

Respon Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) Pada Media Terkontaminasi Logam Berat Tembaga (Cu)

Dipo Dwitanto Amir Putra¹, Anis Rosyidah², Siti Muslikah³

¹Departemen Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Malang, Jalan MT. Haryono, No. 193, Malang 65144, Jawa Timur, Indonesia
Email korespondensi : 21901031017@unisma.ac.id / ard@unisma.ac.id

Abstrak

Limbah logam berat (Cu) merupakan masalah lingkungan saat ini. Metode fitoremediasi memanfaatkan tanaman dengan daya akumulasi tinggi untuk menurunkan konsentrasi logam berat dalam tanah melalui penanaman tanaman pengikat logam berat. Tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) sebagai indikator secara ekonomi merupakan kultivar yang tahan terhadap cekaman logam Cu. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh pemberian logam berat tembaga (Cu) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) sebagai hiperakumulator, distribusi logam (Cu) pada organ tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan Rancangan Acak Kelompok sederhana. Perlakuan berupa dosis (Cu), terdiri dari: D0= 0 mg D1= 500 mg D3= 625 mg tanah D3= 750 mg. Data yang diperoleh dianalisis uji F dan uji lanjut beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5% apabila terdapat pengaruh nyata. Hasil penelitian menunjukkan tingkat logam berat Cu menghambat pertumbuhan akar, percabangan, tanaman pendek dan kandungan klorofil rendah. Semakin tinggi konsentrasi Cu pertumbuhan semakin rendah dan tanaman mengalami klorosis akibat terganggunya metabolisme. Tanaman terganggu akumulasi tertinggi logam Cu diakar terjadi pada konsentrasi dengan nilai 625 mg dan 750 mg. Akumulasi Cu lebih tinggi di jaringan akar dibandingkan daun TF berkisar antara 0,11 hingga 0,17.

Kata kunci: Brassica rapa L.; Logam Cu; Akumulasi Cu

Abstract

Heavy metal waste (Cu) is a current environmental problem. The phytoremediation method utilizes plants with a high capacity for metal accumulation to reduce concentrations of heavy metals in soil by planting heavy metal-binding plants. Pakcoy (*Brassica rapa L.*) as an indicator of economic viability is a cultivar that is resistant to Cu metal stress. The objective of this study is to determine the effect of heavy metal copper (Cu) on the growth and yield of pakcoy (*Brassica rapa L.*) as a hyperaccumulator. Then to determine the distribution of metal (Cu) in pakcoy (*Brassica rapa L.*) plant organs. The research was conducted experimentally using a simple Randomized Block Design. The treatments in this study involve different dosages of copper (Cu), consisting of D0= 0 mg, D1= 500 mg, D2= 625 mg, and D3= 750 mg of soil. The data obtained were analyzed using variance (F-test) and test with the least significant difference (LSD) test at the 5% level in the presence of a significant effect. The findings reveal that the level of heavy metal Cu inhibits root growth, branching, resulting in shorter plants, and decreased chlorophyll content. The higher the concentration of Cu, the lower the growth and chlorosis of plants due to metabolic disturbances. The highest accumulation of Cu metal in the roots occurred at concentrations with values of 625 mg and 750 mg. The accumulation of Cu was higher in the root tissue than in the leaf TF ranging from 0.11 to 0.17.

Keywords: Brassica rapa L.; Cu metal; Cu accumulation.

Pendahuluan

Pencemaran tanah dan air disebabkan limbah industri, rumah potong unggas, pertambangan, residu pupuk, pestisida, dan lain-lain (Al Kholif & Ratnawati, 2017). Limbah logam berat mengandung tembaga menjadi permasalahan kondisi lingkungan. Ditemukan di hampir semua limbah industri, peningkatan jumlah industri menyebabkan peningkatan pencemaran sumber air oleh limbah industri dibuang ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu (Agusetyadevy, Sumiyati and Sutrisno, 2013).

Unsur tembaga diambil oleh akar tanaman jumlah kecil, bentuk Cu^{2+} dan berperan proses oksidasi, reduksi dan pembentukan enzim. Logam Cu merupakan trace element tetapi dibutuhkan oleh jaringan dalam jumlah sangat kecil (Arifin, 2008). (Palar, 2004) Bahwa Cu salah satu jenis logam esensial, logam yang tidak bisa diproduksi oleh tubuh, dibutuhkan dalam jumlah sedikit, tetapi masuk jumlah berlebihan di dalam menyebabkan efek toksik dengan tumbuhan biasanya logam Cu berperan dalam pertumbuhannya, yaitu sebagai aktivator enzim.

Metode fitoremediasi menggunakan tanaman berakumulasi tinggi menurunkan konsentrasi logam berat tanah dengan tanaman pengikat logam berat. Fitoremediasi merupakan teknologi perbaikan tanah berbasis tanaman (Mangkoedihardjo and Ganjar Samudro, 2010), fitoremediasi merupakan salah satu alternatif teknik pengolahan tanah tercemar yang ramah lingkungan, efektif dan murah dibandingkan dengan metode lain.

Pakcoy (*Brassica rapa* L.) tanaman yang mampu mengasimilasi bahan organik menurut (Andreeilee BF, Santoso M and Nugroho A, 2014). Menurut (Wibowo S and Asriyanti AS, 2013) pakcoy merupakan tanaman yang mudah dibudidayakan, tahan lembab, dan semusim. Tanaman pakcoy salah satu jenis sawi - sawian, pakcoy merupakan tanaman berumur pendek yang bernilai ekonomis tinggi.

Pakcoy memiliki keunggulan dibandingkan sawi lainnya dalam waktu panen yang singkat, daya adaptasi yang luas dan toleransi suhu. Tanaman pakcoy dapat bertahan lama bila disimpan pada suhu 0-5 °C dan kelembaban 95% (Utomo, E.S and Isman N, 2014). Tanaman pakcoy digunakan sebagai tanaman indikator karena tanaman pakcoy tidak hanya layak secara ekonomi, tetapi juga kultivar yang tahan cekaman logam berat, mampu mentransfer logam berat ke lebih banyak jaringan akar dari pada jaringan tajuk dengan bantuan mikroorganisme (Junyo and Handayanto, 2017).

Bahan dan Metode

Pelaksanaan penelitian dilakukan greenhouse Jl. MT. Haryono no. 198, Dinoyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang. Pengamatan yang dilakukan laboratorium untuk pengamatan distribusi logam pada organ tanaman bertempat di Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jawa Timur. Penelitian dilakukan pada bulan Desember – Febuari 2023. Alat – alat yang diperlukan dan digunakan: cangkul, polybag 40cm x 40cm tanpa lubang, trai semai, ayakan tanah, sendok, timbangan, ember, gembor, pengukur / penggaris, plastic klip, sprayer, oven, AAS Spektrofotometer, alat Chlorophyll Meter Konica Minolta seri SPAD-502, blender, kamera, dan alat tulis. Bahan- bahan yang diperlukan dan digunakan: Benih sawi pakcoy F1 dataran rendah varian Nauli, tanah, pasir, air, pupuk NPK, serbuk Tembaga (II) Sulfat Pentahidrat / $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dan bahan kimia untuk analisis serapan logam berat Cu ditanaman.

Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) sederhana. Muatan perlakuannya adalah dosis (Cu), terdiri dari: D0= 0 mg, D1= 500 mg, D3= 625 mg, D3= 750 mg. Dari empat perlakuan pemberian logam (Cu), masing-masing diulang sebanyak 3 kali. Setiap perlakuan dalam setiap ulangan terdapat 5 sampel tanaman. Sehingga terdapat 60 tanaman dalam polibag. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis ragam (uji F) dengan taraf nyata 5%, dan apabila pada uji F menunjukkan pengaruh nyata, maka dilanjutkan uji lanjut beda nyata terkecil (BNT) taraf 5%.

Hasil dan Pembahasan

Tinggi Tanaman

Tabel 1. Rata-Rata Tinggi Tanaman Pakcoy Akibat Konsentrasi Cu Pada Berbagai Umur.

Perlakuan	Tinggi Tanaman (cm) Pada Umur (hst)			
	10	20	30	40
0 mg	9,50	13,43 a	18,50 b	23,33 b
500 mg	6,67	17,50 b	16,33 ab	21,67 ab
625 mg	6,33	13,83 a	15,17 a	24,67 b
750 mg	6,20	13,33 a	18,50 b	17,50 a
BNT 5%	TN	3,02	2,42	4,39

Keterangan: Angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%, tn= tidak nyata; hst = hari setelah tanam

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel tinggi tanaman menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap tinggi tanaman pakcoy pada umur 20 hst, 30 hst dan 40 hst.

Tabel 1 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan tinggi tanaman umur 20 hst menunjukkan bahwa aplikasi 500 mg logam berat Cu menghasilkan tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 17,5 cm berbeda nyata dengan semua perlakuan, dan perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 750 mg Cu dengan rata-rata 13,33 cm. Pada umur 30 hst menunjukkan bahwa aplikasi 0 mg dan 750 mg logam berat Cu menghasilkan tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 18,5 cm, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 500 mg logam berat Cu dengan nilai rata-rata 16,33 cm. Perlakuan terendah pada aplikasi 625 mg logam berat Cu dengan rata-rata 15,17 cm. Pada umur 40 hst menunjukkan bahwa aplikasi 625 mg logam berat Cu menghasilkan tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 24,67 cm, namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 0 mg logam berat Cu dan 500 mg logam berat Cu dengan nilai rata-rata 23,33 cm dan 21,67 cm. Perlakuan terendah pada aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 17,50 cm.

Jumlah Daun

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel jumlah daun menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah daun tanaman pakcoy pada umur 10 hst dan 20 hst.

Tabel 2. Rata-Rata Jumlah Daun Tanaman Pakcoy Akibat Konsentrasi Cu Pada Tanaman Pakcoy Pada Berbagai Umur.

Perlakuan	Jumlah Daun (helai) Pada Umur (hst)			
	10	20	30	40
0 mg	4,67 a	9,33 a	14,67	20,33
500 mg	5,67 b	10,00 a	18,00	20,33
625 mg	5,33 ab	10,00 a	15,67	20,00
750 mg	6 b	11,00 b	16,33	19,33
BNT 5%	0,74	1,00	TN	TN

Keterangan: Angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%, tn= tidak nyata; hst = hari setelah tanam

Tabel 2 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan jumlah daun pada umur 10 hst menunjukkan bahwa aplikasi 750 mg logam berat Cu menghasilkan jumlah daun tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 6 helai namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 500 mg logam berat Cu dan 625 mg logam berat Cu dengan nilai rata-rata 5,67 helai dan 5,33 helai. Perlakuan terendah pada aplikasi 0 mg logam berat Cu dengan rata-rata 4,67 helai. Pada umur 20 hst menunjukkan bahwa aplikasi 750 mg logam berat Cu menghasilkan jumlah daun tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 11 helai, berbeda nyata dengan semua perlakuan, dan

perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 0 mg logam berat Cu dengan rata-rata 9,33 helai.

Luas Daun

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel luas daun menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap luas daun tanaman pakcoy pada umur 10 hst, 30 hst dan 40 hst.

Tabel 3. Rata-Rata Luas Daun Tanaman Pakcoy Akibat Konsentrasi Cu Pada Berbagai Umur.

Perlakuan	Luas Daun (Cm ²) Pada Umur (hst)			
	10	20	30	40
0 mg	37,38 bc	430,06 ab	1402,64 a	2591,90 ab
500 mg	40,51 c	506,30 b	1574,44 b	2907,07 b
625 mg	32,78 ab	410,44 a	1323,69 a	2462,31 a
750 mg	30,40 a	370,45 a	1285,17 a	2225,73 a
BNT 5%	5,89	76,62	167,63	364,72

Keterangan: Angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%, tn= tidak nyata; hst = hari setelah tanam

Tabel 3 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan luas daun pada umur 10 hst menunjukkan bahwa aplikasi 0 mg dan 500 mg logam berat Cu memberikan pengaruh yang sama terhadap luas daun dengan nilai rata-rata 37,38 Cm² dan 40,51 Cm², dan perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 30,40 Cm². Pada umur 20 hst menunjukkan bahwa aplikasi 0 mg dan 500 mg logam berat Cu memberikan pengaruh yang sama terhadap luas daun dengan nilai rata-rata 430,06 Cm² dan 506,30 Cm², dan perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 370,45 Cm². Pada umur 30 hst menunjukkan bahwa aplikasi 500 mg logam berat Cu menghasilkan luas daun tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 1574,44 Cm² berbeda nyata dengan semua perlakuan, dan perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 1285,17 Cm². Pada umur 40 hst menunjukkan bahwa aplikasi 0 mg dan 500 mg logam berat Cu memberikan pengaruh yang sama terhadap luas daun dengan nilai rata-rata 2591,90 Cm² dan 2907,07 Cm², dan perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 2225,73 Cm².

Klorofil

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel klorofil (Lampiran 4) menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar klorofil tanaman pakcoy pada umur 20 hst, 30 hst dan 40 hst.

Tabel 4. Rata-Rata Kandungan Klorofil Tanaman Pakcoy Akibat Konsentrasi Cu Pada Berbagai Umur.

Perlakuan	Klorofil ($\mu\text{g/mL}$) Pada Umur (hst)		
	20	30	40
0 mg	34,00 a	34,97 a	38,50 b
500 mg	43,67 c	42,60 b	41,73 c
625 mg	38,80 b	41,53 b	38,70 b
750 mg	31,33 a	35,60 a	33,07 a
BNT 5%	3,76	4,95	2,85

Keterangan: Angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%, tn= tidak nyata; hst = hari setelah tanam

Tabel 4 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan klorofil pada umur 20 hst menunjukkan bahwa aplikasi 500 mg logam berat Cu menghasilkan kandungan klorofil tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 43,67 $\mu\text{g/mL}$ dan perlakuan terendah adalah aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 31,33 $\mu\text{g/mL}$ namun tidak berbeda nyata dengan tanpa aplikasi logam berat (0 mg Cu) dengan rata-rata 34 $\mu\text{g/mL}$. Pada umur 30 hst menunjukkan bahwa aplikasi 500 mg logam berat Cu menghasilkan kandungan klorofil tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 42,6 $\mu\text{g/mL}$ namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan aplikasi 625 mg logam berat Cu dengan nilai rata-rata 41,53 $\mu\text{g/mL}$, dan perlakuan terendah pada perlakuan aplikasi 0 mg logam berat Cu dengan rata-rata 35,6 $\mu\text{g/mL}$. Pada umur 40 hst menunjukkan bahwa 500 mg logam berat Cu menghasilkan kandungan klorofil tanaman pakcoy tertinggi dengan nilai rata-rata 41,73 $\mu\text{g/mL}$ berbeda nyata dengan semua perlakuan dan perlakuan terendah pada aplikasi 750 mg logam berat Cu dengan rata-rata 33,07 $\mu\text{g/mL}$.

Bobot Segar

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel bobot segar (Lampiran 5) menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap bobot segar tanaman pakcoy.

Tabel 5. Rata-Rata Bobot Segar Tanaman Pakcoy Akibat Konsentrasi Cu.

Perlakuan	Bobot Segar (gr)
0 mg	264,97 bc
500 mg	341,25 c
625 mg	194,71 ab
750 mg	154,97 a
BNT 5%	82,82

Keterangan: Angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%,

Tabel 5 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan bobot segar menunjukkan bahwa aplikasi 750 mg logam berat Cu memberikan pengaruh bobot segar terkecil nilai 154,97 gram dan bobot terbesar adalah perlakuan aplikasi 500 mg nilai 341,25 gram.

Bobot Kering

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel bobot kering (Lampiran 6) menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap bobot kering tanaman pakcoy.

Tabel 6. Rata-rata bobot kering Tanaman Pakcoy akibat Konsentrasi Cu.

Perlakuan	Bobot kering (gr)
0 mg	48,40 b
500 mg	53,34 b
625 mg	37,83 ab
750 mg	25,61 a
BNT 5%	19,08

Keterangan: Angka yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT pada taraf 5%,

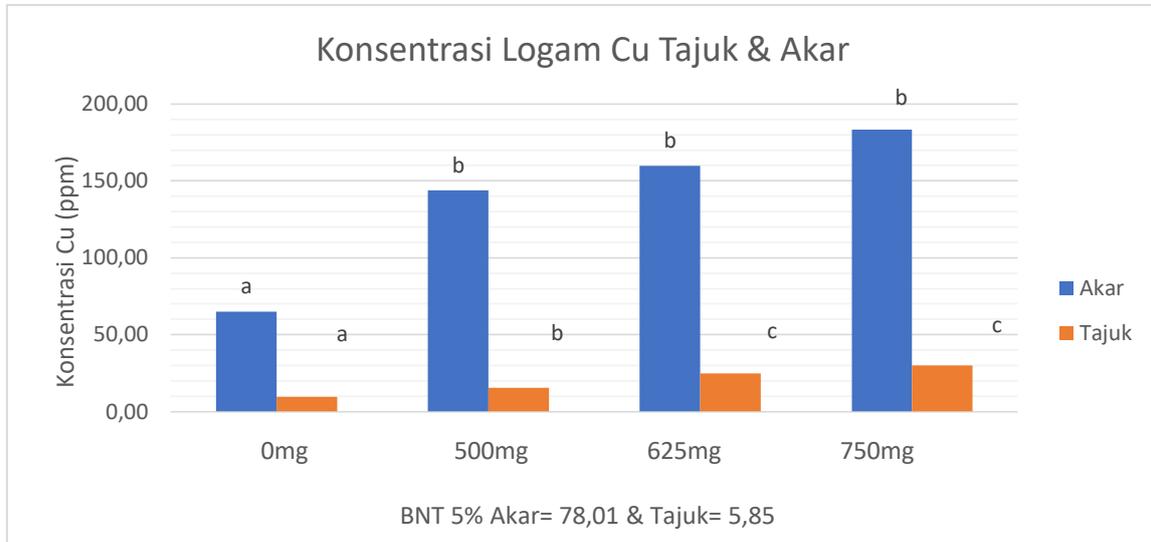
Tabel 6 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan bobot segar menunjukkan bahwa aplikasi 750 mg logam berat Cu memberikan pengaruh bobot segar terkecil nilai 25,61 gram dan bobot terbesar adalah perlakuan aplikasi 500 mg nilai 53,34 gram.

Hasil pengamatan pada variabel pertumbuhan dan hasil tanaman saat panen menunjukkan (Tabel 1 - Tabel 6) pemberian Cu konsentrasi 0 mg sampai dosis 625 mg mampu menahan kontaminasi logam berat, tanaman belum menunjukkan perubahan morfologi terutama pada warna daun. Konsentrasi 750 mg menunjukkan pertumbuhan

tidak optimal diduga pada konsentrasi tersebut proses metabolisme tanaman mengalami hambatan. Terganggunya metabolisme ini menyebabkan berkurangnya kandungan klorofil, biomassa, rendahnya luas daun, jumlah daun sehingga mengakibatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman pakcoy melambat. Logam berat seperti Cu yang tinggi pada media tanam dapat mengganggu perkembangan tanaman, akibat terganggunya reaksi biokimia & proses fisiologis pada tanaman (Guzel and Terzi, 2013). Menurut (Nair and Chung, 2015) cekaman logam berat Cu menghambat pertumbuhan akar, percabangan berkurang, tanaman pendek dan daun berwarna kekuningan. (Anupama *et al.*, 2014) konsentrasi Cu masih dalam batas normal dapat merangsang pertumbuhan dan perkembangan tanaman, sedangkan konsentrasi Cu yang melebihi ambang batas akan menyebabkan pertumbuhan terhambat. (Zheng, Wang and Dixon, 2005) menyampaikan terjadi penurunan tinggi tanaman *C. annuum* pada kondisi di bawah cekaman Cu selama 21 hari perlakuan konsentrasi Cu 0, 0,5, 1, 1,5, dan 2 mg/L. Rosyidah *et al.*, (2014) menjelaskan cekaman logam berat menyebabkan terganggunya pembesaran dan pembelahan sel, transfer energi, fotosintesis, metabolisme lainnya menggagu proses pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman yang terkena cekaman logam berat.

Konsentrasi Logam Cu Tajuk, dan Akar

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel Konsentrasi Logam Cu (Lampiran 7) menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat Cu pada berbagai dosis memberikan pengaruh yang nyata terhadap konsentrasi logam Cu pada Akar dan Tajuk tanaman pakcoy.

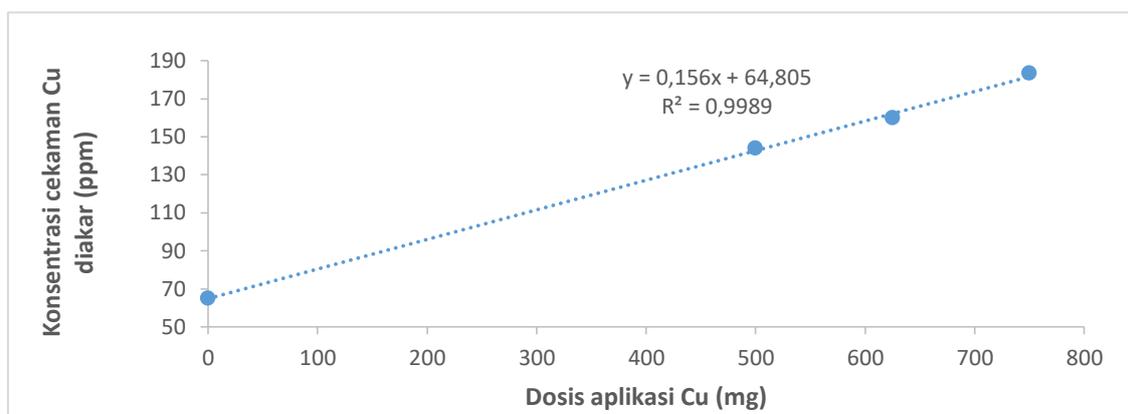


Gambar 1. Konsentrasi logam Cu tajuk dan akar pada tanaman pakcoy.

Gambar 1 menunjukkan hasil uji BNT 5% pada pengamatan Konsentrasi Logam Cu pada bagian akar tanaman menunjukkan bahwa aplikasi 500 mg, 625 mg dan 750 mg logam berat (Cu) menghasilkan konsentrasi logam Cu pada bagian akar tanaman yang berpengaruh sama terhadap tanaman pakcoy dengan nilai rata-rata 143,73 ppm, 159,82 ppm dan 183,22 ppm serta perlakuan yang memiliki konsentrasi logam Cu pada bagian akar tanaman terkecil adalah aplikasi 0 mg logam berat tembaga (Cu) dengan nilai rata-rata 64,10 ppm. Pada bagian tajuk tanaman menunjukkan bahwa aplikasi 625 mg dan 750 mg logam berat (Cu) menghasilkan konsentrasi logam Cu pada bagian tajuk tanaman yang berpengaruh sama terhadap tanaman pakcoy dengan nilai rata-rata 24,55 ppm dan 29,71 ppm serta perlakuan yang memiliki konsentrasi logam Cu pada bagian tajuk tanaman terkecil adalah aplikasi 0 mg logam berat tembaga (Cu) dengan nilai rata-rata 9,26 ppm.

Uji Regresi Logam Cu Tajuk, dan Akar

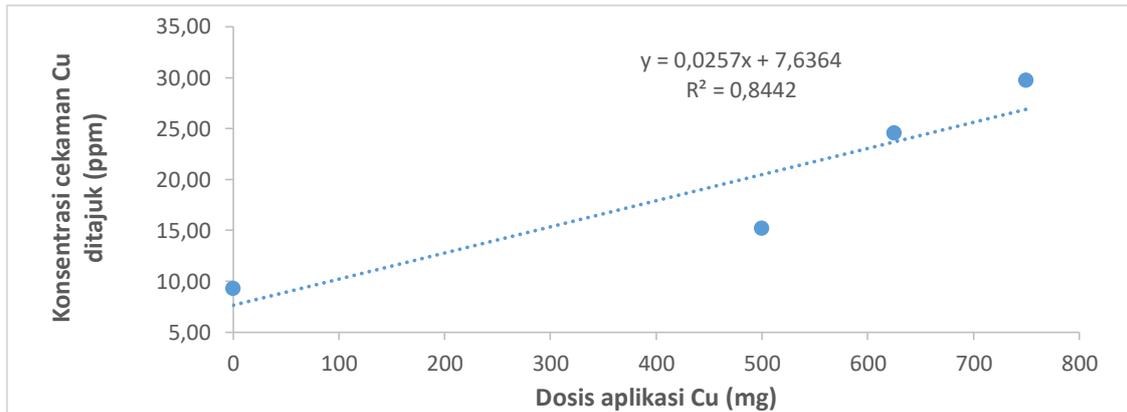
Berdasarkan hasil analisis ragam variabel Konsentrasi Logam Cu (Lampiran 8) Variabel Independen (X) Variabel independen merupakan variabel yang mempengaruhi variable dependen atau variable terikat. Variable independen adalah variable - variable yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau



timbulnya variabel dependen (terikat).

Gambar 2. Interaksi Pemberian (Cu) Terhadap Akar Tanaman Pakcoy

Uji regresi digunakan untuk menentukan titik optimum hubungan dari Pemberian (Cu) Terhadap Akar Tanaman Pakcoy terlihat pada gambar 2. Hasil uji regresi pada variabel Dosis Cu pada konsentrasi 0mg, 500mg, 625mg, dan 750mg, menunjukkan pola linear yang artinya semakin tinggi konsentrasi Cu yang diaplikasikan maka Cu diakar akan semakin tinggi. Regresi linier sederhana diperoleh persamaan $y = 0,156x + 64,805$ dengan $R^2 = 0,9989$. Persamaan tersebut menggambarkan hubungan antara variabel x (dosis tembaga) dan variabel y (konsentrasi tembaga pada tajuk tanaman pakcoy). Koefisien regresi 0,156 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit dalam dosis tembaga akan mengakibatkan peningkatan sebesar 0,156 unit dalam konsentrasi tembaga pada tajuk tanaman pakcoy. Nilai R^2 yang sangat tinggi, yaitu 0,9989, menunjukkan bahwa sekitar 99,89% variabilitas dalam konsentrasi tembaga dapat dijelaskan oleh dosis tembaga yang diberikan dalam model regresi linier tersebut. Dengan persamaan regresi ini, dapat memperkirakan konsentrasi Cu di dalam akar tanaman berdasarkan dosis Cu yang diaplikasikan, serta memahami seberapa kuat hubungan antara kedua variabel tersebut.



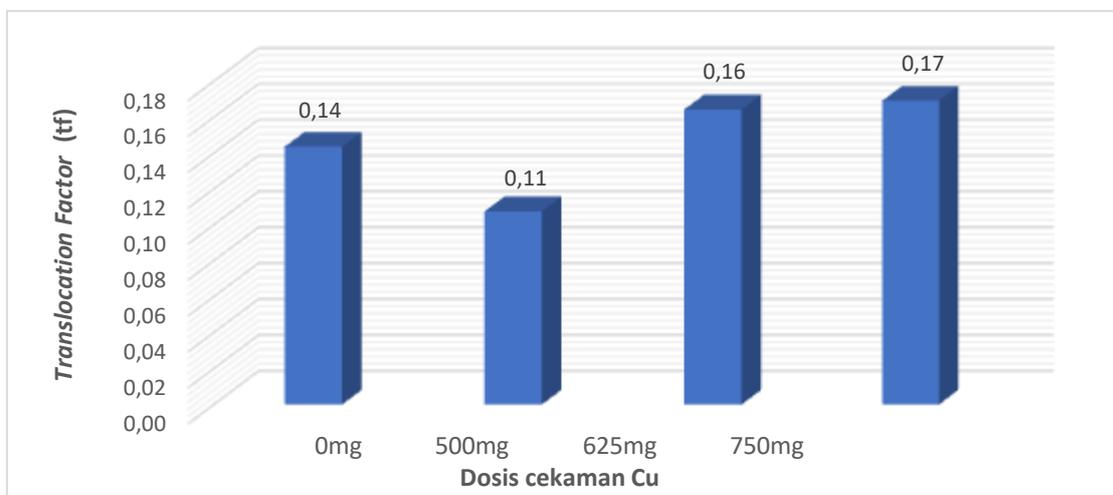
Gambar 3. Interaksi Pemberian (Cu) Terhadap Tajuk Tanaman Pakcoy

Uji regresi digunakan untuk menentukan titik optimum hubungan dari Pemberian (Cu) Terhadap Akar Tanaman Pakcoy terlihat pada gambar 3. Hasil uji regresi pada variabel Dosis Cu pada konsentrasi 0mg, 500mg, 625mg, dan 750mg, menunjukkan pola linear yang artinya semakin tinggi konsentrasi Cu yang diaplikasikan maka Cu diakar akan semakin tinggi. Regresi linier sederhana diperoleh persamaan $y = 0,156x + 64,805$ dengan $R^2 = 0,9989$. Persamaan tersebut menggambarkan hubungan antara variabel x (dosis tembaga) dan variabel y (konsentrasi tembaga pada tajuk tanaman pakcoy). Koefisien regresi 0,0257 menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit dalam dosis tembaga akan mengakibatkan peningkatan sebesar 0,0257 unit dalam konsentrasi tembaga pada tajuk tanaman pakcoy. Nilai R^2 sebesar 0,8442 menunjukkan bahwa sekitar 84,42% variabilitas dalam konsentrasi tembaga dapat dijelaskan oleh dosis tembaga yang diberikan dalam model regresi linier tersebut. Dengan menggunakan persamaan regresi ini, dapat memperkirakan konsentrasi Cu di dalam tajuk tanaman berdasarkan dosis Cu yang diaplikasikan, serta memahami sejauh mana hubungan antara kedua variabel tersebut.

Hasil analisis regresi menunjukkan adanya hubungan linier positif antara dosis tembaga dan konsentrasi tembaga pada tajuk tanaman pakcoy. Dalam kedua persamaan regresi, peningkatan dosis tembaga menyebabkan peningkatan konsentrasi tembaga pada tanaman pakcoy. Persamaan kedua memiliki nilai R^2 yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa dosis tembaga memberikan penjelasan yang lebih baik terhadap variasi konsentrasi tembaga pada tajuk dan akar tanaman pakcoy. Nilai dari tajuk R^2 sebesar 0,8442 menunjukkan bahwa sekitar 84,42% dan nilai akar R^2 yang sangat tinggi yaitu 0,9989 menunjukkan bahwa sekitar 99,89% variabilitas dalam konsentrasi tembaga dapat dijelaskan oleh dosis tembaga yang diberikan dalam model regresi linier tersebut.

Translocation Factor

Berdasarkan hasil analisis ragam variabel *translocation faktor* (Lampiran 9) menunjukkan bahwa perlakuan aplikasi logam berat (Cu) memberikan pengaruh yang tidak nyata terhadap parameter *translocation factor*.



Gambar 4. Rata-Rata *Translocation Factor* Akibat Konsentrasi (Cu) Pada Tanaman Pakcoy

Nilai *translocation factor* (TF) hubungan dari pemberian (Cu) terhadap tanaman pakcoy pada tajuk dan akar terlihat gambar f. Menunjukkan untuk tembaga (Cu) berkisar antara 0,11 hingga 0,17. Nilai TF menunjukkan sejauh mana logam berat seperti tembaga dipindahkan dari akar ke bagian atas tanaman (tajuk). Dalam kasus ini, nilai TF yang kurang dari 1 menunjukkan bahwa sebagian besar tembaga tetap terkonsentrasi di akar tanaman dan tidak banyak dipindahkan ke tajuk. Nilai TF <1 menunjukkan mekanisme *fitostabilisasi*, *fitostabilisasi* yaitu akar tumbuhan melakukan imobilisasi polutan dengan cara mengakumulasi, mengasorpsi pada permukaan akar dan mengendapkan logam Cu dalam zona akar secara erat dan stabil sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media (Irharni *et al.*, 2017).

(Baker and Brooks, 1989) menyampaikan tumbuhan mampu mengakumulasi logam berat hingga > 1000 mg kg⁻¹ dan dikenal sebagai hiperakumulator. Tumbuhan mempunyai daya toleransi dan mengakumulasi logam berat dan hal ini berkaitan tujuan *fitostabilisasi*. Tanaman pakcoy mampu melumpuhkan logam berat yang ada di media tanam melalui pengendapan logam berat di *Rhizosfir* hal tersebut mencegah pergerakannya menuju tajuk tanaman, sehingga mengurangi kemungkinan masuknya logam ke dalam rantai makanan (Marques, Rangel and Castro, 2009). Didapatkan

bahwa nilai TF Cu berkisar 0,11-0,17. Nilai *translokasi* pada akar dan tajuk menunjukkan <1 di semua perlakuan. Menunjukkan bahwa *translokasi* logam berat Cu dari akar ke tajuk tidak banyak sehingga diharapkan kandungan logam berat Cu yang masih aman untuk dikonsumsi manusia.

Selain itu, penting untuk memperhatikan bahwa penggunaan pakcoy dalam konteks fitoremediasi harus dilakukan dengan hati-hati dan diawasi dengan baik untuk mencegah penyebaran logam berat ke lingkungan yang lebih luas dan untuk memastikan keamanan konsumsi sayuran tersebut. Analisa kandungan Cu disajikan pada (Gambar 1 sampai 4) pada gambar tersebut tampak kandungan Cu pada akar dan tajuk tanaman pakcoy mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya konsentrasi Cu yang diberikan. Akumulasi Cu tertinggi pada perlakuan cekaman Cu dosis 625 mg dan 750 mg. (Maziyah, 2015) mengatakan bahwa, ketiga varietas *C. frutescens* sensitif terhadap konsentrasi Cu 120 ppm dari pada kontrol, sensitifitas tersebut dapat terjadi karena terakumulasinya logam berat Cu secara berlebih pada akar tanaman yang diberi perlakuan cekaman Cu 120 ppm. Berdasarkan penelitian (Zhao *et al.*, 2010) menunjukkan bahwa akumulasi Cu lebih banyak di bagian akar tajuk hal tersebut mengidentifikasi bahwa mekanisme tersebut sebagai *fitostabilisasi*. Konsentrasi logam berat di tajuk dan akar meningkat setiap penambahan konsentrasi logam berat pada tanaman (Rosyidah and Lestari, 2020) tanaman hias puring (Wati, Sholihah and Rosyidah, 2019) lidah mertua (Hasanah, Rosyidah and Lestari, 2020) kangkung darat dan bayam cabut (Sisarti, 2020).

Kesimpulan

Pemberian dosis tembaga (Cu) dari 0 mg - 625 mg pada tanaman pakcoy tidak menyebabkan perubahan morfologi yang signifikan, terutama pada warna daun. Namun pada dosis 750 mg pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal, yang mengakibatkan penurunan kandungan klorofil, luas daun, biomassa dan jumlah daun. Kandungan logam (Cu) pada akar dan tajuk tanaman pakcoy meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Cu yang diberikan. Akumulasi tertinggi terjadi pada dosis cekaman Cu 625 mg dan 750 mg. Nilai *faktor translokasi* (TF) Cu berkisar antara 0,11-0,17, Nilai *translocation factor* pada akar dan tajuk menunjukkan <1 di semua perlakuan.

Daftar Pustaka

- Agusetyadevy, I., Sumiyati, S. and Sutrisno, E. (2013) 'Fitoremediasi limbah yang mengandung Timbal (Pb) dan Kromium (Cr) dengan menggunakan kangkung air (*Ipomoea aquatica*)', *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), pp. 1–9.
- Andreeilee BF, Santoso M and Nugroho A (2014) 'Pengaruh Jenis Kompos Kotoran Ternak dan Waktu Penyiangan Terhadap Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa sub. chienensis*) Organik', *Jurnal Produksi Tanaman*, 2(3), pp. 190–197.
- Anupama, S. *et al.* (2014) 'Response of leaves, stems and roots of *Withania somnifera* to copper stress.', *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 4(3), pp. 60–67.
- Arifin, Z. (2008) 'Beberapa unsur mineral esensial mikro dalam sistem biologi dan metode analisisnya', *Jurnal Litbang Pertanian*, 27(3), pp. 99–105.
- Baker, A.J.M. and Brooks, R. (1989) 'Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry.', *Biorecovery.*, 1(2), pp. 81–126.
- Baroroh, F., Handayanto, E. and Irawanto, R. (2018) 'Fitoremediasi air tercemar tembaga (Cu) menggunakan *salvinia molesta* dan *Pistia stratiotes* serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman *Brassica rapa*', *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 5(1), pp. 689–700.
- Fry, S.C., Miller, J.G. and Dumville, J.C. (2002) 'A proposed role for copper ions in cell wall loosening', in *Progress in Plant Nutrition: Plenary Lectures of the XIV International Plant Nutrition Colloquium: Food security and sustainability of agro-ecosystems through basic and applied research*. Springer, pp. 57–67.
- Guzel, S. and Terzi, R. (2013) 'Exogenous hydrogen peroxide increases dry matter production, mineral content and level of osmotic solutes in young maize leaves and alleviates deleterious effects of copper stress', *Botanical studies*, 54(1), pp. 1–10.
- Hasanah, E.U., Rosyidah, A. and Lestari, M.W. (2020) 'Efek Pemberian Dosis ZA pada Lahan Tercemar Logam Berat Timbal terhadap Pertumbuhan dan Akumulasi Pb pada Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum* L.) dan Lidah Mertua (*Sansevieria trifasciata* L.)', *Folium: Jurnal Ilmu Pertanian*, 4(1), pp. 53–61.
- Irhamni, I. *et al.* (2017) 'Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi', *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2).
- Junyo, G. and Handayanto, E. (2017) 'Potensi tiga varietas tanaman sawi sebagai akumulator merkuri pada tanah', *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 4(1), pp. 421–429.
- Lequeux, H. *et al.* (2010) 'Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile', *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(8), pp. 673–682.
- Mangkoedihardjo, S. and Ganjar Samudro (2010) *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S. and Castro, P.M.L. (2009) 'Remediation of heavy

metal contaminated soils: phytoremediation as a potentially promising clean-up technology', *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(8), pp. 622–654.

- Maziyah, R. (2015) *Respon Beberapa Varietas Tanaman Cabai Rawit (Capsicum Frutescens) Terhadap Cekaman Logam Berat Tembaga (Cu)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nair, P.M.G. and Chung, I.M. (2015) 'Study on the correlation between copper oxide nanoparticles induced growth suppression and enhanced lignification in Indian mustard (*Brassica juncea* L.)', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, pp. 302–313.
- Palar, H. (2004) 'Pencemaran dan Toksikologi Pencemaran Logam Berat', *Rineka Cipta. Jakarta* [Preprint].
- Rosidah, S., Anggraito, Y.U. and Pukan, K.K. (2014) 'Uji toleransi tanaman Tembakau (*Nicotiana Tabacum* L.) Terhadap cekaman kadmium (Cd), timbal (Pb), dan tembaga (Cu) pada kultur cair', *Life Science*, 3(2).
- Rosyidah, A. and Lestari, M.W. (2020) 'Akumulasi Dan Distribusi Timbal (Pb) Pada Dua Jenis Tanaman Sayuran Dengan Penambahan EDTA', *AGRONISMA*, 8(1), pp. 150–157.
- Sağlam, A. *et al.* (2016) 'Copper stress and responses in plants', in *Plant metal interaction*. Elsevier, pp. 21–40.
- Sisarti, R.D. (2020) 'Potensi Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea Reptans*) Dan Bayam Cabut (*Amaranthus Tricolor* L.) Sebagai Hiperakumulator Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan Dan Akumulasinya'.
- Taiz and Zeiger, E. (2010) *Plant physiology.*, (Sinauer Associates Inc.: Sunderland, MA).
- Utomo, W., E.S, B. and Isman N (2014) 'Keragaan Beberapa Varietas Pakcoy', *Jurnal Penelitian Terapan*, 13(3), pp. 159–167.
- Wati, D.R., Sholihah, A. and Rosyidah, A. (2019) 'Respon tanaman hias puring (*Codiaeum variegatum* L.) dan lidah mertua (*Sansevieria trifasciata* L.) akibat penambahan macam pupuk nitrogen pada tanah tercemar logam berat timbal (Pb)', *AGRONISMA*, 7(1), pp. 84–90.
- Zhao, S. *et al.* (2010) 'Responses of root growth and protective enzymes to copper stress in turfgrass', *Acta Biologica Cracoviensia s. Botanica*, 52(2).
- Zheng, Y., Wang, L. and Dixon, M. (2005) 'Greenhouse pepper growth and yield response to copper application', *HortScience*, 40(7), pp. 2132–2134.