumpun yang terbentuk lebih sedikit, pembungaan mengalami keterlambatan, dan mempengaruhi kematangan malai.



Gambar 2. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan pada parameter kandungan Fe pada tanah

2. Data Tanaman

Data yang digunakan dalam analisis data tanaman berbeda dengan data tanah, untuk data tanaman tidak memasukkan data p0 dikarenakan data p0 tidak ada perlakuan pemberian tanaman. Perhitungan analisis data tanaman hasil yang digunakan adalah yang memiliki perlakuan pemberian tanaman yaitu dari p1 hingga p3.

a. Berat basah tanaman kangkung air

Berdasarkan hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah benih, waktu penyerapan, serta interaksi keduanya berpengaruh sangat nyata terhadap berat basah tanaman kangkung. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan 2 mst, 4 mst dan 6 mst berdasarkan parameter berat basah

Jumlah benih	Waktu penyerapan			Rata-rata
	w1	w2	w3	
p1= 10	7.05 ^a	25.71 ^c	34.34 ^d	22.37 ^a
p2= 20	12.81 ^{ab}	46.68 ^e	47.28 ^e	35.59 ^b
p3= 30	18.41 ^b	53.86 ^f	60.48 ^g	44.25 ^c
Rata-rata	12.76 ^a	42.08 ^b	47.36 ^c	

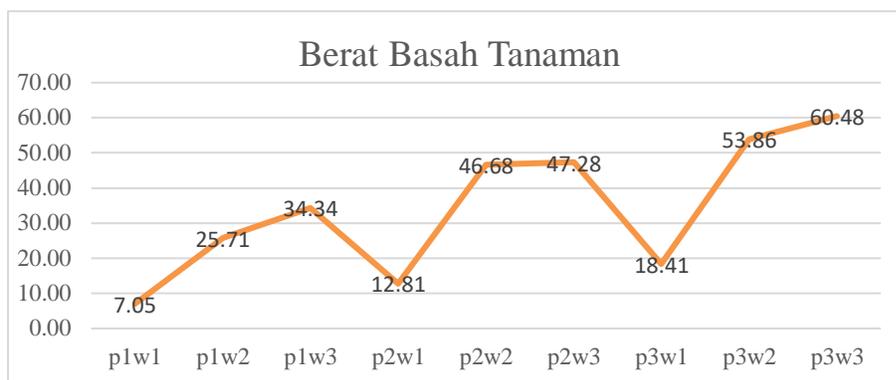
Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5% (p= 3,533; w= 3,533; pxw= 6,120)

Berdasarkan uji BNT 5% nilai rata-rata akhir berat basah yang tertinggi untuk perlakuan jumlah benih terdapat pada p3 yang bernilai 44.25, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p1 yang bernilai 22.37. Perlakuan p1 berbeda sangat nyata dengan perlakuan p2 dan p3. Nilai rata-rata akhir berat basah yang tertinggi untuk perlakuan waktu penyerapan terdapat pada w3 yang bernilai 47.36, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada w1 yang bernilai 12.76. Perlakuan w1 berbeda sangat nyata dengan w2 dan w3. Nilai rata-rata tertinggi untuk interaksi (pxw) terdapat pada p3w3 yang bernilai 60.48, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p1w1 yang bernilai 7.05. Interaksi (pxw) dari p1w1 berbeda sangat nyata terhadap p3w1, p1w2, p2w2, p3w2, p1w3, p2w3, dan p3w3, sedangkan p1w1 tidak berbeda nyata terhadap p2w1.

Berdasarkan pengamatan, berat basah pada tanaman kangkung untuk perlakuan p1 (10 benih), p2 (20 benih), p3 (30 benih) terus mengalami kenaikan di setiap minggunya, yakni pada perlakuan p1 berat basah tanaman kangkung minggu kedua memiliki berat 7,05 gram, pada minggu keempat mengalami kenaikan menjadi 25,71 gram, dan pada minggu keenam terus mengalami kenaikan menjadi 34,34 gram. Perlakuan p2 berat basah tanaman kangkung minggu kedua yaitu 12,81 gram, pada minggu keempat naik menjadi 46,68 gram, dan pada minggu keenam berat basah dari tanaman kangkung mengalami kenaikan menjadi 47,28 gram. Perlakuan p3 berat basah tanaman kangkung minggu

kedua memiliki berat 18,41 gram, pada minggu keempat mengalami kenaikan menjadi 53.86 gram dan pada minggu keenam berat basah tanaman kangkung mengalami kenaikan hingga 60,48 gram. Hal tersebut dapat di lihat pada Gambar 3.

Menurut (Zulfahmi et al., 2021), tanaman kangkung merupakan tanaman hiperakumulator yang menjanjikan untuk fitoremediasi berbagai kontaminan air limbah termasuk: kromium, kadmium, timbal, tekstil pewarna, dan arsenik. Kangkung sangat potensial digunakan dalam fitoremediasi karena kangkung bisa tumbuh baik bila dibudidayakan pada media yang tercemar.



Gambar 3. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan terhadap berat basah tanaman kangkung air

b. Berat kering tanaman kangkung air

Berdasarkan hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah benih, waktu penyerapan dan interaksi keduanya berpengaruh sangat nyata terhadap berat kering tanaman kangkung air. Hasil pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan 2 mst, 4 mst dan 6 mst berdasarkan parameter berat kering

Jumlah benih	Waktu penyerapan			Rata-rata
	w1	w2	w3	
p1= 10	0.57 ^a	2.69 ^b	3.81 ^c	2.36 ^a
p2= 20	0.84 ^a	5.81 ^{de}	5.26 ^d	3.97 ^b
p3= 30	1.24 ^a	6.26 ^e	6.46 ^e	4.65 ^c
Rata-rata	0.88 ^a	4.92 ^b	5.18 ^c	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5% (p= 0,460; w= 0,460)

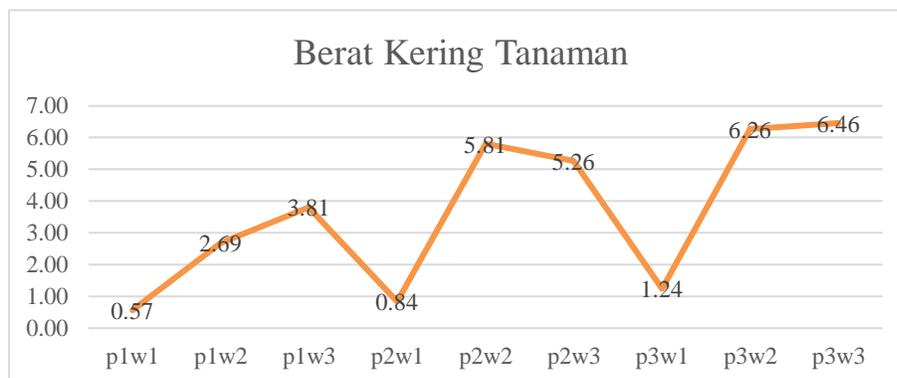
Berdasarkan uji lanjut BNT 5% nilai rata-rata akhir berat kering tertinggi untuk perlakuan jumlah benih terdapat pada p3 yang bernilai 4.65, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p1 yang bernilai 2.36. Perlakuan p1 berbeda sangat nyata dengan perlakuan p2 dan p3. Nilai rata-rata akhir berat kering tertinggi untuk perlakuan waktu penyerapan terdapat pada w3 yang bernilai 5.18, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada w1 yang bernilai 0.88. Perlakuan p1 berbeda sangat nyata dengan w2 dan w3. Nilai rata-rata tertinggi untuk interaksi (pxw) terdapat pada p3w3 yang bernilai 6.46, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p1w1 yang bernilai 0.57. Interaksi (pxw) p1w2 berbeda sangat nyata terhadap p1w1, p2w1, p3w1, p2w2, p3w2, p1w3, p2w3, dan p3w3.

Berat kering tanamana kangkung

Berdasarkan pengamatan, perlakuan p1 dan p3 mengalami kenaikan berat kering di setiap minggunya, dimana pada perakuan p1 berat kering tanaman minggu kedua memiliki berat 0,57 gram, berat kering tanaman pada minggu keempat yaitu 2,69 gram, dan pada minggu keenam berat kering tanaman mengalami kenaikan menjadi 3,81 gram.

Berat kering tanaman pada perlakuan p3 minggu kedua memiliki berat 1,24 gram, dan terus mengalami kenaikan di minggu keempat dan keenam yaitu sebesar 6,26 dan 6,46 gram.

Berbeda dengan perlakuan p2, berat kering tanaman mengalami fluktuasi di setiap minggunya, dimana pada minggu kedua berat kering tanaman adalah 0,84 gram, dan mengalami kenaikan berat kering pada minggu keempat sebesar 5,81 gram, namun pada minggu keenam mengalami penurunan berat kering menjadi 5,26 gram. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan 2 mst, 4 mst dan 6 mst terhadap berat kering tanaman kangkung air

c. Kandungan Fe pada tanaman kangkung air

Berdasarkan hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan jumlah benih dan waktu penyerapan berpengaruh sangat nyata terhadap kandungan Fe pada tanaman. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan 2 mst, 4 mst, dan 6 mst berdasarkan parameter kandungan Fe yang terdapat pada tanaman kangkung

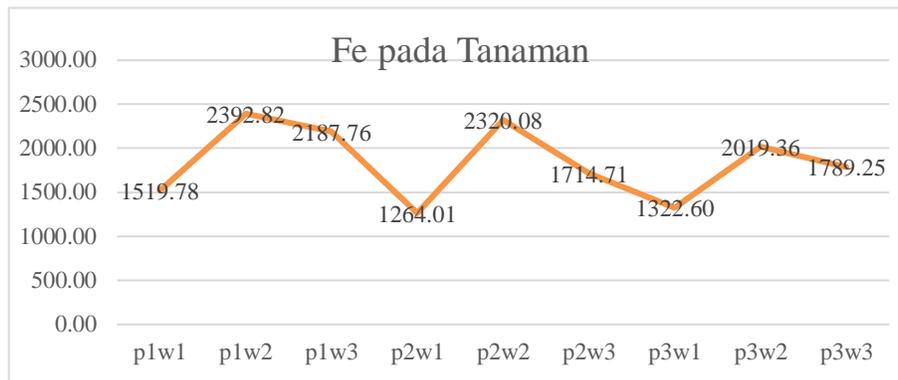
Jumlah benih	Waktu penyerapan			Rata-rata
	w1	w2	w3	
p1= 10	1519.78	2392.82	2187.76	2033.45 ^b
p2= 20	1264.01	2320.08	1714.71	1766.26 ^a
p3= 30	1322.60	2019.36	1789.25	1710.40 ^a
Rata-rata	1368.79 ^a	2244.09 ^c	1897.24 ^b	

Keterangan: angka-angka yang diikuti huruf kecil yang sama pada kolom menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata pada uji BNT taraf 5% (p= 206,45; w= 206,45)

Berdasarkan uji BNT 5% nilai rata-rata akhir kandungan Fe pada tanaman tertinggi untuk perlakuan jumlah benih terdapat pada p1 yang bernilai 2033.45, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p3 yang bernilai 1710.40. Perlakuan p3 berbeda sangat nyata dengan perlakuan p1. Nilai rata-rata akhir kandungan Fe pada tanaman yang tertinggi untuk perlakuan waktu penyerapan terdapat pada w2 yang bernilai 2244.09, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada w1 yang bernilai 1368.79. Perlakuan w1 berbeda sangat nyata dengan perlakuan w2 dan w3. Nilai rata-rata tertinggi untuk interaksi (pxw) terdapat pada p1w2 yang bernilai 2392.82, sedangkan rata-rata terendah terdapat pada p2w1 yang bernilai 1264.01

Kandungan Fe pada tanaman mengalami fluktuasi di setiap minggunya dalam kurun waktu enam minggu. Perlakuan p1 minggu kedua kandungan Fe pada tanaman senilai 1519,78 ppm, pada minggu keempat kandungan Fe pada tanaman mengalami kenaikan menjadi 2392,82 ppm, dan mengalami penurunan pada minggu keenam dengan nilai 2187,76 ppm. Perlakuan p2 di minggu kedua memiliki kandungan Fe senilai 1264,01 ppm, pada minggu keempat kandungan Fe tanaman tersebut mengalami kenaikan menjadi 2320,08 ppm, dan pada minggu keenam, kandungan Fe pada tanaman mengalami penurunan menjadi 1714,71 ppm. Kandungan Fe tanaman pada perlakuan p3 minggu kedua senilai 1322,60 ppm, pada minggu keempat mengalami kenaikan hingga 2019,36 ppm, namun pada minggu keenam mengalami penurunan menjadi 1789,25 ppm. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.

Berdasarkan penelitian dari (Mazumdar & Das, 2021), tanaman kangkung air menyerap unsur-unsur seperti Cu, Mn, Zn, dan Ni, I dengan lebih baik dibandingkan dengan penyerapan unsur Pb dan Fe. Proses penyerapan dan translokasi oleh tanaman hiperakumulator tidak hanya bergantung pada konsentrasi unsur-unsur di dalam tanah tetapi juga pada keterkaitan logam-tanaman, spesies tanaman serta genetik tanaman. Spesies tanaman yang berbeda dari tanaman yang sama memiliki potensi serapan logam yang berbeda. Pada tanaman hiperakumulator, logam berat sebagian besar terakumulasi di akar tanaman karena luas permukaan rambut akar yang lebih besar daripada batang dan daun untuk penyerapan logam berat. Akar merupakan bagian pertama dari tubuh tanaman yang menyerap logam berat dari tanah atau air sebelum didistribusikan ke bagian lain. Akar juga satu-satunya bagian yang tertutup, dan langsung memiliki kontak dengan media tumbuh tanaman, sehingga akar menunjukkan potensi yang lebih besar untuk menyerap nutrisi dan unsur yang bersifat toksik karena fisiologi tanamannya (Hanafiah et al., 2020).



Gambar 5. Pengaruh jumlah benih dengan lama waktu penyerapan terhadap kandungan Fe pada tanaman kangkung

3. Efektifitas serapan Fe

Perhitungan Efektifitas penyerapan Fe tidak menggunakan data p0, dikarenakan pada data p0 tidak terdapat perlakuan tanaman.

- Efektifitas serapan Fe pada perlakuan p1

$$\text{Efektifitas Penyerapan (\%)} = \frac{2033,45}{9100} \times 100 = 22,34\%$$

- Efektifitas serapan Fe pada perlakuan p2 (20 benih)

$$\text{Efektifitas Penyerapan (\%)} = \frac{1766,26}{9100} \times 100 = 19,40\%$$

- Efektifitas serapan Fe pada perlakuan p3 (30 benih)

$$\text{Efektifitas Penyerapan (\%)} = \frac{1710,40}{9100} \times 100 = 18,79\%$$

Berdasarkan efektifitas serapan Fe, perlakuan jumlah benih yang memiliki efektifitas penyerapan tertinggi dalam penyerapan logam berat Fe adalah pada perlakuan p1 yaitu dengan jumlah benih sebanyak 10 benih. Hal tersebut dapat di lihat dari perhitungan efektifitas serapan, dimana pada perlakuan p1 dengan 10 benih memiliki persentase efektifitas serapan Fe sebesar 22,34%, sedangkan dari ketiga perlakuan tersebut yang memiliki efektifitas terendah terdapat pada p3 yaitu dengan jumlah benih tanaman sebanyak 30 benih, dimana persentase efektifitas serapan Fe nya sebesar 18,79%.

Berdasarkan penelitian oleh (Karyati & Rahman, 2019), penyerapan kadar Fe oleh tumbuhan kangkung air sebesar 65,03%, dimana terjadi penurunan kadar Fe pada tumbuhan kangkung sebesar 2,32 dan menurun menjadi

1,02 mgL⁻¹ pada air galian lahan pasca tambang batubara. Efisiensi penyerapan logam tanaman dari tanah tergantung pada beberapa faktor seperti : mobilitas logam, fitoavailabilitas, pH, potensial redoks, bahan organik tanah, tekstur tanah, komposisi mineral, suhu, rezim air, dan interaksi antara logam. Kangkung air melakukan fitoremediasi tanah berlogam, dengan efisiensi 25-48 % untuk Cd, Ni, Zn, Mn, dan Fe sehingga tanaman kangkung air dapat direkomendasikan untuk digunakan dalam dekontaminasi beberapa logam (Mazumdar & Das, 2021).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa parameter nilai pH pada tanah, kandungan Fe tanah, berat basah, berat kering dan Fe pada tanaman memiliki pengaruh nyata terhadap jumlah benih tanaman kangkung dan waktu penyerapan, sedangkan untuk parameter yang hubungan keduanya tidak berpengaruh nyata adalah nilai pH pada tanah, kandungan Fe pada tanah, dan kandungan Fe pada tanaman. Kadar logam berat Fe tertinggi yang dapat diserap oleh tanaman terdapat pada jumlah benih tanaman kangkung sebanyak 10 benih dengan waktu penyerapan selama 4 minggu yaitu 2392,82 ppm. perlakuan jumlah benih yang memiliki efektifitas penyerapan tertinggi dalam penyerapan logam berat Fe adalah pada perlakuan p1 yaitu dengan jumlah benih sebanyak 10 benih dengan persentase efektifitas serapan Fe sebesar 82,34%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini di biayai oleh Hibah Penelitian Dosen Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman Tahun 2021. Kami menyampaikan ucapan terimakasih kepada Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman atas bantuan biaya penelitian yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada Ibu Nurul Puspita Palupi, S.P., M.Si, Ibu Roro Kesumaningwati, S.P., M.Sc, Ibu Dr. Rabiatul Jannah, S.P., M.P, Bapak Dr. Ir. H. Mulyadi, M. Sc, dan Bapak RM. Nur Hartanto, S. P., M. Si, serta kepada seluruh pihak yang telah banyak membantu, membimbing dan memberi masukan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anand, S., Bharti, S. K., Kumar, S., Barman, S. C., & Kumar, N. (2019). *Phytoremediation of Heavy Metals and Pesticides Present in Water Using Aquatic Macrophytes*. https://doi.org/10.1007/978-981-32-9664-0_4
- Fitri Dewi, M. Faisal, & Mariana. (2015). EFISIENSI PENYERAPAN PHOSPAT LIMBAH LAUNDRY MENGGUNAKAN KANGKUNG AIR (*Ipomoea aquatica* forsk) DAN JERINGAU (*Acorus calamus*). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 7–10. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1452>
- Hanafiah, M. M., Zainuddin, M. F., Nizam, N. U. M., Halim, A. A., & Rasool, A. (2020). Phytoremediation of aluminum and iron from industrial wastewater using *Ipomoea aquatica* and *Centella asiatica*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/app10093064>
- Karyati, N., & Rahman, M. (2019). EFEKTIFITAS BEBERAPA JENIS GULMA AIR TERHADAP PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT PADA AIR BEKAS GALIAN PASCA TAMBANG BATUBARA (VOID) THE EFFECTIVENESS OF SOME TYPES OF WATER WEEDS ON REDUCING HEAVY METAL LEVELS IN POST-COAL MINING EXCELLENT WATER (VOID) Void. *AQUATIC*, 2. <http://jtam.ulm.ac.id/index.php/aquatic/article/view/1158/660>
- Liu, S., Yang, B., Liang, Y., Xiao, Y., & Fang, J. (2020). Prospect of phytoremediation combined with other approaches for remediation of heavy metal-polluted soils. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 16069–16085. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08282-6>
- Mazumdar, K., & Das, S. (2015). Phytoremediation of pb, zn, fe, and mg with 25 wetland plant species from a paper mill contaminated site in north east india. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(1), 701–710. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3377-7>
- Mazumdar, K., & Das, S. (2021). Phytoremediation of soil treated with metalliferous leachate from an abandoned industrial site by *Alternanthera sessilis* and *Ipomoea aquatica*: Metal extraction and biochemical responses. *Ecological Engineering*, 170(June). <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106349>
- Ni'mah, L., Anshari, M. A., & Saputra, H. A. (2019). Pengaruh variasi massa dan lama kontak fitoremediasi tumbuhan parupuk (*Phragmites karka*) terhadap derajat keasaman (pH) dan penurunan kadar merkuri pada perairan bekas penambangan intan dan emas kabupaten Banjar. *Konversi*, 8(1), 55–62. <https://doi.org/10.24853/konversi.8.1.8>
- Saidi, B. B., Hendri, J., & Suratman. (2021). Assessment of water management technology on rice productivity on iron poisoning rice fields in Jambi. *E3S Web of Conferences*, 306, 04018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130604018>
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*, 11(April), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>
- Zahra, N., Hafeez, M. B., Shaikat, K., Wahid, A., & Hasanuzzaman, M. (2021). Fe toxicity in plants: Impacts and remediation. *Physiologia*

Plantarum, 173(1), 201–222. <https://doi.org/10.1111/ppl.13361>

- Zou, J., Song, F., Lu, Y., Zhuge, Y., Niu, Y., Lou, Y., Pan, H., Zhang, P., & Pang, L. (2021). Phytoremediation potential of wheat intercropped with different densities of *Sedum plumbizincicola* in soil contaminated with cadmium and zinc. *Chemosphere*, 276, 130223. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130223>
- Zulfahmi, I., Kandi, R. N., Huslina, F., Rahmawati, L., Muliari, M., Sumon, K. A., & Rahman, M. M. (2021). Phytoremediation of palm oil mill effluent (POME) using water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk). *Environmental Technology and Innovation*, 21(xxxx), 101260. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101260>