IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini sampel yang digunakan untuk penentuan kadar logam tembaga (Cu) diperoleh dari tanaman perlakuan 1, 2 dan 3. Sampel berupa tanah humus, tanah sisa panen, akar dan daun sawi hijau. Sampel dianalisis dengan metode destruksi basah menggunakan ICP.

4.1 Konsentrasi Tembaga Pada Tanah Humus

Media tanam merupakan komponen utama pada saat menanam. Menurut Wiryanta (2007) media tanam merupakan tempat hidup bagi tanaman, media tanam berfungsi untuk menyangga perakaran agar tanaman dapat tumbuh berdiri serta sebagai penunjang perkembangan tanaman. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai media tanam adalah tanah humus. Tanah humus sendiri merupakan hasil dari perombakan bahan organik seperti dedaunan dan juga ranting-ranting yang mempunyai peran penting pada tanah. Menurut Kadeo (2017) tanah humus dapat diartikan sebagai tanah yang kompleks akan organik dan proses pembentukan tanah ini dapat terjadi secara alamiah. Tanah humus merupakan tanah yang memiliki tingkat kesuburan tinggi untuk tanaman karena mempunyai komposisi yang mirip dengan pupuk kompos (Khoirunnisa dkk., 2022).

Menurut Darmono (1995) kandungan logam pada tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, jika teradi interkasi antara logam akan mengakibatkan hambatan penyerapan oleh tanaman. Logam Cu merupakan unsur hara esensial (mikronutrien) yang dibutuhkan oleh tanaman berfungsi sebagai katalisator untuk respirasi, membawa beberapa enzim dan juga berperan membantu kelancaran proses fotosintesis. Namun, dalam jumlah banyak akan menjadi racun bagi tanaman (Nurhayati, 2021).

Sampel tanah humus dianalisis untuk mengetahui kondisi awal terhadap pencemaran logam berat tembaga (Cu) yang didapatkan dari penjual media tanam yang berada di daerah Kota Baru Jambi (Gambar 8). Hasil analisis menunjukkan adanya kandungan logam berat Cu pada tanah humus yaitu 0,22 mg/kg. Unsur logam Cu diduga dari bahan organik tanah yang digunakan dalam pembuatan tanah humus. Menurut Saidy (2018) bahan organik tanah adalah semua bahan organik yang mengalami perombakan baik secara alami atau *thermally* di dalam dan di permukaan tanah, baik masih hidup atau yang mati tetapi tidak termasuk bagian tanaman di atas permukaan tanah yang masih hidup. Kononova (1966) mendefinisikan bahan organik tanah adalah bahan yang kompleks dan dinamis, berasal dari sisa tanaman dan hewan di dalam tanah dan mengalami perombakan secara terus menerus (Saidy, 2018).

Menurut Darmono (1995), kandungan rata-rata logam Tembaga (Cu) pada tanah secara alamiah yaitu 20 μg/g. Nilai konsentrasi Cu pada tanah humus yang digunakan sebagai media tanam menunjukkan adanya penjerapan logam Cu sebesar 0,22 mg/kg ini dikarenakan adanya kemungkinan logam tembaga yang terakumulasi secara alamiah

ataupun non-alamiah. Menurut Widianingrum (2007) Secara alamiah Cu masuk kedalam suatu tatanan lingkungan sebagai akibat peristiwa alam. Unsur Cu bersumber dari peristiwa pengikisan (erosi) dari batuan mineral, dari debu-debu atau partikulat-partikulat Cu yang ada pada lapisan udara yang turun bersama hujan. Sedangkan secara non-alamiah logam berat berasal dari aktivitas manusia seperti polusi kendaraan dll (Yusuf dkk, 2016). Pada tanah humus Menurut *Maximum Allowable Concentration* (MAC) *in Agricultural Soil in China*, maksimum konsentrasi logam tembaga pada tanah adalah 100 mg/kg sehingga konsentrasi tembaga (Cu) pada tanah humus masih berada di bawah ambang batas.

Gambar 1 Tempat pengambilan tanah humus

4.2 Penanaman Sawi (*Brassica Rapa Var Parachinensis L*)

Menurut Baskoro (2011), pertumbuhan tanaman merupakan suatu proses bertambahnya ukuran dan bobot tanaman yang disebabkan oleh bertambahnya ukuran organ tanaman. Menurut Rismawati (2012) pertumbuhan bersifat kuantitatif dan *irreversible* (tidak dapat balik kembali). Pertumbuhan suatu tanaman dapat ditandakan melalui banyak parameter diantaranya pertambahan volume (tinggi, panjang dan luas), pertambahan jumlah daun (Zaeni dkk., 2021).

Penanaman sawi berlangsung selama 55 hari yang teridiri dari 17 hari pembenihan dan sisanya dilakukan pemberian pupuk dan pestisida dengan takaran yang berbeda. Adapun pemberian pupuk dan pestisida diaplikasikan setiap satu minggu sekali setelah 7 hari dari masa pembenihan. Pada penelitian ini penanaman sawi dibagi menjadi 3 perlakuan dimana perlakuan 1 (P1) merupakan tanaman tanpa menggunakan pupuk maupun pestisida, perlakuan 2 (P2) tanaman sawi yang menggunakan pupuk campuran anorganik dan organik, perlakuan 3 (P3) tanaman yang menggunakan pupuk campuran dan pestisida anorganik. Jumlah takaran pupuk dan pestisida dapat dilihat pada Tabel 14 di bawah ini.

Tabel 1 Takaran penggunaan pupuk dan pestisida

Pupuk / pestisida anorganik	**Jumlah**	**Konsentrasi Cu**
Pupuk NPK phonska	1,7 gr	0,17 mg/kg*
Pupuk Urea	1,7 gr	0,26 mg/kg*
Pupuk NPK mutiara	0,8 gr	0,23 mg/kg*
Pupuk kandang	12,5 gr	0,23 mg/kg**
Pestisida regent 50 SC	0,5 ml	0,16 mg/kg*
Pestisida Azteca	0,5 ml	0,18 mg/kg*
Pestisida antracol 70 WP	1,2 gr	0,38 mg/kg*
Pestisida pateni	0,6 ml	0,16 mg/kg*

Keterangan : (*) = Afifah (2023)

(**) = Efriyani (2023)

Sebelum melakukan penanaman sawi tanah humus diaduk terlebih dahulu agar tercampur rata dan homogen. Sawi hijau ditanam dengan menggunakan *polyabag* ukuran 20 x 30 cm yang diisi dengan tanah humus yang dicampurkan dengan pupuk kandang sebanyak 12,5 gr/1 kg tanah lalu diaduk hingga tercampur rata dan homogen. Selanjutnya tanah dimasukkan ke dalam masing – masing *polybag* P2 dan P3 (Gambar 9).

(a)

(b)

Gambar 2 (a) tanah humus yang di campur pupuk kandang, dan (b) polybag yang telah diisi tanah

Setelah selesai 17 hari masa pembenihan tanaman baru diberi pupuk dan pestisida, adapun hari dan pemberian pupuk dan pestisida hanya diperlakukan pada P2 dan P3. Pemberian pupuk organik diberi setiap 10 hari penanaman yaitu pada hari ke 20, 30 dan hari ke 40 sebanyak 12,5 gr setiap *polybag*nya. Adapun pemberian pupuk anorganik dilakukan setelah seminggu dari masa pembenihan yaitu di hari ke 24 diberi pupuk NPK phonska sebanyak 1,7 gr dan 2 – 3 semprotan pestisida regent 50 yang dicampur dengan pestisida Azteca 600 sc yang dilarutkan dengan 500 ml air.

Pada hari ke-32 tanaman P2 dan P3 diberi Pupuk NPK Mutiara dengan dosis 0,8 gr lebih sedikit dari pupuk NPK phonska karena pupuk NPK mutiara memiliki dosis yang lebih tinggi sehingga takarannya digunakan lebih sedikit. Lalu pada P3 diberi Pestisida Pateni sebanyak 0,6 mL dan dilarutkan dengan 500 ml air. Pemberian pupuk NPK mutiara pada sawi hijau dapat membuat tanaman tumbuh lebih tinggi. Pestisida pateni digunakan untuk memberantas ulat yang ada pada tanaman sawi hijau.

Sawi hijau dipanen saat sawi berumur 55 hari, satu minggu sebelum masa panen atau pada hari ke-48, sawi hijau pada P2 diberi pupuk urea sebanyak 1,7 gr, dan sawi hijau pada observasi 3 diberi pestisida antracol 70 WP sebanyak 1,2 gram dan dilarutkan dengan 500 mL air. Pupuk urea memiliki kandungan nitrogen yang tinggi yaitu 45%, sehingga baik untuk proses pertumbuhan tanaman karena nitrogen berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif, sehingga daun tanaman menjadi lebih lebar, berwarna lebih hijau, dan lebih berkualitas. Pupuk urea juga memiliki sifat higroskopis yaitu mudah larut dalam air dan bereaksi sangat cepat, sehingga proses penyerapan oleh akar tanaman juga berlangsung cepat (Sinaga & Diah, 2017). Pestisida Antracol 70 WP berbentuk bubuk yang berguna untuk memberantas jamur pada daun sawi.

Berikut hasil penanaman sawi dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 2 Masa pembenihan perlakuan 1, 2 dan 3

Hari Ke	Dokumentasi	Keterangan
Ke 8		Tinggi sawi = 2,1 cm, jumlah daun = 2

Hari Ke	Dokumentasi	Keterangan
Ke 16		Tinggi sawi = 3,8 cm, jumlah daun = 3-4 daun

Tabel 3 Perkembangan sawi perlakuan 1

Hari Ke	Dokumentasi (perlakuan 1)	Keterangan
Ke 24		Tinggi sawi = 4,4 cm, Jumlah daun = 3-4 daun
Ke 32		Tinggi sawi= 6,7 cm Jumlah daun = 4-5 daun
Ke 40		Tinggi sawi = 8,7 cm Jumlah daun = 4-5 daun

Hari Ke	Dokumentasi (perlakuan 1)	Keterangan
Ke 48		Tinggi sawi = 15 cm Jumlah daun =4-6 daun
Ke 55		Tinggi sawi = 17,2 cm Jumlah daun =5 - 6 daun

Tabel 4 Perkembangan sawi perlakuan 2

Hari ke	Dokumentasi (perlakuan 2)	Keterangan
Ke 24		Tinggi sawi = 12 cm Jumlah daun = 4 – 6 daun
Ke 32		Tinggi sawi = 17,2 cm Jumlah daun = 6 - 8 daun

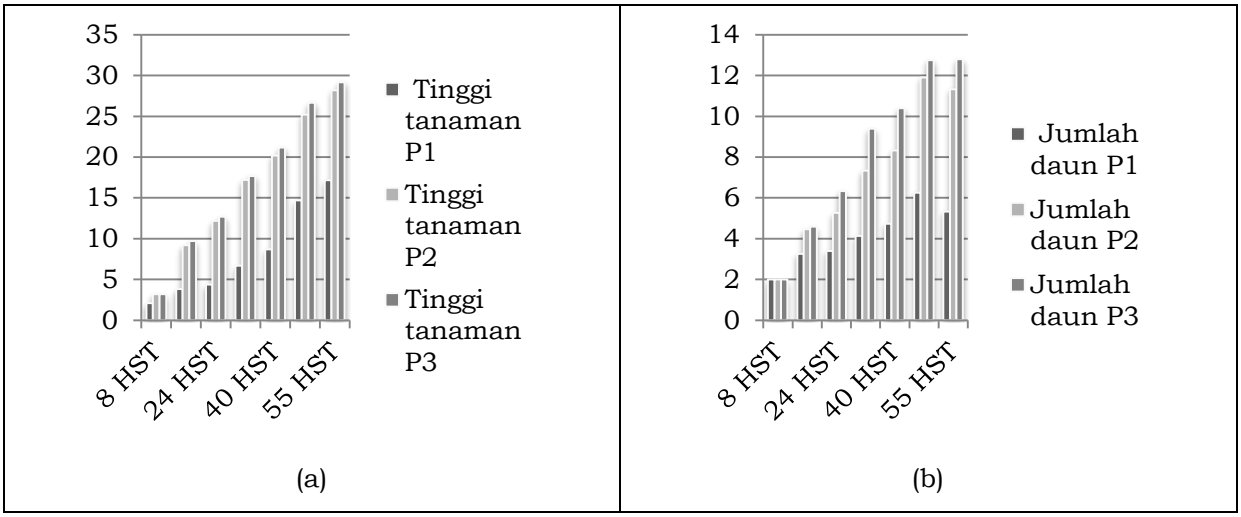
Hari ke	Dokumentasi (perlakuan 2)	Keterangan
Ke 40		Tinggi sawi = 20,2 cm Jumlah daun 7 – 9 daun
Ke 48		Tinggi sawi = 25,2 cm Jumlah daun = 10 - 12 daun
Ke 55		Tinggi sawi = 28,2 cm Jumlah daun =10 -12 daun

Tabel 5 Perkembangan sawi perlakuan 3

Hari ke	Dokumentasi (perlakuan 3)	Keterangan
Ke 24		Tinggi sawi = 12,7 cm Jumlah daun =6 -7 daun

Hari ke	Dokumentasi (perlakuan 3)	Keterangan
Ke 32		Tinggi sawi = 17,7 cm Jumlah daun = 8 - 10 daun
Ke 40		Tinggi sawi = 21,2 cm Jumlah daun= 9 - 11 daun
Ke 48		Tinggi sawi = 26,7 cm Jumlah daun= 10 - 12 daun
Ke 55		Tinggi sawi = 29,2 cm Jumlah daun = 11 -13 daun

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh data pertumbuhan tanaman berupa tinggi dan jumlah daun sawi yang dapat dilihat pada Tabel 8 – Tabel 11. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh data perbedaan rerata tinggi dan jumlah daun tanaman sawi yang dipaparkan secara grafik bisa dilihat pada Gambar 10.



Gambar 3 Grafik rerata tinggi tanaman sawi (a) dan jumlah daun tanaman sawi (b).

Keterangan :

P1 (Perlakuan 1) = Tanaman sawi tanpa menggunakan pupuk dan pestisida

P2 (perlakuan 2) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik dan organik

P3 (perlakuan 3) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik, organik serta pestisida anorganik

HST = Hari setelah tanam

Secara umum, pemberian pupuk memberikan pengaruh yang lebih baik terhadap parameter tinggi dan jumlah daun tanaman dibandingkan tanaman tanpa pemberian pupuk (P1). Pada penenlitian ini pemberian pupuk organik dilakukan setiap 10 hari yaitu pada hari ke 20, 30 dan 40 sedangkan pemberian pupuk anorganik diberikan setelah 1 minggu dari masa 17 hari pembenihan. pemberian pupuk organik diharapkan mampu memperbaiki sifat fisik tanah dan kemampuan tanah menyimpan air. Menurut Yuwono (2002) penggunaan pupuk organik memiliki dua keuntungan yaitu perbaikan fisik tanah dan kesuburan tanah. Sekalipun pupuk organik dapat memperbaiki kesuburan tanah tetapi kesediaan haranya umumnya sedikit karena kandungannya rendah dan lambat sehingga perlu ditambahkan pupuk anorganik (kholidin dkk., 2016).

Hasil pengamatan pada 8 HST (Hari setelah tanam) hingga 16 HST belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tinggi dan jumlah daun tanaman sawi, karena masih dalam masa pembenihan. Pada hari 24 HST tanaman sawi pada P2 ditambahkan pupuk NPK dan P3 ditambahkan NPK serta pestisida. Sehingga pada 32 HST tanaman sawi mengalami penambahan ukuran tinggi sebanyak 2 – 5 cm dan penambahan helai daun. Pupuk NPK phonska mengandung unsur makro primer N, P, K dan unsur makro sekunder S (sulfur), sehingga dapat meningkatkan hasil produktivitas (Junaidin dkk, 2021). Pestisida yang digunkana adalah pestisida regent 50 SC yang dicampur dengan pestisida azteca 600 SC dengan dilarutkan dengan 500 mL air dan disemprotkan sebanyak 2 semprot pada setiap *polybag*. Pestisida regent 50 SC berfungsi untuk mengendalikan

hama pada tanaman, sedangkan pestisida azteca 600 SC digunakan untuk membasmi jamur dan sebagai pupuk daun.

Selanjutnya pada 32 HST tanaman sawi diberi pupuk NPK mutiara pada P2 dan pupuk NPK mutiara serta pestisida pateni pada P3. Pupuk NPK mutiara memiliki dosis yang lebih tinggi dari NPK phonska, sehingga takaran yang digunakan lebih sedikit yaitu 0,8 gram. Pemberian pupuk NPK mutiara pada sawi hijau dapat membuat tanaman tumbuh lebih tinggi. Pestisida Pateni digunakan untuk memberantas ulat yang ada pada tanaman sawi hijau. Setelah pemberian pupuk pada 32 HST, pada 40 HST tinggi tanaman sawi bertambah lagi sebanyak 3-4 cm bisa dilihat pada Tabel 10 dan 11. Pada 40 HST tanaman sawi ditambahkan kembali pupuk kandang kotoran ayam sebanyak 12,5 gr sehingga pada 48 HST tinggi tanaman sawi bertambah. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nursanti (2009), bahwa pemberian pupuk organik kotoran kambing, kotoran sapi dan kotoran ayam berpengaruh terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun dan berat brangkasan basah.

Pada 48 HST sawi diberi pupuk urea pada P2 dan pupuk urea serta pestisida antrakol WP 70 pada P3 sebanyak 1,2 gram dan dilarutkan dengan 500 mL air. Bisa dilihat pada tabel 10 dan 11 tanaman sawi di 55 HST mengalami penambahan tinggi dengan rata – rata tertinggi pada perlakuan 2 yaitu 28,2 cm dan perlakuani 3 29,2 cm. Pupuk urea memiliki kandungan nitrogen yang tinggi yaitu 45%, sehingga baik untuk proses pertumbuhan tanaman karena Nitrogen berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif, sehingga daun tanaman menjadi lebih lebar, berwarna lebih hijau, dan lebih berkualitas. Pupuk urea juga memiliki sifat *higroskopis* yaitu mudah larut dalam air dan bereaksi sangat cepat, sehingga proses penyerapan oleh akar tanaman juga berlangsung cepat (Sinaga dkk., 2017). Pestisida antracol 70 WP berbentuk bubuk yang berguna untuk memberantas jamur pada daun sawi.

Selama masa penanaman sawi berlangsung parameter tinggi dan jumlah daun sawi diamati setiap 7 hari setelah tanam untuk dilakukan uji statistik parametrik *Paired Sample T-test.* Uji T ini digunakan untuk melihat adanya perbedaan rata-rata antara dua kelompok sampel yang berpasangan (berhubungan) yaitu dua sampel sama namun memperoleh dua perlakuan yang berbeda. Pada penelitian ini uji *paired sample T-test* digunakan untuk melihat perbandingan tinggi dan jumlah daun sawi antara tinggi tanaman P1 terhadap P2 dan P1 terhadap P3. Selanjutnya begitu juga pada jumlah daun yaitu P1 terhadap P2 dan P1 terhadap P3. Yang mana P1 sebagai *pre* (sebelum pemberian pupuk) P2 sebagai *post* (sesudah pemberian pupuk campuran) dan P3 sebagai *post* (sesudah pemberian pupuk campuran dan pestisida anorganik). setelah melalui uji persyaratan dengan uji normalitas dan homogenitas yang dapat dilihat pada Lampiran 3 hasil uji homegenitas dan normalitas menunujukan nilai > 0,05 ini menandakan sampel berdistribusi normal dan homogen maka selanjutnya dapat dilakukan *Paired Sample T-test.*

Berdasarkan hasil uji *Paired Sample T-test* dapat dilihat pada Lampiran 4 menunjukkan nilai sig. (2 tailed) = 0,000 < 0,05 maka dapat disimpulkan adanya perbedaan yang signifikan antara tinggi tanaman sawi P1 terhadap P2 dan P1 terhadap P3. Begitupula pada jumlah daun terdapat perbedaan antara P1 terhadap P2 dan P1 terhadap P3. Artinya ada perbedaan tinggi tanaman dan jumlah daun sawi sebelum (P1) dan sesudah ditambahkan pupuk campuran dan pestisida anorganik (P2 dan P3).

Berdasarkan hasil pengukuran penanaman sawi yang meliputi tinggi dan jumlah daun terbaik adalah dihari ke 55 diambil secara rata – rata memiliki paling tinggi pada P3 yaitu 29,2 cm dengan jumlah daun 11 - 13 helai, selanjutnya pada P2 dengan tinggi sawi 28,2 cm dan Jumlah daun 10 -12 helai. Adapun tinggi dan jumlah daun yang paling rendah atau sedikit terdapat pada P1 yaitu 17,2 cm dengan jumlah daun 5 - 6 helai. Perbedaan tinggi Ini disebabkan pada P1 tanaman sawi tidak diberikan pupuk maupun pestisida yang hanya mengandalkan nutrisi yang terdapat dalam tanah saja sehingga tinggi dan jumlah daun tidak seperti pada P2 dan P3yang menggunakan pupuk campuran. Pada penelitian yang dilakukan Afifah (2023) tinggi sawi yang ditanam secara anorganik (tanpa campuran pupuk kandang) di hari ke 55 yaitu 27,92 dengan jumlah daun 5-7 helai, hal ini dikarenakan jumlah dan dosis pupuk maupun pestisida yang digunakan berbeda. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh kholidin dkk (2016) Pemberian pupuk kandang yang dikombinasikan dengan pupuk NPK dan mulsa menyebabkan jumlah daun tanaman sawi di umur 28 HST lebih banyak yakni 10 helai dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya penggunaan pupuk NPK yang tidak dikombinasikan menghasilkan rata-rata jumlah daun hanya 8 helai (Kholidin dkk., 2016).

Selain pemberian pupuk pada sawi cahaya dan suhu juga mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian tentang pengaruh cahaya dan suhu dilakukan Pertamawari (2010) terhadap tanaman kentang dengan melakukan variasi cahaya dan suhu selama masa budidaya. Hasil penelitian yang diperoleh Pertamawari (2010) menyatakan bahwa cahaya dan suhu yang lebih tinggi memiliki hasil produksi yang lebih baik. Sehingga faktor suhu dan cahaya memiliki keterkaitan untuk pendukung pertumbuhan tanaman. Dari hasil penelitian Telaumbanua *et al* (2016) suhu 35˚ C dan cahaya 12000 lux adalah kondisi yang ideal untuk budidaya sawi (Telaumbanua *et al.,* 2016).

4.3 Konsentrasi Tembaga Pada Sawi Dan Tanah

Berikut hasil analisis logam tembaga dapat dilihat pada Tabel 12 di bawah ini.

Tabel 6 Hasil analisis tembaga pada sayur dan tanah

Sampel	Kadar Cu (mg/kg)	NAB (mg/kg)
Shoot P1	0.12	
Shoot P2	0.07	
Shoot P3	0.10	

Sampel	Kadar Cu (mg/kg)	NAB (mg/kg)
Akar P1	0.19	5*
Akar P2	0.24	
Akar P3	0.22	
Tanah P1	0.13	
Tanah P2	0.31	100**
Tanah P3	0.33	

Keterangan :

P1 (perlakuan 1) = Tanaman sawi tanpa menggunakan pupuk dan pestisida

P2 (perlakuan 2) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik dan organik

P3 (perlakuan 3) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik, organik serta pestisida anorganik

NAB* = Nilai Ambang Batas (Dit Jend POM No.03725/B/SKVII/89)

NAB** = Nilai ambang batas (MAC *in Agricultural Soil in China)*

Penentuan kadar tembaga (Cu) dilakukan dengan metode destruksi basah. Metode destruksi basah dilakukan dengan menggunakan asam – asam kuat untuk proses oksidasinya. Larutan asam kuat yang digunakan dalam menentukan Cu pada sawi memakai HNO_3 dan H_2O_2. Larutan HNO_3 berfungsi untuk mendestruksi atau menjadi agen pengoksidasi utama pada suhu rendah sehingga sampel akan mudah larut. Sedangkan larutan H_2O_2 berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi terputusnya tembaga (Cu) dan senyawa organik yang berada didalam sampel sawi. katalis berfungsi untuk menurunkan energy aktivasi dengan mempercepat laju reaksinya. Tahapan proses destruksi bisa dilihat pada lampiran 5.

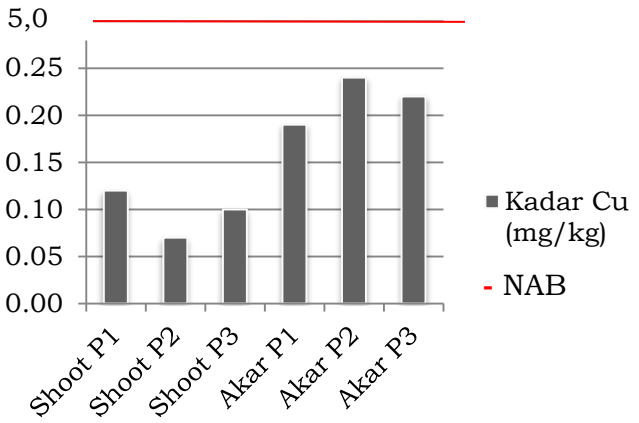
Larutan jernih yang dihasilkan pada proses destruksi menandakan bahwa senyawa organik yang terkandung dalam sampel telah larut sempurna atau perombakan sampel berjalan dengan baik (Kristianingrum, 2011). Larutan jernih yang dihasilkan dari proses destruksi sawi seperti pada Gambar 11.

Gambar 4 Hasil destruksi logam Cu

Setelah pendestruksian diukur menggunakan *Inductively couple plasma* (ICP) menggunakan deret standar logam Tembaga (Cu).

4.4.1 Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Pada Sawi

Konsentrasi logam Cu pada sawi diperoleh dari bagian akar dan *shoot* tanaman, adapun *shoot* dari sawi hijau diambil dari bagian tengah batang sawi hingga pucuk daun sawi. Berdasarkan hasil penelitian pada Tabel 12 menunjukkan kadar tembaga pada akar lebih besar daripada kadar Cu yang ada pada bagian *shoot* sawi. Akumulasi logam berat pada daun didukung oleh luas permukaan daun yang lebar, kecepatan transfortasinya tinggi dan pertumbuhan yang sangat cepat. Logam berat dapat masuk ke jaringan tanaman melalui poripori akar dan stomata daun, sehingga pada akar dan selulosa daun terjadi akumulasi logam berat. Menurut Darmono (1995) ada beberapa faktor yang mempengaruhi kadar logam berat dalam tanaman, antara lain morfologi dan fisiologi tanaman, lamanya paparan logam berat pada tanaman, kadar logam berat dalam tanah, umur tanaman dan faktor yang mempengaruhi areal di sekeliling tanaman tersebut (Yanova dkk., 2016). Jika dibuat secara grafik terlihat pada Gambar 12 konsentrasi Cu tinggi berada pada bagian akar sawi hijau. Setiawan (2013) menyatakan bahwa besarnya kandungan logam berat yang terdapat pada jaringan akar diduga karena jaringan akar berinteraksi langsung dengan tanah dan air yang telah terkontaminasi oleh logam berat yang mengendap (Dewi dkk., 2018).



Gambar 5 Kadar logam Cu pada Sawi

Keterangan :

P1 (perlakuan 1) = Tanaman sawi tanpa menggunakan pupuk dan pestisida

P2 (perlakuan 2) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik dan organik

P3 (perlakuan 3) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik, organik serta pestisida anorganik

NAB = Nilai Ambang Batas (Dit Jend POM No.03725/B/SKVII/89)

Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan logam Cu untuk ketiga perlakuan sampel sawi masih di bawah ambang batas dalam kategori aman berdasarkan Surat Keputusan Direktur Jendral POM No. 03725/B/SKVII/89 yaitu 5,0 mg/kg. Artinya ketiga perlakuan aman untuk dikonsumsi. Berdasarkan Kandungan logam Cu yang didapat masih dibawah ambang batas maksimum yang ditentukan oleh Badan Pengawas Obat dan

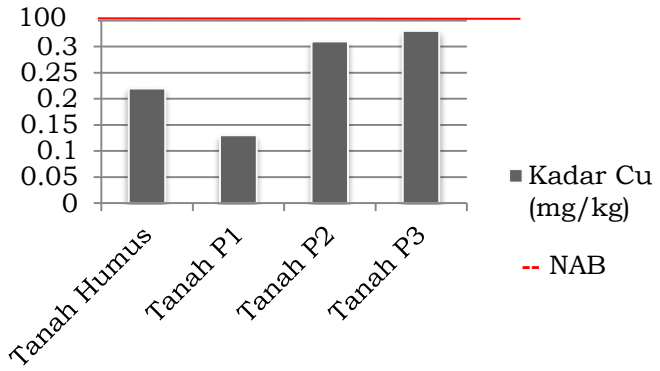
Makanan yaitu 5 mg/kg dalam sayuran dan olahannya. Namun perlu digaris bawahi bahwa penelitian ini dilakukan dalam sekali penanaman dengan menggunakan *polybag* sehingga mempengaruhi nilai kandungan logam Cu yang terdapat pada tanamana sawi.

Seperti halnya yang dikatakan Aryawan (2017) faktor yang mempengaruhi akumulasi logam berat pada tanaman yaitu jangka waktu kontak tanaman dengan logam berat, jenis logam, spesies tanaman, komposisi tanah, kondisi geografi, mobilitas ion logam ke zona perakaran dan pergerakan logam berat dalam jaringan tanaman. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Siaka (2021) pada sawi putih di pertanian Desa Baturiti lahan yang sudah bertahun-tahun ditanami sayur namun secara berkala dengan konsentrasi Cu 28,3933-36,2952 mg/kg atau setara 60,24-66,75% dari kandungan logam dalam seluruh bagian tanamannya. Sehingga daun sawi putih tergolong tercemar logam Cu karena melebihi ambang batas yang telah ditentukan oleh Badan Pengawas Obat dan Makanan (Siaka, 2021). Menurut Khan *et al.,* (2015) mengatakan Logam berat memiliki kemampuan berpindah dari tanah dan air yang terkontaminasi dan terbioakumulasi dalam sayuran sehingga menimbulkan risiko kesehatan (Khan *et al.*, 2015).

Menurut Al (2012) logam tembaga Cu merupakan mikroelemen esensial untuk semua tanaman dan hewan, termasuk manusia. Logam Cu diperlukan oleh berbagai system enzim di dalam tubuh manusia. Oleh karena itu Cu harus selalu ada di dalam makanan. Sehingga perlu diperhatikan adalah menjaga agar kadar Cu di dalam tubuh agar tidak kekurangan dan juga tidak berlebihan. Adapun kebutuhan tubuh perhari akan Cu adalah 0,05 mg/kg berat badan.

4.4.2 Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Pada Tanah

Berdasarkan hasil penelitian (Tabel 12) kadar logam Cu pada tanah humus yaitu 0,22 mg/kg, P1 tanaman sawi tanpa menggunakan pupuk maupun pestisida yaitu 0,13 mg/kg, P2 tanaman sawi yang menggunaan pupuk organik dan anorganik yaitu 0,31 mg/kg dan P3 yaitu 0,33 mg/kg. Dibuat secara grafik pada Gambar 14 memperlihatkan adanya peningkatan kandungan logam Total Cu pada tanah saat panen di semua tanaman. Hal ini dapat disebabkan oleh pemberian pupuk kandang dan NPK serta cemaran dari air yang digunakan. Menurut Arimbawa (2020) Pupuk kandang mengandung 52,2630 mg/kg logam Cu dan pupuk NPK mengandung 17,92 mg/kg logam Cu (Siaka, 2021).



Gambar 6 Kadar Cu Dalam Tanah

Keterangan :

P1 (perlakuan 1) = Tanaman sawi tanpa menggunakan pupuk dan pestisida

P2 (perlakuan 2) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik dan organik

P3 (perlakuan 3) = Tanaman sawi yang diberi pupuk anorganik, organik serta pestisida anorganik

NAB = Nilai ambang batas (MAC *in Agricultural Soil in China)*

Pemberian pupuk dapat meningkatkan kandungan bahan organik di dalam tanah yang akan meningkatkan jumlah logam berat Cu terikat bahan organik, dimana bahan organik dapat menyebabkan pengkelatan kation-kation logam. Dengan demikian terjadi peningkatan kandungan logam Cu pada tanah saat panen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan tembaga (Cu) pada tanah masih berada dibawah ambang batas dan kategori aman berdasarkan MAC *in Agricultural Soil in China* Kandungan logam berat tembaga (Cu) dalam tanah 100 mg/kg. Hal ini disebabkan karena penanaman sawi hijau dilakukan pada tanah yang belum terkontaminasi logam Cu yang berasal dari pupuk dan pestisida. Ini dibuktikan oleh penelitian terdahulu kandungan Cu dalam tanah pertanian sayuran anorganik sekitar 10 kali lipat lebih tinggi dibandingkan kadar logam Cu dalam tanah pertanian sayuran organik. sehingga menyebabkan kadar logam pada sayuran anorganik juga tinggi. Meskipun begitu,kadar logam Cu dalam tanah kedua lokasi pertanian sayuran tersebut masih di bawah ambang batas MAC in Agricultural soil in China, yaitu 100 mg/kg (Yanova dkk., 2016).

Menurut Aryawan (2017) perpindahan Cu dengan konsentrasi relatif tinggi dari lapisan tanah ditentukan oleh cuaca, proses pembentukan tanah, pengairan, potensial oksidasi reduksi, jumlah bahan organik di tanah dan pH tanah. Kondisi tanah yang asam akan meningkatkan kelarutan Cu, sedangkan pada kondisi basa Cu cenderung dipresipitasi oleh tanah sehingga akan terlarut dan terbawa air (Siaka, 2021).

4.4 *Biological Accumulation Coeffisien* (BAC), *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF).

Berikut hasil analisis logam tembaga dapat dilihat pada Tabel 13

Tabel 7 Hasil Perhitungan Bioakumulasi tembaga

No	Sampel	BAF	BCF	TF
1	Perlakuan 1	0,000048	0,000019	2,54
2	Perlakuan 2	0,000059	0,000024	2,44
3	Perlakuan 3	0,00014	0,000032	4,34

Keterangan :

BAC = *Biological Accumulation Coeffisien*

BCF = Biological Concentration Factor

TF = *Translocation Factor*

Menurut Malidareh dkk. (2014) asupan makanan dengan kadar logam berat yang tinggi berpotensi mengancam kesehatan manusia dan hewan. Oleh karena itu, penentuan hubungan tanah dengan tanaman pangan mengenai akumulasi logam berat merupakan hal yang tepat. Namun, memperkirakan total logam berat dari bagian tanaman yang dapat dimakan dan tidak dapat dimakan mungkin kurang bermanfaat; maka penentuan logam dalam akar, jerami, dan biji-bijian secara terpisah dianjurkan. Lacatutsu dkk., (1996); Khan dkk., (2014) & Bunzl dkk., (1999) juga melaporkan bahwa informasi mengenai konsentrasi logam total dalam tanah tercemar tidak cukup untuk mengetahui tentang mobilitas dan ketersediaan logam berat untuk organisme hidup (Khan *et al.*, 2015).

Konsentrasi logam tembaga pada masing bagian sayur sawi (*Brassica rapa* var. *parachinensis L.)* selanjutnya digunakan untuk perhitungan *Biological Accumulation Coeffisien* (BAC), *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF). Sebelumnya dilakukan terlebih dahulu perhitungan kontribusi pupuk dan pestisida, selanjutnya dihitung serapan logam pada sawi. perhitungan kontribusi dan serapan dapat dilihat pada Lampiran 11. Selanjutnya dihitung bioakumulasi digunakan rumus *Biological Accumulation Coeffisien* (BAC), *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF) (Lampiran 12). Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besar atau tidaknya potensi terakumulasinya logam tembaga yang menggunakan pupuk campuran (organik dan anorganik) serta penggunaan pestisida pada sayur sawi. Ryan *et al.* (1982); Watanabe dkk. (2000); Cui dkk. (2004) & Yu dkk. (2006) mengatakan bioakumulasi dan transportasi logam berat pada tanaman merupakan jalur utama paparan manusia terhadap kontaminasi tanah melalui rantai makanan (Khan *et al.*, 2015). perhitungan nilai *Biological Accumulation Coeffisien* (BAC), *Biological Concentration Factor* (BCF) dan *Translocation Factor* (TF) yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 12.

4.5.1 *Biological Accumulation Coeffisien* (BAC)

Biological Accumulation Coeffisien (BAC) merupakan rasio konsentrasi logam pada pucuk tumbuhan dengan konsentrasi logam pada tanah (Rahman dkk., 2021). Nilai BAC tertinggi terdapat pada P3 yaitu 0,00014 sedangkan nilai BAC terendah terdapat pada observasi 1 yaitu 0,00048. Dari penelitian ini, ketiga perlakuan memiliki nilai BAC < 1, yang mengindikasikan bahwa sawi tidak berpotensi mengakumulasi logam dari tanah ke bagian daun/batang (*shoot)* sawi. Menurut Baker (1981) nilai BAC < 1 maka tanaman secara efektif mencegah logam berat masuk ke area akar tanaman namun konsentrasi di sekitar area perakaran masih tinggi.

4.5.2 *Biological Concentration Factor* (BCF)

Biological Concentration Factor (BCF) merupakan rasio konsentrasi logam pada akar tumbuhan dengan konsentrasi logam pada tanah. Menurut Lugwisha, 2016 faktor biokonsentrasi (BCF) menjelaskan transfer dan bioavailabilitas logam berat dari tanah ke tanaman atau bagian tanaman yang dapat dimakan (Lugwisha, 2016). BCF kurang dari 1 menunjukkan konsentrasi logam lebih banyak di tanah daripada yang diambil oleh

tanaman (Mng'ong'o., 2021). Nilai BCF paling tinggi terdapat pada P3 yaitu 0,000032, sedangkan nilai BCF terendah terdapat pada P1 yaitu 0,000019. Sama seperti BAC, *Biological Concentration Factor* (BCF) pada ke 3 perlakuan juga tidak terukur atau mendekati 0 (BCF < 1). Menurut Alkotra (2004) diartikan bahwa *famili Brassicaceae*, tidak memiliki potensi sebagai tanaman yang mengakumulasi kontaminan dari dalam tanah menuju kepermukaan tanah melalui akar (Rahman dkk., 2021). Menurut Baker (1981) BCF < 1 adalah tanaman yang secara efektif mencegah logam berat memasuki area bagian atas tanaman, namun konsentrasi logam sekitar perakaran masih tinggi (Santana dkk., 2018) ini selaras dengan hasil penelitian pada sawi yaitu kandungan logam Cu tinggi terukur pada jaringan akar sawi (Gambar 13).

4.5.3 *Translocation Factor* (TF)

Menurut Utami *et al.* (2018) nilai *Translocation Factor* (TF) yang dapat menggambarkan kemampuan fisiologi tanaman dalam pemindahan akumulasi logam berat dari hasil bioakumulasi pada jaringan tanaman. *Nilai Translocation Factor* (TF) dihitung berdasarkan perbandingan konsentrasi dari daun dan akar. Logam dipindahkan dari akar kebagian pucuk melalui jalur transparasi tanaman (*xylem*), tingkat transparasi unsur tidak sama pada tiap unsur dan tiap jenis tanaman. TF digunakan untuk melihat translokasi logam dari akar ke pucuk tanaman, yang dihitung dengan membagi konsentrasi logam dibagian pucuk dengan bagian akar. Menurut Zheng *et al.* (2007) faktor transfer tanah-ke-tanaman, juga dapat disebut faktor akumulasi, faktor serapan atau faktor konsentrasi, dianggap sebagai indeks untuk mengevaluasi potensi transfer logam dari tanah ke tanaman (Emurotu, 2017). Nilai TF logam Cu pada perlakuan 1,2 dan 3 dari penelitian didapatkan secara berturut adalah 2,54, 2,44 dan 4,33 (Tabel 10). Nilai *Translocation Factor* yang melebihi dari 1 menunjukkan tingkat mobilitas tinggi (Rahman dkk., 2021). Nilai TF > 1 menandakan bahwa mobilias tanaman cukup baik untuk mengangkut logam Cu ke seluruh tanaman sawi. ini artinya tanaman sawi hijau dapat berpotensi mengakumulasi lebih banyak logam berat tembaga (Cu) dari akar ke menuju area *shoot* (batang dan daun) sawi.

Konsentrasi logam tembaga (Cu) pada hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan Cu pada sayur sawi masih dibawah ambang batas yang diizinkan yang ditetapkan oleh BPOM (Gambar 13) namun perhitungan akumulasi faktor akar - *shoot* mengungkapkan bahwa akumulasi logam berat ke dalam tanaman diselidiki memiliki nilai TF > 1 , yang mengindikasikan sayur sawi memiliki mobiltas perpindahan logam dari akar kebagian yang dikonsumsi (batang dan daun). Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Islam (2020) pada sayur jenis *Brassica juncea* (*mustard green*) didapatkan hasil TF tembaga (Cu) lebih dari 1 pada yaitu 1,82, BCF 0,03 dan BAC 0,05 (<1) (Islam, 2020). Menurut Yoon *et al.*, (2006) tanaman dengan nilai BCF > 1 dan TF < 1 memiliki kemampuan dalam mengeksreksikan (mengeluarkan) suatu senyawa kimia tertentu untuk menahan logam berat didaerah *rizozfer* (perakaran). Sedangkan TF > 1 memiliki kemampuan

mentranslokasi kontaminan dari dalam tanah melalui sistem perakaran (Rahman dkk., 2021).

Nilai dari perhitungan bioakumulasi adalah sebagai indikator tanaman terhadap akumulasi dan penyerapan/translokasi logam pada tanaman. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai TF > 1 pada ketiga perlakuan sedangkan nilai BAC dan BCF memiliki nilai kurang dari satu (TF>BAC>BCF). Terdapat kesamaan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Islam (2020) nilai BAF, BCF dam TF yang didapatkan dari sawi hijau berturut – turut adalah 0,05 0,3 dan 1,82. Demikian dapat diartikan bahwa kemampuan sawi memiliki mobilitas dalam mentranslokasi atau mengangkut logam Cu dari akar menuju pucuk (*shoot*) secara efektif dan efisien. Sedangkan nilai BAC dan BCF memiliki nilai < 1 yang artinya konsentrasi dan akumulasi logam pada tanaman sawi tidak terjadi (tergolong sangat rendah) ini mengindikasikan tanaman sawi dapat mereduksi Cu dan memiliki metabolisme yang baik sehingga tidak memiliki potensi penimbunan konsentrasi dan akumulasi logam Cu yang berlebihan pada sawi. Menurut Priyanto & Prayitno (2021) tanaman memiliki mekanisme detoksifikasi. Makanisme detoksifikasi terjadi melalui pengendapan logam di organ tanaman tertentu bersama dengan akar. Mekanisme detoksifikasi ini bertujuan untuk menyelamatkan tanaman dari keracunan logam pada sel dan jaringan tanaman. Tanaman dapat melakukan proses reduksi logam berat pada tanaman bila mekanisme fisiologis bekerja dengan baik. Enzim reduktase ini berperan dalam proses mereduksi logam dalam tanah pada akar tanaman (Hadi & Purnomo, 2022).

Berdasarkan hasil analisis logam berat Cu yang terdapat pada sawi (*Brassica rapa var. parachinensis L.*) didapatkan pada bagian daun (*shoot*) dengan rentang nilai 0,07 – 0,10 mg/kg dan pada bagian akar 0,19 – 0,24 mg/kg jika dibandingkan dengan batas maksimal cemaran tembaga sawi yang ditetapkan oleh BPOM maka sayur sawi masih dalam kategori aman untuk dikonsumsi karena tidak melebihi batas maksimal cemaran tembaga yaitu 5 mg/kg .

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa

1. Diketahui kadar logam sawi hijau pada perlakuan 1, 2 dan 3 bagian *shoot* secara berturut yaitu 0,12 mg/kg, 0,07 mg/kg dan 0,10 mg/kg, dengan kadar logam pada akar sawi secara berturut yaitu 0,19 mg/kg, 0,24 mg/kg dan 0,22 mg/kg. Menurut Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) yaitu 5 mg/kg dalam sayuran dan olahannya. Sehingga hasil penelitian sekali penanaman masih kategori aman atau di bawah ambang batas. Selanjutnya hasil penelitian pada tanah setelah panen secara berturut-turut yaitu 0,13 mg/kg, 0,31 mg/kg dan 0,33 mg/kg juga masih berada dibawah ambang batas dan kategori aman berdasarkan MAC *in Agricultural Soil in China* Kandungan logam berat tembaga (Cu) dalam tanah 100 mg/kg.
2. Diketahui nilai *Biological Accumulation Factor* (BAC) logam tembaga pada sawi pada perlakuan 1, 2 dan 3 secara berturut yaitu 0,000048, 0,00059 dan 0,00014 (BAC<1). Secara mekanisme mengindifikasikan bahwa tidak terjadi akumulasi yang besar pada daun (*shoot*) sawi

1. Diketahui nilai *Biological Concentration Factor* (BCF) logam tembaga pada sawi pada perlakuan 1, 2 dan 3 secara berturut-turut yaitu 0,000019, 0,000024, dan 0,000032 (BCF<1) diartikan bahwa konsentrasi kontaminan dari dalam tanah menuju kepermukaan tanah melalui akar sangat kecil.
2. Diketahui nilai *Translocation Factor* (TF) logam tembaga pada sawi pada perlakuan 1,2 dan 3 secara berturut – turut yaitu 2,54 ,2,44 dan 4,34. Menandakan proses translokasi / perpindahan dengan efektif dari akar ke area *shoot* sawi.

5.2 Saran

1. Perlu penelitian lanjutan berkaitan dengan gambaran histologi anatomi sel pada jaringan akar, daun, dan batang sawi hijau terkait dengan lokasi dan mekanisme observasi/perlakuan yang berbeda .
2. Perlu adanya parameter pH, suhu dan cahaya sebagai faktor pertumbuhan sawi dan perpindahan Cu.
3. Perlu dilakukan penelitian tentang berapa takaran yang tepat dalam pemberian pupuk dan pestisida anorganik
4. Perlu dilakukan analisis tentang pengelolaan yang bisa dilakukan jika kadar logam Tembaga (Cu) yang didapatkan melebihi baku mutu