UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Pemanfaatan abu vulkan sebagai media tanam memiliki kendala, yaitu cepat mengalami sedimentasi dan pengerasan apabila terkena air. Salah satu upaya untuk memperbaiki kondisi fisik dari abu vulkan yaitu dengan memanfaatkan *biochar*. *Biochar* merupakan salah satu bahan pembenah tanah yang dapat memperbaiki kualitas tanah. Abu vulkan perlu mendapat tambahan asupan unsur hara dari pupuk, dalam penelitian ini digunakan pupuk kompos sampah kota. Penelitian ini terdiri atas 5 tahap penelitian (1) Karakteristik bahan : abu vulkan, *biochar* dan kompos sampah kota. (2) Percobaan takaran kombinasi campuran abu vulkan, *biochar* dan pupuk kompos sampah kota yang optimal menghasilkan tanaman selada pada sistem pot. (3) karakteristik campuran media setelah inkubasi tanpa tanaman. (4) Efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan tanaman sayuran sistem pertanaman vertikal dan (5) Efisiensi pemanfaatan radiasi matahari tanaman sayuran sistem pertanaman vertikal. Abu Vulkan G. Kelud didominasi debu 52,24%, pasir 43,81% dan lempung 3,95% termasuk tekstur geluh debuan. Berat jenis 2,36 $g.cm^{-3}$ dan berat volume 1,48 $g.cm^{-3}$, porositas 37%, pori drainase cepat 9,27% dan pori drainase lambat 2,36%. Kapasitas lengas tersedia 23,12%, kemasaman (pH) aktual berharkat agak masam (6,31) dan pH potensial dengan nilai 5,38 (harkat masam). Kapasitas Penukaran Kation memiliki nilai 2,74 $cmol^{+}.kg^{-1}$ atau berharkat sangat rendah. Abu vulkan tidak mengandung bahan organik dan N total, P tersedia berharkat sedang dengan nilai 9,88 $mg.kg^{-1}$, K tersedia sebesar 0,12 $cmol^{+}.\ kg^{-1}$ atau berharkat rendah. Bahan pembenah arang sekam padi mempunyai nilai pH (H_2O) 7,07 dan nilai DHL 0,5 mS/cm. Kandungan C organik sebesar 5,71% setara dengan kandungan bahan organik 11,24%. Nilai KPK arang sekam padi 5,34 $cmol^{(+)}.kg^{-1}$. Kandungan N total arang sekam 0,52%, kandungan P total 0,33% dan kandungan K total 0,96%. Pupuk organik yang digunakan adalah pupuk kompos sampah kota. Kemasaman pupuk kompos agak alkalis (8,19), tingkat kegaraman sangat rendah, KPK tinggi (22,51 $cmol^{+}.kg^{-1}$), N, P dan K total rendah. Pupuk kompos sampah kota dapat memberikan peran perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah, antara lain struktur tanah, sumber unsur hara bagi tanaman, meningkatkan aktivitas jasad renik, meningkatkan KPK. Perlakuan 100% abu vulkan tanpa arang sekam dan pupuk kompos tidak menunjukkan pertumbuhan. Perlakuan takaran terbaik di pot adalah 25% abu vulkan, 25% arang sekam, dan 50% pupuk kompos sampah kota dengan bobot hasil ekonomi 50,38 gram per tanaman. Perlakuan terbaik pada pertanaman vertikal dengan perlakuan yang sama menghasilkan berat segar konsumsi tertinggi 557 g/kolom. Efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan juga tertinggi pada perlakuan yang sama dengan nilai efisiensi air 2,2 $g.kg^{-1}$, efisiensi pupuk 0,11 $kg.kg^{-1}$ dan efisiensi lahan 2,0 $kg.m^{-2}$. Hasil pengukuran dan perhitungan intensitas radiasi selama musim tanam (35 hari) berturut-turut sebagai berikut: musim tanam satu sebesar 400 MJ musim tanam kedua sebesar 269 MJ dan musim tanam ketiga sebesar 359 MJ. Nilai efisiensi pemanfaatan radiasi matahari tertinggi diperoleh pada musim tanam kedua sebesar 0,17 $g.MJ^{-1}$, berikutnya musim tanam satu sebesar 0,11 $g.MJ^{-1}$ dan terendah musim tanam ketiga sebesar 0,06 $g.MJ^{-1}$.

Kata kunci: Arang Sekam; Selada Keriting; Pupuk Kompos Sampah Kota; Abu Vulkan; Sistem Pertanaman Vertikal

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Utilization of volcanic ash as planting media has a constraint, that is quickly experienced sedimentation and hardening when exposed to water. One effort to improve the physical condition of volcanic ash is by utilizing *biochar*. *Biochar* is one of the soil enhancers that can improve soil quality. Volcanic ash need to get additional nutrient intake from fertilizer, in this research used compost garbage city. This research consists of 5 research phases (1) Material characteristics: volcanic ash, *biochar* and compost of city waste. (2) Experiment of mixed dosage of volcanic ash, *biochar* and optimum municipal compost fertilizer produces lettuce plant in pot system. (3) characteristics of mixed media after incubation without plants. (4) Efficiency of water utilization, fertilizer and vegetable plant land of vertical cropping system and (5) Efficiency of radiation utilization of vegetable crop of vertical cropping system. Volcanic ash of Mt. Kelud is dominated by 52.24% silt, 43.81% sand and 3.95% clay including texture of silty loam. Specific gravity 2.36 $g.cm^{-3}$ and Bulk Density 1.48 $g.cm^{-3}$, porosity 37%, fast drainage pores 9.27% and drainage pore slow 2.36%. The available moisture capacity is 23.12%, actual acidity (pH) is slightly acidic (6.31) and potential pH of 5.38 (acidic). Cation Exchange Capacity has a value of 2.74 $cmol^{+}.kg^{-1}$ or very low. Volcanic ash does not contain organic material and Nitrogen, P is available with medium value with value 9.88 $mg.kg^{-1}$, K available equal to 0,12 $cmol^{+}. kg^{-1}$ or low end. Charcoal husk materials have pH value (H_2O) 7.07 and EC value 0.5 mS / cm. Content of organic C of 5.71% is equivalent to the organic matter content of 11.24%. The value of CEC of charcoal husk chaff 5.34 $cmol^{+}.kg^{-1.}$ The total N content of the husk husk is 0.52%, the total P content is 0.33% and the total K content is 0.96%. The organic fertilizer used is the compost of municipal solid waste. The acidity of compost fertilizer was slightly alkaline (8,19), very low salinity rate, high CEC (22,51 $cmol^{+}$.kg-1), N, P and K total were low. Municipal waste compost fertilizers can provide improved physical, chemical and biological properties of soil, including soil structure, nutrient source for plants, increasing microorganism activity, increasing CEC. Treatment 100% volcanic ash without charcoal husk and compost fertilizer did not produce. The best dosage treatment in pots is 25% volcanic ash, 25% charcoal husk, and 50% of city waste compost fertilizer with economical yield weight at 50.38 gram per plant. The best treatment on vertical croping system is the mentioned treatment with economical yield weight 500 $g.column^{-1}$. Efficiency of water utilization, fertilizer and also highest land at that treatment with a water efficiency ratio of 2.2 $g.kg^{-1}$, fertilizer efficiency of 0.11 $kg.kg^{-1}$ and land efficiency of 2.0 $kg.m^{-2}$. The results of measurement and calculation of radiation intensity during the planting season (35 days) are as follows: the first planting season with 400 MJ, the second planting season with 269 MJ and the third planting season with 359 MJ. The highest efficiency of solar radiation was obtained during the second growing season 0.17 $g.MJ^{-1}$, the first growing season with 0.09 $g.MJ^{-1}$ and the lowest at the third growing season with 0.06 $g.MJ^{-1}$.

Keywords: Charcoal husk; Curly lettuce; Municipal Waste Compost Fertilizer; Volcanic Ash; Vertical Croping System

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Hasil survei Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (Balitbangkes) Kementerian Kesehatan 2014 menunjukkan bahwa masyarakat Indonesia yang makan sayur dalam jumlah yang sangat sedikit. Masyarakat Indonesia hanya memakan sayuran 91 gram (g) per hari per orang atau 33,215 kg/kapita/tahun. Padahal jumlah standar kecukupan untuk sehat menurut FAO adalah mengkonsumsi sayur sebanyak lima porsi perhari atau total 91,25 kilogram/kapita/tahun. Selain itu jumlah tersebut sangatlah berbeda dibanding konsumsi sayuran dari warga Thailand, Filipina, dan Singapura. Rata-rata orang Singapura melahap sayuran sebesar 518 gram per kapita per hari

Peningkatan produksi dapat dilakukan intensifikasi dan ektensifikasi, extensifikasi menghadapi kendala penyusutan lahan yang sulit dikendalikan. Intensifikasi diarahkan untuk lahan pekarangan yang terbatas, lahan pekarangan pada umumnya belum seluruhnya dimanfaatkan secara optimal, pada hal luas pekarangan di Indonesia mencapai 10,5 juta ha (BPS 2015). Pemanfaatan pekarangan merupakan pengelolaan pekarangan melalui pendekatan terpadu berbagai jenis tanaman, ternak, ikan sehingga akan menjamin ketersediaan bahan pangan yang beranekaragam secara terus menerus, guna pemenuhan gizi keluarga.

Adanya kerawanan pangan akibat penurunan produksi karena perubahan iklim, gangguan organisme pengganggu tanaman, kualitas hasil menurun serta makin menciutnya lahan pertanian karena alih fungsi lahan serta tuntutan bahan pangan bergizi dan faktor kesehatan lingkungan, sehingga kemandirian pangan harus dimulai dari rumah tangga. Terkait dengan ketahanan pangan sudah saatnya masyarakat perlu memanfaatkan pekarangan secara optimal dalam menanggulangi krisis pangan dan meningkatkan ketahanan pangan keluarga.

Ketahanan pangan diartikan sebagai kondisi tersedianya pangan yang memenuhi kebutuhan setiap saat untuk hidup sehat, aktif dan produktif (FAO, 1996). Kedaulatan pangan didefinisikan sebagai hak sebuah Negara dan petani untuk menentukan kebijakan pangannya dengan memprioritaskan produksi pangan lokal untuk memenuhi kebutuhan sendiri, menjamin ketersediaan tanah subur, air, benih termasuk pembiayaan untuk para buruh tani dan petani kecil serta melarang adanya praktek perdagangan pangan dengan cara *dumping*.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2015-2019 disusun sebagai perwujudan amanah Undang-Undang Nomor 17 tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025. Pada RPJMN tahap-3 (2015-2019), sektor pertanian masih menjadi sektor penting dalam pembangunan ekonomi nasional. Peran strategis sektor pertanian tersebut digambarkan dalam kontribusi sektor pertanian dalam penyedia bahan pangan dan bahan baku industri, penyumbang PDB, penghasil devisa negara, penyerap tenaga kerja, sumber utama pendapatan rumah tangga perdesaan, penyedia bahan pakan dan bioenergi, serta berperan dalam upaya penurunan emisi gas rumah kaca.

Pertanian menyumbangkan beberapa bentuk jasa lingkungan, antara lain mengatur tata air dan mengendalikan banjir pada suatu daerah aliran sungai (DAS), menjaga keberadaan sumberdaya air, mengendalikan erosi, mengendalikan longsor, mempertahankan suhu udara, mendaur-ulang limbah, menjaga kualitas (purifikasi) udara dan memitigasi perubahan iklim. Nilai dari masing-masing jasa lingkungan yang dapat dihasilkan oleh sektor pertanian ditentukan oleh sIstem penggunaan dan pengelolaan lahan. Berbagai praktek pertanian bisa menghasilkan jasa lingkungan dan multifungsi yang negatif (*negative externalities*), namun sistem pertanian yang dikelola secara berkelanjutan akan memberikan *positive externalities*.

Sumberdaya energi matahari di daerah tropika yang melimpah belum dipanen dengan baik, padahal radiasi yang melebihi keperluan tanaman dapat menimbulkan pengaruh jelek terhadap produksi. Tanaman akan berproduksi baik kalau sesuai dengan keperluan tanaman. Berdasarkan kejenuhan intensitas cahaya, beberapa jenis tanaman menurut Yen-hu Chang (1968) mengalami kejenuhan pada intensitas cahaya 6.000 *foot candle* (fc), ini kira-kira separo dari radiasi surya penuh pada tengah hari yang biasanya melampaui 10.000 fc dan bahkan mencapai 14.000 fc apabila cuaca cerah, sehingga kejenuhan cahaya terjadi sejak pukul 10.00 -16.00 .

Penelitian Fue *et al*. (2012) tentang pengaruh intensitas cahaya terhadap hasil berat basah selada, memperoleh hasil bahwa dengan intensitas 100-400 µmol/m^2s hasil selada rendah, dengan perlakuan 600 µmol/m^2s hasilnya meningkat dan tertinggi, selanjutnya pada intensitas 800 µmol/m^2s hasilnya menurun lagi.

Perlakuan cahaya yang berbeda-beda secara nyata mempengaruhi luas, lebar dan panjang daun selada. Apabila dibandingkan pada 3 (tiga) varietas selada: Red Rapids, Lollo Rosso dan Falbala, varietas Red Rapids menghasilkan luas daun

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tertinggi dibandingkan dengan varietas lainnya dalam kondisi sinar sedang (690 µmol/m^2s) dan sinar tinggi (1400 µmol/m^2s), sementara perlakuan sinar sangat rendah (260 µmol/m^2s) umumnya menyebabkan pertumbuhan luas daun terendah kecuali dalam varietas Falbala. Kecenderungan yang sama juga dapat diamati di semua varietas selada berkaitan dengan panjang dan lebar daun (Hipal dan Dionisio-sese, 2014).

Budidaya pertanian di daerah tropis, di satu sisi mempunyai sumberdaya yang berlebih, namun di sisi lain terdapat keterbatasan. Lahan merupakan salah satu kendala utama pengembangan pertanian saat ini akibat makin banyaknya pengalihan penggunaan lahan pertanian subur ke penggunaan bukan pertanian. Persaingan penggunaan lahan pertanian dengan bukan pertanian harus semakin diperhitungkan dalam pengembangan komoditas sektor pertanian sehingga dapat memanfaatkan sumber-sumber daya secara efisien. Sumberdaya lahan yang semakin sempit serta kemungkinan kejenuhan produktivitas tanaman merupakan salah satu kendala dalam upaya swasembada pangan. Untuk mengatasi hal itu perlu diciptakan suatu teknologi pertanian yang hemat lahan (Nasrullah *et al.*, 1988).

Sumberdaya lain yang juga merupakan kendala adalah ketersediaan air. Pertanian merupakan pengguna air terbesar dari seluruh jumlah air yang terpakai oleh semua kegiatan manusia, maka upaya menghemat penggunaan air menjadi keharusan mutlak. Usaha tani merupakan tempat pemanfaatan air yang paling besar, menurut rerata dunia, pertanian menggunakan 80% dari seluruh air yang terpakai oleh semua kegiatan manusia (Biswass, 1982). Oleh karena itu upaya memperbaiki efisiensi pemanfaatan air akan mempunyai dampak positif sangat besar, baik dilihat dari sudut pertanian sendiri maupun dari segi kegiatan lain di luar pertanian.

Menurut rumusan diskusi panel peningkatan efisiensi pemanfaatan air pada tingkat usaha tani, efisiensi pendayagunaan air dari segi agronomi dapat dilakukan pada tingkat tanaman, pola tanam dan/atau pada satuan ekosistem lahan. Pendayagunaan air secara efisien perlu dilakukan bersama-sama secara serasi dengan unsur-unsur iklim (Anonim, 1983). Untuk mencapai pemberian air yang efisien perlu diketahui sifat-sifat tanah, hubungan dengan tanaman, iklim, praktek agronomi dan perhitungan ekonomi (Sinha, 1977).

Produksi tanaman berdasarkan konsep bioenergi digambarkan sebagai suatu proses konversi energi surya menjadi energi kimiawi alami, dialih-tempatkan ke penimbunan yang akhirnya menjadi bentuk produk tanaman melalui proses

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

fotosintesis. Dengan demikian peningkatan hasil pertanian harus diarahkan agar fotosintesis dapat berlangsung pada tingkat efisiensi yang tinggi.

Pengembangan budidaya pertanian di daerah perkotaan sudah sangat sulit dilakukan, karena terbatasnya media tanam. Salah satu media yang dapat dimanfaatkan sebagai media tanam adalah abu vulkan, terutama pada daerah yang mempunyai gunung api aktif.

Abu vulkan dapat memberikan dampak positif dan negatif terhadap kehidupan masyarakat. Salah satu dampak negatif dari erupsi gunung berapi yaitu peristiwa letusan yang menyebabkan dikeluarkannya material vulkan oleh gunung berapi. Salah satu material yang dikeluarkan gunung berapi adalah abu vulkan yang sebenarnya mengandung unsur hara yang baik bagi tanah. Manfaat yang diberikan pasca letusan gunung berapi sangat besar pengaruhnya terhadap tanah.

Abu vulkan yang berasal dari gunung berapi mengganggu lingkungan penduduk, sehingga harus dibuang jauh dari permukiman. Abu vulkan memiliki beberapa hara yang dapat dimanfaatkan tanaman, namun tidak secara langsung karena ada beberapa sifat yang tidak cocok untuk tanaman. Oleh karena itu perlu tambahan bahan pembenah supaya dapat ditanami. Sifat abu vulkan murni cepat mengeras setelah terkena air, sehingga untuk perbaikan sifat fisik digunakan pembenah *biochar*.

Biochar merupakan bahan yang memiliki kandungan karbon tinggi yang berasal dari biomassa kayu maupun sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan pada suatu tempat dengan sedikit atau tanpa udara (Lehman and Joseps, 2009). *Biochar* merupakan salah satu bahan pembenah tanah yang dapat memperbaiki kualitas tanah.

Potensi penggunaan *biochar* cukup besar di Indonesia, mengingat bahan baku seperti sekam padi, tempurung kelapa, dan sisa kayu banyak tersedia. Pembuatan arang dari bahan–bahan tersebut cukup dikenal di Indonesia namun belum dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah. Penggunaan *biochar* dari bahan baku sisa–sisa hasil pertanian tersebut memiliki banyak manfaat. Selain dapat memanfaatkan sisa–sisa hasil pertanian yang sulit terdekomposisi, juga dapat meningkatkan kualitas sifat fisik tanah sehingga produksi tanaman dapat meningkat.

Selain penggunaan *biochar*, abu vulkan perlu mendapat tambahan asupan unsur hara dari pupuk baik itu pupuk anorganik maupun organik. Pupuk anorganik yang dilakukan secara terus-menerus akan menyebabkan degradasi lahan. Selain

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

itu, biaya produksi yang digunakan untuk penyediaan pupuk anorganik tidak sebanding dengan degradasi lahan dan penurunan produktivitas tanaman.

Kompos sampah kota merupakan salah satu pupuk organik yang berasal dari sampah organik yang dihasilkan dari perumahan penduduk. Sampah organik dari perumahan dihasilkan dalam jumlah besar dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik bagi berbagai kegiatan pertanian. Sampah organik tersebut umumnya bersifat biodegradable, yaitu dapat terurai menjadi senyawa – senyawa yang lebih sederhana oleh aktivitas mikroorganisme tanah (Sulistyawati dan Nugraha, 2012). Hasil penguraian dari sampah organik tersebut banyak mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman, sehingga sangat baik digunakan sebagai pupuk organik.

Potensi pupuk kompos sampah kota sangat besar. Sampah kota yang didominasi >75% sampah organik sangat prospek untuk dikembangkan sebagai pupuk kompos yang berguna bagi tanaman. Jika Rata-rata per kapita per hari membuang sampah 0,5 kg, maka kalau 1 RW dengan warga 500 jiwa, maka dalam 1 bulan membuang sampah 5,25 ton/bulan sampah organik, dibuat kompos menghasilkan pupuk kompos 60% yang setara dengan 3,15 ton pupuk/bulan.

Pada penelitian ini digunakan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) yang merupakan sayuran daun yang banyak dikonsumsi masyarakat. Sayuran selada banyak diminati dan disukai masyarakat sebagai salad, lalapan dan hiasan dalam makanan, selain itu selada memiliki warna, tekstur dan aroma yang menyegarkan penampilan makanan sehingga mampu menambah selera makan. Selada banyak mengandung sumber mineral, pro-vitamin A, vitamin C dan serat (Rubatzky and Yamaguchi, 1998). Seiring dengan perubahan pola hidup masyarakat, termasuk cara memilih bahan makanan, maka dimungkinkan kebutuhan selada akan semakin meningkat.

2. Permasalahan

Kendala utama pengembangan pertanian saat ini adalah makin banyaknya pengalihan penggunaan lahan pertanian ke penggunaan bukan pertanian. Persaingan penggunaan lahan pertanian mengakibatkan pemilikan lahan makin sempit. Pertanian kota memanfaatkan lahan sempit/halaman rumah yang sinarnya tidak penuh sangat tergantung posisi matahari,

Salah satu usaha mengurangi dampak negatif pencemaran udara di daerah perkotaan ialah dengan memperbanyak tanaman/tumbuhan yang berfungsi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sebagai paru-paru kota. Oleh karena di daerah permukiman padat, pekarangan sangat sempit, perlu dikembangkan teknologi pertanian hemat lahan, salah satunya sistem pertanaman vertikal yang menggunakan kolom vertikal dari pipa PVC (Nitisapto, 1993).

Abu vulkan menjadi isu lingkungan yang penting karena jumlahnya yang banyak dan mengganggu keseimbangan lingkungan. Pemanfaatan abu vulkan dalam bidang pertanian masih sangat sedikit dan terbatas. Hal tersebut berbanding terbalik dengan keberadaan gunung berapi yang masih aktif dan banyak mengeluarkan abu vulkan setiap tahunnya. Pemanfaatan abu vulkan sebagai media tanam memiliki kendala, yaitu cepat mengalami sedimentasi dan pengerasan apabila terkena air. Apabila abu vulkan mengeras, maka akar tanaman akan sulit berkembang.

Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat fisik dan kimiawi dari abu vulkan yaitu dengan memanfaatkan *biochar*. *Biochar* merupakan bahan yang memiliki kandungan karbon tinggi yang berasal dari biomassa kayu maupun sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan pada suatu tempat dengan sedikit atau tanpa udara (Lehman and Joseps, 2009). *Biochar* merupakan salah satu bahan pembenah tanah yang dapat memperbaiki kualitas tanah.

Abu vulkan perlu mendapat tambahan asupan unsur hara dari pupuk baik itu pupuk anorganik maupun organik. Pupuk anorganik yang dilakukan secara terus-menerus akan menyebabkan degradasi lahan. Selain itu, biaya produksi yang digunakan untuk penyediaan pupuk anorganik tidak sebanding dengan degradasi lahan dan penurunan produktivitas tanaman.

Dalam penelitian ini, lebih ditekankan pada penggunaan pupuk organik. Pupuk organik yang digunakan dalam penelitian ini merupakan kompos sampah kota. Bertitik tolak dari keterbatasan lahan dan air ditambah melimpahnya radiasi surya, maka pertanian vertikal mempunyai harapan untuk dikembangkan. Untuk itu perlu dikaji lebih dahulu efisiensi pemanfaatan radiasi matahari, air, pupuk dan lahan dengan media tanam abu vulkan yang dicampur *biochar*.

3. Tujuan Penelitian

1. Memanfaatkan abu vulkan menjadi media tanam sayuran, khususnya selada keriting.
2. Menentukan campuran media tanam abu vulkan, arang sekam, dan pupuk kompos yang terbaik untuk sistem pertanaman vertikal.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3. Menentukan efisiensi pemanfaatan radiasi matahari, kombinasi air, pupuk dan lahan tanaman selada keriting pada sistem pertanaman vertikal.

4. Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian dapat memanfaatkan abu vulkan yang harus dibuang, menjadi media tanam yang mempunyai nilai ekonomi, sekaligus menangani masalah lingkungan.
2. Dapat memilih media paling baik dari campuran abu vulkan, arang sekam dan kompos sampah kota yang dapat meningkatkan produksai sayuran.
3. Sistem pertanaman vertikal menghasilkan teknologi yang efisien dalam pemanfaatan radiasi matahari, air, pupuk dan pemanfaatan lahan dalam produksi pangan serta nilai estetika serta penyerapan CO_2.
4. Hasil penelitian akan dijadikan paket teknologi tepat guna yang bisa diterapkan oleh masyarakat, karena saat ini Sistem Pertanaman Vertikal sudah dijadikan program nasional kawasan rumah pangan lestari namun belum ada pedoman yang baku.

5. Keaslian Penelitian

Peneliti sudah mencoba membuat kreasi penanaman pada sistem pertanaman vertikal dengan media Inceptisol dan Histosol sejak tahun 1989. Pada tahun 1992 baru mulai diajukan proposal penelitian DPP-LPPM UGM dan pada tahun 2011 diajukan kembali sebagai Teknologi Tepat Guna (TTG) pengabdian masyarakat maupun penelitian skripsi. Beberapa penelitian yang terkait dengan pemanfaatan abu vulkan, masih terbatas pada karakteristik abu vulkan dan pemanfaatan sebagai pembenah seperti Tabel 1. Perbedaan dengan penelitian yang sudah ada adalah, abu vulkan sebagai bahan pembenah, sedangkan penelitian ini memanfaatkan abu vulkan sebagai media tanam dengan bahan pembenah *biochar* dan pupuk kompos sampah kota.

Tabel 1. Beberapa penelitian abu vulkan sebagai pembenah tanah dan sifat kimia abu vulkan

No.	Judul	Penulis / Tahun	Hasil
1.	Aspek Agronomi Budidaya Kedelai di Lahan Gambut. Suatu Kajian Tanggap Tanaman Terhadap Amelioran	Setiadi, B. 1995. Disertasi Pasca Sarjana UGM	Abu vulkan meningkatkan produksi Kedelai di lahan gambut.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lanjutan Tabel 1

2.	Penggunaan abu vulkan sebagai amelioran pada tanah gambut dan pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah dan pertumbuhan jagung	Zuraida. 1999. Thesis Program Pascasarjana IPB	Abu vulkan Gunung Kelud dapat meningkatkan pH tanah, gambut, tinggi tanaman, berat kering tanaman dan akar jagung.
3.	Chemical Wheathering of New Pyroclastic Deposits from Mt. Merapi (Java), Indonesia	Fiantis, D, M. Nelson, E. Van Ranst, J. Shamshuddin, N. P. Qafoku (J.Mt. Sci (2009) 6:240-254)	Kandungan mineral primer pada erupsi Gunung Merapi tahun 2006 adalah gelas vulkan, plagioklas, piroksin dan amfibol.
4.	Mineralogy, Chemical Composition, and Dissolution of Fresh Ash Eruption: New Potential Source of Nutrients	Markus Anda dan Muhrizal Sarwani (SSSAJ: Vol. 76 No. 2 March-Apr 2012)	Komposisi mineral dari abu vulkan Merapi erupsi tahun 2010 meliputi gelas vulkan 49%, labradorit 26%, augit 13% dan trace element meliputi bytownite, hypersthene, hornblende dan opak.
5.	Identifikasi sifat kimia abu vulkan, tanah dan air di lokasi dampak letusan Gunung Merapi	Suriadikarta, D.A., Abdullah Abbas Id., Sutono, Dedi Erfandi, Edi Santoso, A. Kasno. 2011. Balai Penelitian Tanah, Bogor	Kandungan P dalam abu vulkan berkisar antara rendah sampai tinggi Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan Mg abu vulkan rendah, namun kadar Ca dalam abu vulkan cukup tinggi, sedangkan kadar logam berat Fe, Mn, Pb dan Cd cukup rendah. Abu vulkan Gunung Merapi cukup aman untuk pengembangan pertanian.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

1. Tinjauan Pustaka

1.1. Abu vulkan

Gunung api pada saat erupsi mengeluarkan material erupsi yang sangat banyak. Salah satunya adalah abu vulkan yang tersebar jauh dan jatuh ke wilayah lain yang sangat luas. Sifat-sifat abu vulkan erupsi G. Merapi tahun 2010, yang dilakukan oleh Balittanahah Bogor, hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis sifat abu vulkan hasil erupsi G. Merapi. tahun 2010, di daerah (a) Kab Sleman dan (b) Magelang dan Boyolali

a. Lokasi Sleman

Lokasi	Pakem < 5cm	Pakem <10 cm	Pakem > 10 cm	Satuan	Harkat
pH	6,8	6,1	6,2	-	Agak masam -netral
P trsd	14	138	8	$mg.kg^{-1}$	Rendah - tinggi
KTK	2,66	7,10	3,89	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	Rendah
Ca	2,25	15,47	5,73	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	Tinggi
Mg	0,58	2,40	0,72	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	Rendah
S	2	42	6	$mg.kg^{-1}$	Rendah-
Fe	27	25	57	$mg.kg^{-1}$	Rendah
Mn	3,6	1,1	3,0	$mg.kg^{-1}$	Rendah-
Pb	0,1	0,0	0,1	$mg.kg^{-1}$	Rendah
Cd	0,02	0,03	0,0`1	$mg.kg^{-1}$	Rendah-

Sumber: Suriadikarta *et al.* (2011)

b. Lokasi Magelang - Boyolali

Lokasi	Dukun	Srumbung	Sawangan	Selo	Cepogo	Satuan	Harkat
pH	4,8	5,5	5,9	5,8	5,1	-	A masam - masam
P trsd	207	183	39	232	8	$mg.kg^{-1}$	Rendah – tinggi
KPK	4,97	4,72	6,23	2,26	1,77	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	Rendah
Ca	4,86	7,58	8,90	4,98	2,13	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	Rendah
Mg	0,21	0,67	0,33	0,17	0,13	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	Rendah
S	81	160	131	81	26	$mg.kg^{-1}$	Rendah –tinggi
Fe	13	15	10	8	11	$mg.kg^{-1}$	Rendah
Mn	1,5	2,7	6,8	1,0	2,8	$mg.kg^{-1}$	Rendah
Pb	0,5	0,0	0,5	0,4	0,3	$mg.kg^{-1}$	Rendah
Cd	0,0	0,02	0,02	0,01	0,01	$mg.kg^{-1}$	Rendah

Sumber: Suriadikarta *et al.* (2011)

Kabupaten Magelang dan Boyolali merupakan daerah yang lebih banyak terkena awan panas dari letusan gunung Merapi, sedangkan daerah Sleman lebih karena lahar panas. Kedua daerah terlihat bahwa pH tanah daerah yang terkena awan panas bervariasi antara 4,8-5,9, sedangkan daerah yang terkena lahar panas

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

berkisar antara 6,1-6,8. Kandungan P dalam abu vulkan berkisar antara rendah sampai tinggi (8-232 mg.kg^{-1} P2O5). Kapasitas Pertukaran Kation (KPK) dan Mg abu vulkan rendah, namun kadar Ca dalam abu vulkan cukup tinggi bervariasi dari 2 – 160 mg.kg^{-1}, sedangkan kadar logam berat Fe, Mn, Pb dan Cd cukup rendah. Hal ini dapat disampaikan bahwa abu vulkan Gunung Merapi cukup aman untuk pengembangan pertanian (Suriadikarta *et al.*, 2011).

Hasil analisis Cahyandaru *et al.*, (2012) yang mengambil sampel abu vulkan G. Merapi pada permukaan batu stupa induk Candi Borobudur tanggal 4 November 2010, menghasilkan data sebagai berikut (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil analisis kimia contoh abu vulkan G. Merapi dari Candi Borobudur

No.	Parameter	Kadar	Satuan	Harkat
1	Kalsium (Ca)	3,27	%	Rendah
2	Magnesium (Mg)	4,82	%	Rendah
3	Besi (Fe)	7,42	%	Rendah
4	Aluminium (Al)	12,84	%	
5	Sulfat (SO4)	5,31	%	
6	Karbonat (CO3)	4,77	%	
7	Silika (SiO2)	56,55	%	
8	Klorida (Cl)	0,17	%	
9	pH	5,00	-	
10	Ion Total	0,22	mg.kg^{-1}	
11	Salinitas	379,00	mg.kg^{-1}	

Sumber: Cahyandaru *et al.* (2012)

Abu vulkan yang masih baru akan melapisi permukaan tanah sehingga tanah mengalami proses peremajaan (*rejuvenate soils*). Abu vulkan yang menutupi lapisan atas tanah akan mengalami pelapukan dan memulai proses pembentukan (genesis) tanah yang baru. Abu vulkan yang terdeposisi di atas permukaan tanah mengalami pelapukan kimiawi dengan bantuan air dan asam-asam organik yang terdapat di dalam tanah. Proses pelapukan abu vulkan tersebut memakan waktu yang sangat lama yang dapat mencapai ribuan bahkan jutaan tahun apabila terjadi secara alami di alam. Hasil pelapukan abu vulkan tersebut akan mengakibatkan penambahan kadar kation – kation (Ca, Mg, K dan Na) di dalam tanah sehingga kadar Na 50% lebih tingggi dari keadaan sebelumnya (Fiantis, 2006).

Fiantis *et al.* (2009) menganalisis abu vulkan dari G Merapi yang ada di Krinjing memperoleh hasil abu vulkan bertekstur debuan, dengan kadar Mg, K, dan Ca tinggi, serta KPK yang rendah seperti Tabel 4.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4. Hasil analisis sifat fisik dan kimia sampel abu vulkan erupsi G. Merapi tahun 2006 dari Krinjing, Dukun Magelang

No.	Parameter	Kadar/ Lembab	Kadar/terlindi	Satuan	Harkat
1	Warna	5 YR 7/1	5 YR 7/1		-
2	Pasir	42,64	2,14	%	-
3	Debu	48,40	93,78	%	-
4	Lempung	8,96	4,08	%	-
5	pH (H_2O)	5,69	5,51		Agak masam
6	pH (KCl)	5,46	5,16		Masam
7	P (Bray 2)	124,03	122,22	$mg.kg^{-1}$	
8	P (HCl 25%)	633,91	726,70	$mg.kg^{-1}$	
9	Ca total	10,41	9,65	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	
10	Mg total	1,21	1,15	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	
11	K total	0,31	0,15	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	
12	Na total	0,13	0,11	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	
13	KPK	1,75	2,00	$cmol^{(+)}kg^{-1}$	

Sumber: Fiantis *et al.* (2009)

Menurut Zuraida (1999), abu vulkan Gunung Kelud Jawa Timur mengandung 45,9% SiO_2 dan mineral yang dominan adalah plagioklas intermedier. Abu vulkan Gunung Kelud yang diberikan pada tanah gambut dapat meningkatkan pH tanah, meningkatkan tinggi tanaman, Bobot hasil ekonomi kering dan akar jagung. Semakin halus abu vulkan semakin efektif terhadap pertumbuhan tanaman jagung.

1.2. Biochar

Bukti pertama *biochar* dibuat oleh manusia yang digunakan sebagai pembenah tanah berada di lembah Amazon dari Amerika Selatan lebih dari 2.500 tahun yang lalu. Bukti arkeologis menunjukkan bahwa orang-orang kuno menumpuk dan menutupi kayu di lubang tanah, kemudian dibakar perlahan-lahan dengan udara terbatas. Metode ini, masih digunakan saat ini di negara-negara berkembang (Anonim, 2012).

Saat ini, *biochar* diproduksi menggunakan pirolisis, yaitu biomasa dipanaskan tanpa oksigen pada suhu tinggi (350-700^oC) dalam tungku yang dirancang khusus. Bahan mentah yang paling banyak adalah apa yang sekarang dianggap limbah hasil pengolahan tanaman: sisa tanaman, puing-puing kayu, limbah konstruksi, serpihan kayu, pangkasan tanaman hias pohon di perkotaan (Allyson, 2011).

Menurut Priyadarsini dan Prabhune (2009) manfaat *biochar* pada tanah adalah:

1. Meningkatkan pH tanah, karena bersifat alkalin

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2. Meningkatkan simpanan air, khususnya pada tanah pasiran dan debuan
3. Penyediaan hara yang terkandung pada *biochar*
4. Peningkatan KPK tanah, sehingga meningkatkan efisiensi hara
5. Peningkatan komunitas mikrobia, termasuk bakteri, mikoriza dan jamur
6. Menghasilkan struktur tanah, contohnya meningkatkan porositas tanah.

Selain itu *biochar* membantu produksi berkelanjutan dan mengurangi kontaminasi sungai dan air tanah (Barrow, 2012). Hasil penelitian Afeng *et.al*. (2012) menunjukkan bahwa pembenah biochar meningkatkan produktivitas padi, pH tanah, karbon organik tanah, nitrogen total, tapi berat volume tanah menurun pada kedua siklus pertumbuhan padi, respirasi tanah tidak ada perbedaan yang signifikan antara pembenah *biochar* dan kontrol yang sesuai baik dalam tahun pertama dan kedua. *Biochar* dapat mengurangi kehilangan masukan pertanian seperti nitrat sama halnya mengurangi emisi N_2O dan CH_4 dari tanah ke atmosfer. Dalam hal ini *biochar* dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen dalam tanah.

Biochar memiliki banyak manfaat untuk pertanian. *Biochar* dapat ditambahkan untuk memperbaiki tanah, sebagai bahan amandemen tanah, dan penambat karbon (C). Selain meningkatkan kualitas tanah, penggunaan *biochar* juga dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Dari berbagai penelitian, pengaruh *biochar* terhadap produktivitas tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, terutama sifat awal tanah dan karakteristik biocahr itu sendiri. Istilah *biochar* sendiri masih tergolong baru, akan tetapi *biochar* dalam bentuk lain telah cukup lama digunakan, terutama untuk perbaikan tanah (Filiberto and John, 2013).

Pemanfaatan arang sekam telah meluas, tidak hanya sebagai sumber energi bahan bakar tetapi arangnya juga dapat dijadikan sebagai bahan pembenah tanah (perbaikan sifat-sifat tanah) dalam upaya rehabilitasi lahan dan memperbaiki pertumbuhan tanaman. Arang juga dapat menambah hara tanah walaupun dalam jumlah sedikit. Oleh karena itu, pemanfaatan arang menjadi sangat penting dengan banyaknya tanah terbuka/lahan marginal akibat degradasi lahan yang hanya menyisakan *subsoil*. Jika penggunaan arang sekam dapat membantu memperbaiki sifat-sifat tanah *subsoil* sehingga cocok untuk tempat tumbuh tanaman dan pertumbuhan tanaman menjadi baik.

Biochar dapat berada dalam tanah cukup lama, sehingga penggunaan *biochar* sebagai pembenah tanah selain memperbaiki sifat fisiko-kimia tanah juga dapat merupakan penyimpan karbon yang baik. Pengkayaan tanah akan karbon

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

melalui penambahan *biochar* berpengaruh positif terhadap sifat tanah antara lain stabilitas agregat tanah, KPK tanah, kandungan C-organik tanah, retensi air dan hara (Chan, 2007).

Media tanam merupakan komponen utama dalam pertumbuhan tanaman. Bagi tanaman, media tanam memiliki banyak peran. Media merupakan tempat bertumpu agar tanaman dapat berdiri tegak, yang dalamnya terkandung hara, air, dan udara yang dibutuhkan oleh tanaman. Arang sekam mengandung unsur karbon (C) tinggi, sumber kalium (K), untuk menggemburkan media tanam, nitrogen (N), dan mangan (Mn), sehingga untuk menghindari keracunan Mn, dengan menggunakan pupuk dengan kandungan Mn sedikit.

Salah satu penelitian telah menguji kandungan arang sekam secara cukup lengkap. Kadar lengas arang sekam sekitar 8,88%. Berat jenis arang sekam padi sekitar 1,23 $g.cm^{-3}$. Arang sekam memiliki pH H_2O cukup tinggi, yaitu 8,91. Hal tersebut dikarenakan arang sekam memang bersifat agak basa. KPK arang sekam adalah 16,709 $cmol^{(+)}.kg^{-1}$. P-total arang sekam sekitar 585 $mg.kg^{-1}$. K-total arang sekam sekitar sebesar 92 $mg.kg^{-1}$. P-tersedia arang sekam sebesar 17,56 $mg.kg^{-1}$ dan K-tersedia sekam padi sebesar 0,6 $mg.kg^{-1}$ (Soemeinaboedhy dan Tejowulan, 2007).

Arang sekam memiliki kemampuan menyerap air yang rendah dan porositas yang baik. Sifat ini menguntungkan jika digunakan sebagai media tanam karena mendukung perbaikan struktur tanah karena aerasi dan drainase menjadi lebih baik. Karena kandungan dan sifat ini, sekam bakar sering digunakan sebagai media tanam untuk tanaman hias maupun campuran pembuatan kompos.

1.3. Bahan Organik Tanah

Bahan organik adalah bagian dari tanah yang merupakan suatu sistem kompleks dan dinamis, yang bersumber dari sisa tanaman dan atau binatang yang terdapat di dalam tanah yang terus menerus mengalami perubahan bentuk, karena dipengaruhi oleh faktor biologi, fisika, dan kimia (Kononova, 1961). Menurut Stevenson (1997), bahan organik tanah adalah semua jenis senyawa organik yang terdapat di dalam tanah, termasuk seresah, fraksi bahan organik ringan, biomassa mikroorganisme, bahan organik terlarut di dalam air, dan bahan organik yang stabil atau humus.

Bahan Organik memberikan sumbangan terhadap pertumbuhan tanaman melalui pengaruhnya terhadap sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Bahan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

organik mempunyai fungsi keharaan karena berperan sebagai sumber nitrogen (N), fosfor (P), belerang (S) dan unsur-unsur lainnya bagi pertumbuhan tanaman.

Fungsi fisik dan fisiko-kimia karena meningkatkan struktur tanah menjadi lebih baik, sehingga memudahkan pengolahan tanah, memperbaiki aerasi dan kemampuan tanah dalam memegang air (lengas), dan meningkatkan kemampuan menyangga dan menukar ion-ion dalam tanah. Fungsi biologis karena sangat nyata mempengaruhi kegiatan-kegiatan organisme-organisme berupa mikroflora maupun mikrofauna.

1.3.1. Unsur hara bagi tanaman

Bahan organik tanah berpengaruh terhadap sifat-sifat fisik, kimia, maupun biologi tanah. Pengaruh langsung maupun tidak langsung terhadap ketersediaan hara. Bahan organik secara langsung merupakan sumber hara N, P, S, unsur mikro maupun unsur hara esensial lainnya. Meningkatkan retensi unsur hara melalui peningkatan muatan di dalam tanah. Mengimmobilisasi senyawa antropogenik maupun logam berat yang masuk ke dalam tanah (Stevenson, 1997).

Pengaruh bahan organik terhadap kesuburan kimia tanah antara lain terhadap kapasitas pertukaran kation, kapasitas pertukaran anion, pH tanah, daya sangga tanah dan terhadap keharaan tanah. Penambahan bahan organik akan meningkatkan muatan negative sehingga akan meningkatkan kapasitas pertukaran kation (KPK). Bahan organik memberikan kontribusi yang nyata terhadap KPK tanah. Sekitar 20 – 70% kapasitas pertukaran tanah pada umumnya bersumber pada koloid humus sehingga terdapat korelasi antara bahan organik dengan KPK tanah (Stevenson, 1982).

Sumber utama muatan negatif humus sebagian besar berasal dari gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH) (Brady, 1990). Muatan koloid humus bersifat berubah-ubah tergantung dari nilai pH larutan tanah. Dalam suasana sangat masam (pH rendah), hidrogen akan terikat kuat pada gugus aktifnya yang menyebabkan gugus aktif berubah menjadi bermuatan positif ($-COOH_2^+$ dan $-OH_2^+$), sehingga koloid-koloid yang bermuatan negatif menjadi rendah, akibatnya KPK turun. Sebaliknya dalam suasana alkali (pH tinggi) larutan tanah banyak OH, akibatnya terjadi pelepasan H^+ dari gugus organik dan terjadi peningkatan muatan negatif (-COO-, dan -O-), sehingga KPK meningkat (Parfitt, 1980).

Dilaporkan bahwa penambahan bahan organik pada tanah masam, antara lain Inseptisol, Ultisol dan Andisol mampu meningkatkan pH tanah dan mampu

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

menurunkan Al tertukar tanah (Suntoro, 2003; Cahyani., 1996; dan Dewi, 1996). Peningkatan pH tanah juga akan terjadi apabila bahan organik yang ditambahkan telah terdekomposisi lanjut (matang), karena bahan organik yang telah termineralisasi akan melepaskan mineralnya, berupa kation-kation basa. Peran bahan organik terhadap ketersediaan hara dalam tanah tidak terlepas dengan proses mineralisasi yang merupakan tahap akhir dari proses perombakan bahan organik.

Dalam proses mineralisasi akan dilepas mineral-mineral hara tanaman dengan lengkap (N, P, K, Ca, Mg dan S, serta hara mikro) dalam jumlah tidak tentu dan relatif kecil. Hara N, P dan S merupakan hara yang relatif lebih banyak untuk dilepas dan dapat digunakan tanaman. Bahan organik sumber nitrogen (protein) pertama-tama akan mengalami peruraian menjadi asam-asam amino yang dikenal dengan proses aminisasi, yang selanjutnya oleh sejumlah besar mikrobia heterotrofik mengurai menjadi amonium yang dikenal sebagai proses amonifikasi. Amonifikasi ini dapat berlangsung hampir pada setiap keadaan, sehingga amonium dapat merupakan bentuk nitrogen anorganik (mineral) yang utama dalam tanah (Tisdale and Nelson, 1975). Nasib dari amonium ini antara lain dapat secara langsung diserap dan digunakan tanaman untuk pertumbuhannya, atau oleh mikroorganisme untuk segera dioksidasi menjadi nitrat yang disebut dengan proses nitrifikasi. Nitrifikasi adalah proses bertahap yaitu proses nitritasi yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dengan menghasilkan nitrit, yang segera diikuti oleh proses oksidasi berikutnya menjadi nitrat yang dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* yang disebut dengan nitratasi. Nitrat merupakan hasil proses mineralisasi yang banyak disukai atau diserap oleh sebagian besar tanaman budidaya. Namun nitrat ini mudah terlindi melalui air drainase dan menguap ke atmosfer dalam bentuk gas (pada drainase buruk dan aerasi terbatas).

1.3.2. Fungsi fisika dan fisiko kimia

Membentuk agregat tanah yang lebih baik dan memantapkan agregat yang telah terbentuk sehingga aerasi, permeabilitas dan infiltrasi menjadi lebih baik. Akibatnya adalah daya tahan tanah terhadap erosi akan meningkat. Disamping juga meningkatkan retensi air yang dibutuhkan bagi pertumbuhan tanaman. Juga meningkatkan kapasitas sangga tanah dan meningkatkan suhu tanah

Bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah, yang mempunyai peran sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bersatu menjadi agregat tanah, sehingga bahan organik penting dalam pembentukan struktur tanah. Pengaruh pemberian bahan organik terhadap struktur tanah sangat berkaitan dengan tekstur tanah yang diperlakukan. Pada tanah lempung yang berat, terjadi perubahan struktur gumpal kasar dan kuat menjadi struktur yang lebih halus tidak kasar, dengan derajat struktur sedang hingga kuat, sehingga lebih mudah untuk diolah. Komponen organik seperti asam humat dan asam fulvat dalam hal ini berperan sebagai sementasi partikel lempung dengan membentuk komplek lempung-logam-humus (Stevenson, 1982). Pada tanah pasiran bahan organik dapat diharapkan merubah struktur tanah dari berbutir tunggal menjadi bentuk gumpal, sehingga meningkatkan derajat struktur dan ukuran agregat atau meningkatkan kelas struktur dari halus menjadi sedang atau kasar (Scholes *et al*., 1994). Bahkan bahan organik dapat mengubah tanah yang semula tidak berstruktur (pejal) dapat membentuk struktur yang baik atau remah, dengan derajat struktur yang sedang hingga kuat.

Mekanisme pembentukan egregat tanah oleh adanya peran bahan organik ini dapat digolongan dalam empat bentuk: (1) Penambahan bahan organik dapat meningkatkan populasi mikroorganisme tanah baik jamur dan actinomycetes. Melalui pengikatan secara fisik butir-butir primer oleh miselia jamur dan *actinomycetes,* maka akan terbentuk agregat walaupun tanpa adanya fraksi lempung; (2) Pengikatan secara kimia butir-butir lempung melalui ikatan antara bagian–bagian positip dalam butir lempung dengan gugus negatif (karboksil) senyawa organik yang berantai panjang (polimer); (3) Pengikatan secara kimia butir-butir lempung melalui ikatan antara bagian-bagian negatif dalam lempung dengan gugusan negatif (karboksil) senyawa organik berantai panjang dengan perantaraan basa-basa Ca, Mg, Fe dan ikatan hidrogen; (4) Pengikatan secara kimia butir-butir lempung melalui ikatan antara bagian-bagian negative dalam lempung dengan gugus positif (gugus amina, amida, dan amino) senyawa organik berantai panjang (polimer) (Seta, 1987). Hasil penelitian menunjukkan bahwa asam humat lebih bertanggung jawab pada pembentukan agregat di Regosol, yang ditunjukkan oleh meningkatnya kemantapan agregat tanah (Partoyo, 1999).

Pengaruh bahan organik terhadap sifat fisik tanah yang lain adalah terhadap peningkatan porositas tanah. Porositas tanah adalah ukuran yang menunjukkan bagian tanah yang tidak terisi bahan padat tanah yang terisi oleh udara dan air. Pori pori tanah dapat dibedakan menjadi pori mikro, pori meso dan pori makro. Pori-pori mikro sering dikenal sebagai pori kapiler, pori meso dikenal

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sebagai pori drainase lambat, dan pori makro merupakan pori drainase cepat. Tanah pasir yang banyak mengandung pori makro sulit menahan air, sedang tanah lempung yang banyak mengandung pori mikro drainasenya jelek. Pori dalam tanah menentukan kandungan air dan udara dalam tanah serta menentukan perbandingan tata udara dan tata air yang baik. Penambahan bahan organik pada tanah kasar (berpasir), akan meningkatkan pori yang berukuran menengah dan menurunkan pori makro. sehingga dapat meningkatkan kemampuan menahan air (Stevenson, 1982). Hasil penelitian menunjukkan, penambahan bahan humat 1 persen pada Latosol mampu meningkatkan 35,75% pori air tersedia dari 6,07% menjadi 8,24% volume (Herudjito, 1999). Pada tanah halus lempungan, pemberian bahan organik akan meningkatkan pori meso dan menurunkan pori mikro. Hal ini akan meningkatkan pori yang dapat terisi udara dan menurunkan pori yang terisi air, artinya akan terjadi perbaikan aerasi untuk tanah lempung berat. Terbukti penambahan bahan organik (pupuk kandang) akan meningkatkan pori total tanah dan akan menurunkan berat volume tanah (Wiskandar, 2002). Aerasi tanah sering terkait dengan pernafasan mikroorganisme dalam tanah dan akar tanaman, karena aerasi terkait dengan O_2 dalam tanah. Dengan demikian aerasi tanah akan mempengaruhi populasi mikrobia dalam tanah.

Pengaruh bahan organik terhadap peningkatan porositas tanah di samping berkaitan dengan aerasi tanah, juga berkaitan dengan status kadar air dalam tanah. Penambahan bahan organik akan meningkatkan kemampuan menahan air sehingga kemampuan menyediakan air tanah untuk pertumbuhan tanaman meningkat. Kadar air yang optimal bagi tanaman dan kehidupan mikroorganisme adalah sekitar kapasitas lapangan. Penambahan bahan organik di tanah pasiran akan meningkatkan kadar air pada kapasitas lapangan, akibat dari meningkatnya pori yang berukuran menengah (meso) dan menurunnya pori makro, sehingga daya menahan air meningkat, dan berdampak pada peningkatan ketersediaan air untuk pertumbuhan tanaman (Scholes *et al*., 1994). Terbukti penambahan pupuk kandang di Andisol mampu meningkatkan pori memegang air sebesar 4,73% (dari 69,8% menjadi 73,1%) (Tejasuwarna, 1999). Pada tanah berlempung dengan penambahan bahan organik akan meningkatkan infiltrasi tanah akibat dari meningkatnya pori meso tanah dan menurunnya pori mikro. Peran bahan organik yang lain, yang mempunyai arti praktis penting terutama pada lahan kering berlereng, adalah dampaknya terhadap penurunan laju erosi tanah. Hal ini dapat terjadi karena akibat dari perbaikan struktur tanah yaitu dengan semakin mantapnya agregat tanah,

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sehingga menyebabkan ketahanan tanah terhadap pukulan air hujan meningkat. Di samping itu, dengan meningkatnya kapasitas infiltrasi air akan berdampak pada aliran permukaan dapat diperkecil. sehingga erosi dapat berkurang (Stevenson, 1982).

1.3.3. Fungsi biologis tanah

Bahan organik dapat mensuplai energi bagi organisme tanah dan meningkatkan organisme saprofit dan menekan organisme parasit bagi tanaman. Bahan organik merupakan sumber energi bagi makro dan mikro-fauna tanah. Penambahan bahan organik dalam tanah akan menyebabkan aktivitas dan populasi mikrobiologi dalam tanah meningkat, terutama yang berkaitan dengan aktivitas dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Beberapa mikroorganisme yang beperan dalam dekomposisi bahan organik adalah fungi, bakteri, dan aktinomisetes. Di samping mikroorganisme tanah, fauna tanah juga berperan dalam dekomposi bahan organik antara lain yang tergolong dalam protozoa, nematoda, *Collembola*, dan cacing tanah. Fauna tanah ini berperan dalam proses humifikasi dan mineralisasi atau pelepasan hara, bahkan ikut membantu pemeliharaan struktur tanah (Tian, 1997). Mikro flora dan fauna tanah ini saling berinteraksi dengan kebutuhannya akan bahan organik, karena bahan organik menyediakan energi untuk tumbuh dan bahan organik memberikan karbon sebagai sumber energi.

Pengaruh positip yang lain dari penambahan bahan organik adalah pengaruhnya pada pertumbuhan tanaman. Terdapat senyawa yang mempunyai pengaruh terhadap aktivitas biologis yang ditemukan di dalam tanah adalah senyawa perangsang tumbuh (*auxin*), dan vitamin (Stevenson, 1982). Senyawa-senyawa ini di dalam tanah berasal dari eksudat tanaman, pupuk kandang, kompos, sisa tanaman dan juga berasal dari hasil aktivitas mikrobia dalam tanah. Di samping itu, diindikasikan asam organik dengan berat molekul rendah, terutama bikarbonat (seperti *suksinat*, *ciannamat*, *fumarat*) hasil dekomposisi bahan organik, dalam konsentrasi rendah dapat mempunyai sifat seperti senyawa perangsang tumbuh, sehingga berpengaruh positip terhadap pertumbuhan tanaman.

1.3.4. Pengaruh bahan organik terhadap tanaman

Pemberian bahan organik ke dalam tanah memberikan dampak yang baik terhadap tanah, tempat tumbuh tanaman. Tanaman akan memberikan respon yang positif apabila tempat tanaman tersebut tumbuh memberikan kondisi yang baik bagi pertumbuhan dan perkembangannya. Bahan organik yang ditambahkan ke dalam

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tanah mengandung karbon yang tinggi. Pengaturan jumlah karbon di dalam tanah meningkatkan produktivitas tanaman dan keberlanjutan umur tanaman karena dapat meningkatkan kesuburan tanah dan penggunaan hara secara efisien. Selain itu juga perlu diperhatikan bahwa ketersediaan hara bagi tanaman tergantung pada tipe bahan yang termineralisasi dan hubungan antara karbon dan nutrisi lain (misalnya rasio antara C/N, C/P, dan C/S) (Delgado and Follet, 2002).

Penggunaan bahan organik telah terbukti banyak meningkatkan pertumbuhan tanaman. Bahan organik yang berasal dari sisa tanaman mengandung bermacam macam unsur hara yang dapat dimanfaatkan kembali oleh tanaman jika telah mengalami dekomposisi dan mineralisasi.

1.3.5. Kompos sampah kota

Salah satu masalah yang tak kalah krusial adalah persoalan sampah. Jumlah atau volume sampah sebanding dengan tingkat konsumsi kita terhadap barang/material yang kita gunakan sehari-hari. Diperkirakan hanya sekitar 60% sampah di kota-kota besar di Indonesia yang dapat terangkut ke TPA (Damanhuri, 2006).

Menurut Hoornweg and Bhada-Tata (2012) salah satu produk paling penting dari gaya hidup perkotaan adalah jumlah sampah kota yang tumbuh lebih cepat dari laju urbanisasi. Sepuluh tahun yang lalu ada 2,9 miliar penduduk perkotaan yang menghasilkan sekitar 0.64 kg sampah kota per orang per hari (0.68 milyar ton per tahun). Laporan ini memperkirakan bahwa saat ini jumlah tersebut telah meningkat menjadi sekitar 3 miliar penduduk kota di dunia menghasilkan 1,2 kg per orang per hari (1,3 miliar ton per tahun). Pada tahun 2025 kemungkinan akan meningkat menjadi 4,3 miliar penduduk perkotaan menghasilkan sekitar 1,42 kg/kapita/hari limbah padat perkotaan (2,2 miliar ton per tahun).

Paradigma pengelolaan sampah yang selama ini digunakan pemerintah Indonesia yaitu Kumpul - Angkut - Buang menimbulkan berbagai kasus, antara lain longsornya TPA Leuwi Gajah Bandung. Hingga kini belum ada TPA tetap yang bisa dipergunakan untuk jangka panjang (sekitar 10-20 tahun). Akibatnya, permasalahan pengelolaan sampah tidak kunjung selesai. Sampah masyarakat menjadi semakin menumpuk, baik di rumah-rumah maupun di TPS, sehingga timbul masalah baru seperti munculnya berbagai penyakit (tempat berkembang biak dan sarang yang baik untuk berbagai vektor penyakit), bau menyengat yang sangat mengganggu, air

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

lindi yang menimbulkan pencemaran air permukaan dan tanah, hingga masalah estetika dan terganggunya kenyamanan penduduk.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata buangan sampah kota adalah 0,5 kg/kapita/hari. Dengan mengalikan data tersebut dengan jumlah penduduk di beberapa kota di Indonesia yang dipublikasi oleh NUDS (*National Urban Development Strategy*) tahun 2003 maka dapat diketahui prakiraan potensi sampah kota di Indonesia, yaitu sekitar 125.000 ton/hari.

Berdasarkan Tabel 5, volume sampah organik merupakan penyumbang sampah terbesar di beberapa perkotaan di Indonesia, maka ada baiknya pengelolaan sampah difokuskan ke pengelolaan sampah organik. Sampah organik tidak saja dapat diolah menjadi pupuk (*biofertilizer*), tetapi juga bisa menjadi bioetanol dan biogas (sumber energi) serta biopestisida mikroba yaitu untuk mengganti pestisida kimia yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan (TTPS-ISSDP, 2010).

Tabel 5. Komposisi fisik sampah di beberapa kota di Indonesia

No	Komponen Sampah	Prosentase (%)	Keterangan
1	Bahan organik	75	-
2	Kertas	8	
3	Kaca	1	
4	Plastik	7	
5	Kaleng/Logam	2	
6	Lain-lain	7	

Sumber: Tim teknis Pembangunan Sanitasi (TTPS, 2010)

Berdasarkan bahan dasarnya, saat ini dikenal ada beberapa jenis pupuk organik sebagai pupuk alam, yaitu pupuk kandang, kompos, pupuk hijau, humus, dan pupuk burung (Prihamtoro, 1999). Kompos merupakan pupuk organik hasil pelapukan lebih lanjut. Kompos diperoleh dari hasil pelapukan bahan – bahan tanaman atau limbah organik seperti jerami, sekam, daun – daun, rumput – rumputan limbah organik pengolahan pabrik dan sampah organik yang terjadi karena perlakuan manusia (Musnamar, 2003).

Pupuk organik mengandung hara makro dan mikro rendah sehingga perlu diberikan dalam jumlah banyak. Manfaat utama dari pupuk organik selain sebagai sumber hara bagi tanaman namun dapat juga memperbaiki kesuburan kimia, fisik dan biologi tanah. Pupuk organik dapat dibuat dari berbagai jenis bahan, antara lain sisa panen, serbuk gergaji, kotoran hewan, limbah pasar, limbah rumah tangga dan limbah pabrik, serta pupuk hijau. Bervariasinya bahan dasar pembuatan pupuk organik akan menentukan kualitas pupuk yang dihasilkan (Anonim, 2003).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Di dalam timbunan bahan-bahan organik pada pembuatan kompos, terjadi perubahan hayati yang dilakukan jasad-jasad renik. Perubahan yang terjadi antara lain penguraian hidrat arang, sellulosa dan zat lemak menjadi CO_2 dan air, terjadi pengikatan unsur hara didalam tubuh jasad renik, terutama N, P dan K dimana unsur tersebut akan lepas kembali apabila jasad renik mati, serta pembebasan unsur hara dari senyawa organik menjadi senyawa anorganik yang berguna bagi tanaman (Hadiwiyono, 1983).

Pupuk yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompos sampah kota. Kompos memiliki kandungan asam humat yang sangat bermanfaat bagi tanaman. Kompos juga berperan sebagai nutrisi bagi mikrobia, sehingga aktivitas mikrobia tanah yang berada disekitar perakaran semakin meningkat. Umumnya sampah padatan yang berasal dari kota dan desa mengandung lebih dari 75% bahan yang dapat didekomposisi. Secara umum komponen yang paling banyak terdapat pada sampah di beberapa kota di Indonesia merupakan sisa – sisa tumbuhan yang mencapai 80 – 90%. Besarnya komponen sampah yang dapat didekomposisi merupakan suatu sumber daya yang cukup potensial sebagai sumber humus, unsur hara makro dan mikro dan sebagai *soil conditioner* (Setiyo, 2007). Kompos yang sudah matang memiliki kandungan hara kurang lebih 1,69% N, 0,34% P_2O_5, dan 2,81% K (Ashari, 2007).

Kompos sampah organik secara umum telah berada di kisaran nilai standar yang telah ditetapkan oleh SNI tahun 2004 dan aman digunakan pada tanaman dan lingkungan. Perbandingan dengan kandungan unsur hara pupuk kandang menunjukkan bahwa kompos sampah organik memiliki kandungan unsur hara K_2O yang lebih baik daripada pupuk kandang, namun kandungan N dan P_2O_5 kompos sampah kota lebih kecil dibandingkan dengan pupuk kandang. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata – rata tinggi tanaman mengalami peningkatan pada setiap periode pertumbuhan vegetatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk kompos sampah organik dapat menyediakan separuh kebutuhan nutrisi pada budidaya tanaman (Bestari, *et al.,* 2011).

1.4. Sistem Pertanaman Vertikal

Sistem budidaya pertanian pada kolom vertikal awalnya menggunakan tong atau drum logam yang diisi kerikil atau campuran gambut, di sekeliling kolom dibuat lubang untuk meletakkan bibit. Pemberian air dan hara dengan irigasi tetes yang diletakkan di atas kolom yang dikenal sebagai sistem hidroponik (Rest, 1983).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Seperti diketahui selain sistem pertanian vertikal ada sistem pertanian horizontal yang sudah dilaksanakan dan dikenal sampai saat ini. Sistem pertanian vertikal sementara dimaksudkan untuk memanfaatkan ruang ke arah vertikal, dengan mengatur media tumbuh dalam wadah/kolom supaya pertanaman dapat susun ke atas (Nitisapto, 1993).

Sistem pertanaman vertikal kiranya sesuai untuk sistem pertanian kota. Sistem pertanian kota dengan ketersediaan lahan yang sempit, dapat ditempuh dengan usaha pengembangan teknologi pertanian yang hemat lahan, walaupun sebetulnya teknik ini dapat diterapkan di wilayah pedesaan (rural agriculture) maupun wilayah perkotaan (*urban agriculture*).

Batasan di atas mungkin tidak terlalu tepat, mengingat batasan pertanian kota dan desa tidaklah jelas, apalagi di Pulau Jawa cukup banyak desa yang keadaannya seperti kota, bahkan banyak permukiman *elite* yang dibangun di pedesaan, demikian pula rumah kaca lebih mungkin dikembangkan di kota atau paling tidak di pinggiran kota.

Pertanian kota sampai saat ini memang masih belum digarap dengan sungguh-sungguh, karena mempunyai ciri-ciri intensif dalam permodalan; tenaga; sarana maupun metode. Demikian pula tujuannya selain untuk memenuhi kebutuhan pangan, juga ada tujuan lain seperti estetika, penangkal polusi, seperti polusi udara, suara, bau, dan sebagainya. Selain itu, sistem pertanaman atap bangungan (*roof top agriculture*) telah menjadi tren baru.

Pertanian pedesaan memanfaatkan hamparan lahan yang luas, sedangkan pertanian kota adalah lahan pekarangan yang sempit atau hanya halaman rumah yang sempit, sehingga perlu dipilih budidaya yang tepat seperti tanaman pada pot, budidaya tanpa tanah maupun sistem pertanaman vertikal, yang akan diuraikan masih terbatas pada hal-hal yang sudah diperoleh dari sistem yang terakhir.

Sistem pertanaman vertikal tidak hanya cocok untuk lahan sempit di perkotaan, dapat pula dikembangkan di lahan marginal dan/lahan bermasalah, ibarat menanam pada pot yang tidak tergantung keadaan lahan setempat (Nitisapto, 1993), hanya media tumbuh perlu dicari media altematif, atau menggunakan media tanah dari lain tempat yang sesuai untuk pertanaman vertikal.

Budidaya tanaman secara vertikal, penanamannya dilakukan dengan menggunakan sistem bertingkat dan tidak memerlukan lahan yang luas. Bercocok tanam secara vertikultur sedikit berbeda dengan bercocok tanam di kebun atau di ladang. Jenis-jenis tanaman yang dibudidayakan secara vertikultur biasanya adalah

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tanaman yang memiliki nilai ekonomi tinggi, berumur pendek, atau tanaman semusim seperti sayuran, dan memiliki sistem perakaran yang tidak terlalu luas (Yuan, 2010).

Sistem budidaya pertanian menggunakan teknologi penananam secara vertikal atau bertingkat tersebut merupakan sistem penghijauan yang sangat sesuai dan direkomendasikan untuk daerah perkotaan dengan lahan pekarangan yang terbatas atau sempit. Pada lahan seluas 1 m^2 biasanya hanya bisa untuk menanam 5 batang, namun pada sistem pertanian vertikal bisa menghasilkan 24 – 27 batang tanaman tergantung jenis tanaman dan kebutuhan (Werdhany, 2012).

Pelaksanaan vertikultur dapat menggunakan bangunan khusus (modifikasi dari sistem *greenhouse*) maupun tanpa bangunan khusus, misalnya di pot gantung dan penempelan di tembok-tembok. Wadah tanaman sebaiknya disesuaikan dengan bahan yang banyak tersedia di pasar lokal. Bahan yang dapat digunakan, misalnya kayu, bambu, pipa paralon, pot, kantong plastik dan gerabah. Bentuk bangunan dapat dimodifikasi menurut kreativitas dan lahan yang tersedia. Yang penting perlu diketahui lebih dahulu adalah karakteristik tanaman yang ingin dibudidayakan sehingga kita dapat merancang sistemnya dengan benar (Damastuti, 1996).

Keunggulan pertanian vertikal dibandingkan dengan pertanian secara konvensional adalah penghematan air dapat ditingkatkan sampai 3 kali. Efisiensi penggunaan air tersebut dapat meningkat apabila pembandingnya penanaman pada lahan secara langsung. Hal ini dapat dimaklumi karena penanaman pada kolom vertikal evaporasinya hanya berasal dari tanah seluas lubang kolom, kebutuhan air hanya untuk mengganti transpirasi. Penghematan pupuk juga dapat ditingkatkan. Pertanian di lahan sebagian besar pupuk terlindi oleh air pengairan/hujan. Pada sistem pertanian vertikal lindian hara dapat bermanfaat untuk tanaman di bagian bawah, bahkan masih dapat ditampung untuk di daur ulang (Nitisapto, 1993).

Hasil penelitian Retnaningtyas *et al*., (2000) menyebutkan bahwa pada sawi daging sistem vertikultur mampu menghasilkan 98,5 g/pot. Menurut Sutanto (2003) potensi hasil tanaman tergantung dari model vertikultur, media, dan pot. Vertikultur tegak 90^0 dengan media campuran tanah + sekam + pukan (1:1:1) dalam pot polibag 10 cm x 20 cm, sawi daging mampu menghasilkan 225 g/pot dan kangkung 192 g/pot, sedangkan sawi daging dalam pot bambu panjang vertikultur 60^0 menghasilkan 288,6 g/tanaman - 415 g/tanaman. Berdasarkan hasil yang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

diperoleh penelitian sebelumnya, baru tanaman berbatang kecil yang mempunyai pertumbuhan dan hasil per tanaman mampu menyamai tanaman di lahan, sebagai contoh: sawi, selada, seledri, kailan, kol bunga. Untuk ukuran cabe, terung, tomat pertumbuhan pada kolom vertikal masih lebih kecil dibanding penanaman di lahan, hal ini disebabkan ukuran kolom yang digunakan masih terbatas 6 inch, namun hasil per satuan luas dapat meningkat 3-5 kali dibanding di lahan (Nitisapto, 1993). Utami *et al*.(2012) mendapatkan pada kebun vertikal menghasilkan 45 ton/ha sawi sendok, dibandingkan hasil di lahan hanya 10 – 25 ton/ha.

1.5. Selada Keriting dan Irigasi Tetes

Rubatzky dan Yamaguchi (1998), mengelompokkan selada dalam empat varietas berdasarkan tipe morfologisnya, yaitu selada kepala (*Lactuca sativa L* . var. capitata), selada cos (*Lactuca sativa* L. var. longifolia), selada daun (*Lactuca sativa* L. var. crispa) dan selada batang (*Lactuca sativa* L. var asparagina). Jenis dari selada itu sendiri dibagi menjadi 2 tipe, yaitu selada kepala renyah (*crisp head*) yang memiliki daun keriting pada tepi daunnya dan selada kepala mentega (*butter head*) yang berdaun lebar, berlipat dan lembut dengan tekstur berminyak.

Tanaman selada pada umumnya tumbuh baik pada kisaran tipe tanah yang bervariasi. Selada tumbuh optimal pada tanah yang mampu menahan kelembaban, drainase yang memadai seperti lempung pasiran dan tanah yang mempunyai bahan organik tinggi. Selada termasuk tanaman yang toleran terhadap kepadatan dan kemasaman tanah. Pada tanah mineral, pH terbaik berada pada kisaran 6 hingga 8. Suhu sedang merupakan suhu ideal untuk produksi selada berkualitas tinggi, dimana suhu optimum pada siang hari 20^{o} C dan malam 10^{o} C. Suhu tinggi selama pertumbuhan selada menyebabkan kelayuan sementara pada siang hari akibat meningkatnya transpirasi, selain itu suhu mempengaruhi kelarutan gas di dalam air (Williams *et al.,* 1993).

Menurut Wicaksono (2008), tanaman selada *(Lactuca sativa)* termasuk jenis tanaman sayuran daun dan tergolong ke dalam tanaman semusim (berumur pendek). Tanaman tumbuh pendek dengan tinggi berkisar antara 20 cm - 40 cm atau lebih, bergantung pada tipe dan varietasnya. Tanaman selada ada yang membentuk krop (kumpulan daun-daun yang saling merapat membentuk kepala) dan ada varietas yang tidak membentuk krop. Tinggi tanaman selada daun berkisar antara 30 cm - 40 cm dan tinggi tanaman selada kepala berkisar antara 20 cm - 30 cm.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Rubatzky and Yamaguchi (1998) menyatakan bahwa daun tanaman selada mewakili karakteristik spesies polimorfik. Daun selada biasanya tidak berambut, lembut, *savoy* (berkeriput) atau kusut berlipat. Daun dari tanaman selada juga bervariasi mulai dari hijau sangat gelap ke terang. Beberapa daun selada bahkan berwarna ungu. Sembir daunnya membundar rata atau terbagi secara halus. Daun bagian dalam pada kultivar yang tidak membentuk krop cenderung berwarna lebih cerah, sedangkan pada kultivar yang membentuk krop lebih pucat.

Selada merupakan tanaman semusim yang banyak diusahakan oleh masyarakat, termasuk tanaman sayur yang banyak mengandung air dan bagian dari famili Compositae. Batangnya pendek berbuku – buku. Selada meiliki daun yang tersusun tidak beraturan dan membentuk roset sehingga batangnya pendek tertutup oleh daun. Selada memiliki daun yang memanjang, kasar dan bertekstur renyah, dengan tulang daun lebar dan jelas. Bentuk daun bulat lebar dan ada juga yang keriting (Rubatzky and Yamaguchi, 1998).

Tanaman selada memerlukan cahaya yang tidak terlalu banyak, sebab curah hujan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada daun. Selada memerlukan air sebanyak 400 mm air untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya Oleh karena itu, penanaman selada di anjurkan pada akhir musim hujan (Haryanto *et al*., 2003).

Menurut Aini *et al*. (2010), Selada mempunyai kandungan mineral, termasuk yodium, fosfor, besi, tembaga, kobalt, seng, kalsium, mangan, dan potassium, sehingga selada mempunyai khasiat terbaik dalam menjaga keseimbangan tubuh. Tanaman selada yang banyak dibudidayakan saat ini adalah jenis selada keriting dengan ciri khas daunnya yang keriting mulai dari ujung sampai tepi daun, serta daun berwarna hijau.

Penanaman selada secara konvensional membutuhkan unsur hara atau pupuk untuk setiap hektar lahan, diperlukan pupuk kandang 20 ton, NPK 300 kg, Urea 100 kg, SP-36 250 kg dan KCl 100 kg dan pupuk pelengkap cair 20 kg. Hasil panen per satuan luas lahan tergantung kultivar selada yang ditanam dan jarak tanamnya. Hasil panen selada berkisar 10-12 ton/ha (Lingga dan Marsono, 2007).

Hasil penelitian Setiawan dan Anas (2007), menyatakan bahwa dosis optimum penggunaan konsentrasi hara pada kisaran EC 1,56 – 1,74 $mS.cm^{-1}$ menghasilkan pertumbuhan dan produksi maksimum selada dengan teknologi hidroponik sistem terapung. Kisaran tersebut produksi selada yang diperoleh mencapai rata-rata 650,697 g/panel atau 540,8 kg/kolam (50 m^2). Pada hasil

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

penelitian Susila dan Koerniawati (2004), penanaman selada dapat tumbuh baik pada TDS 250 sampai 320 $mg.kg^{-1}$ atau sekitar 400 sampai 500 $mS.cm^{-1}$, sedangkan penelitian Nurfinayati (2004) menyatakan bahwa selada 'Maiz' dapat tumbuh dengan baik sampai EC 1550 mS. cm-^{1} pada pemanfaatan berulang larutan hara.

Bunga selada memiliki bentuk dompolan (inflorescence), berwarna kuning, terletak pada rangkaian yang lebat. Bunga selada menghasilkan buah berbentukpolong yang berisi biji. Tangkai bunga bercabang banyak dan setiap cabang membentuk anak cabang. Pada dasar bunga terdapat daun – daun kecil namun semakin ke atas daun tersebut tidak muncul. Sistem perakaran selada adalah akar tunggang dan cabang – cabang akar yang menyebar ke semua arah. Perkembangan intensif akar lateral dekat permukaan tanah menyerap sebagian besar lengas dan hara (Ashari, 1995).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa irigasi tetes telah mampu meningkatkan hasil-hasil pertanian secara nyata dan menghemat pemakaian air antara 50-70% (Menzel, 1988: Partasarathy, 1988). Pada tanaman sayuran seperti selada (*lettuce*) dengan irigasi tetes ternyata mampu meningkatkan kualitas hasil dan dapat menghemat air irigasi sampai 50% dibandingkan dengan irigasi secara konvensional (Sutton dan Merit, 1993). Hasil penelitian pada tanaman sayuran yang lain diperoleh kecenderungan yang sama, misalnya Sanders *et al*., (1988) melaporkan bahwa produksi melon, cabai dan tomat meningkat dengan nyata bila dibandingkan dengan irigasi penggenangan (*flooded*) yang sangat boros air. Merit (1990) melaporkan bahwa irigasi tetes pada tanaman tomat memberikan keuntungan yang sangat nyata dimana disamping efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan, kualitas hasil tomat ternyata juga meningkat. Pada tanaman hortikultura jeruk, Grieve (1988) melaporkan bahwa dengan irigasi tetes produksi jeruk meningkat antara 30-40% dan air irigasi dapat dihemat sampai lebih dari 50%.

2. Landasan Teori

Abu vulkan memberikan dampak negatif bagi masyarakat, namun ada manfaat positif didalamnya yaitu melakukan penyuburan kembali terhadap tanah yang ada. Di bidang pertanian, selain selalu memberikan bahan baru dalam proses pembentukan tanah. Material abu vulkan karena masih segar, pH masam dan Nitrogen langka , maka belum dapat langsung sebagai media tanam, oleh sebab itu perlu perbaikan dengan bahan pembenah.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kandungan unsur yang ada pada material vulkan merupakan sumber hara potensial bagi tanaman. Informasi kandungan mineral primer, kandungan unsur hara dan sifat fisika serta sifat kimia material vulkan dibutuhkan untuk pengembangan kawasan yang terkena dampak erupsi gunung berapi. Pemberian arang sekam dan pupuk kompos pada abu vulkan akan meningkatkan daya sangga tanah sehingga dapat memperbaiki kualitas media tanam mengurangi pelindian. Pemberian arang sekam dapat meningkatkan hasil tanaman sayuran pada sistem pertanaman vertikal.

Perbaikan sifat fisik dan kimia media tanam abu vulkan dengan arang sekam dan pupuk organik, akan mendapatkan media yang baik ditunjukkan dengan hasil tanaman selada yang baik juga, hasil baik akan sejalan dengan pemanfaatan sumber daya energi sinar matahari, air, pupuk dan lahan yang efisien, atau efisiensi pemanfaatan sumberdaya yang paling tinggi.

3. Hipotesis

Hasil karakterisasi sifat fisika dan kimia abu vulkan, arang sekam dan kompos, yang dikombinasikan dengan berbagai takaran akan diperoleh campuran yang optimum sebagai media tanam.

Variasi takaran arang sekam dan pupuk kompos pada abu vulkan sebagai media tanam akan memberikan keragaman hasil tanaman sayuran sebagai akibat terjadinya perbedaan sifat fisik dan kimia media tanam yang dihasilkan. Campuran terbaik ditunjukkan dengan hasil tertinggi.

Perbaikan sifat fisik dan kimia media tanam akan memberikan hasil yang maksimum yang ditunjukkan dengan efisiensi pemanfaatan radiasi, air, pupuk, dan lahan yang paling tinggi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III. METODE PENELITIAN

1. Bahan dan Alat

1.1. Bahan penelitian

Rencana awal menggunakan material abu vulkan hasil erupsi Gunung Merapi, dalam survei yang dilakukan untuk menemukan abu vulkan Gunung Merapi hasil erupsi tahun 2010 sudah sulit ditemukan. Survei dilakukan di daerah Cangkringan, pada bagian cekungan ada sisa-sisa sedikit namun sudah bercampur dengan material lahar. Pada saat proses proposal berjalan terjadi erupsi G. Kelud, setelah dikonsultasikan dengan promotor diputuskan menggunakan abu vulkan hasil erupsi G. Kelud.

Pengumpulan dilakukan di sekitar daerah Condongcatur, Yogyakarta, khususnya di jalan yang diperkeras berupa aspal dan *conblock* dengan penggaruk pel karet. Pengumpulan abu vulkan dilakukan pada tanggal 14 sampai 16 Februari, kemudian setelah terkumpul dimasukkan dalam drum besar (300 liter) sampai penelitian dimulai bulan Agustus 2014. Media tanam yang digunakan berupa abu vulkan hasil erupsi G. Kelud yang dikombinasikan dengan arang sekam, pupuk hanya menggunakan pupuk organik (pupuk kompos sampah kota) dengan takaran bervariasi. Jenis tanaman yang akan dijadikan indikator adalah tanaman sayuran (selada keriting).

1.2. Alat

Alat utama yang digunakan sebagai kolom vertikal adalah pipa PVC dengan diameter 6 inci, kolom vertikal diletakkan pada kerangka besi untuk memudahkan menakar air lindian, percobaan dalam rumah kaca dengan perlakuan waktu penanaman sebagai variasi radiasi matahari, untuk percobaan pendahuluan dimulai pada bulan Juli-Agustus dengan wadah pot, selanjutnya wadah kolom vertikal dilakukan selama 3 periode berturut-turut yaitu September-Oktober, Nopember - Desember dan Januari - Februari.

Pembuatan kolom vertikal menggunakan pralon dengan panjang 133 cm dan diameter 6 inci. Tiap pralon memiliki 12 lubang yang terletak di samping pralon. Tiap kolom dapat ditanami 12 dan 2 tanaman di atas. Bagian bawah pralon ditopang oleh penyangga besi. Pada bagian bawah ini pula terdapat selang dan penampung air yang berfungsi menampung air sisa penyiraman yang turun ke bawah. Pemberian air dengan sistem tetes dengan menggunakan botol air mineral bekas

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ukuran 1,5 liter, dirangkai dengan selang infus yang dapat diatur tetesan airnya (Lampiran 1, 3, 4, 5, dan 6).

2. Lokasi Penelitian

Pengambilan bahan media abu vulkan dilaksanakan sehari setelah terjadi erupsi Gunung Kelud di daerah Yogyakarta. Semua bahan media abu vulkan dikeringkan pada kondisi kering angin. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Laboratorium Tanah Kuningan, Yogyakarta. Analisis tanah, air dan tanaman dilakukan di Laboratorium Tanah, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini meliputi beberapa tahap seperti bagan alir pada Gambar 1.

3.1. Analisis awal abu vulkan, arang sekam dan pupuk kompos

Tujuan dalam tahap penelitian ini adalah analisis sifat fisik dan kimia dari bahan media sebelum dicampur

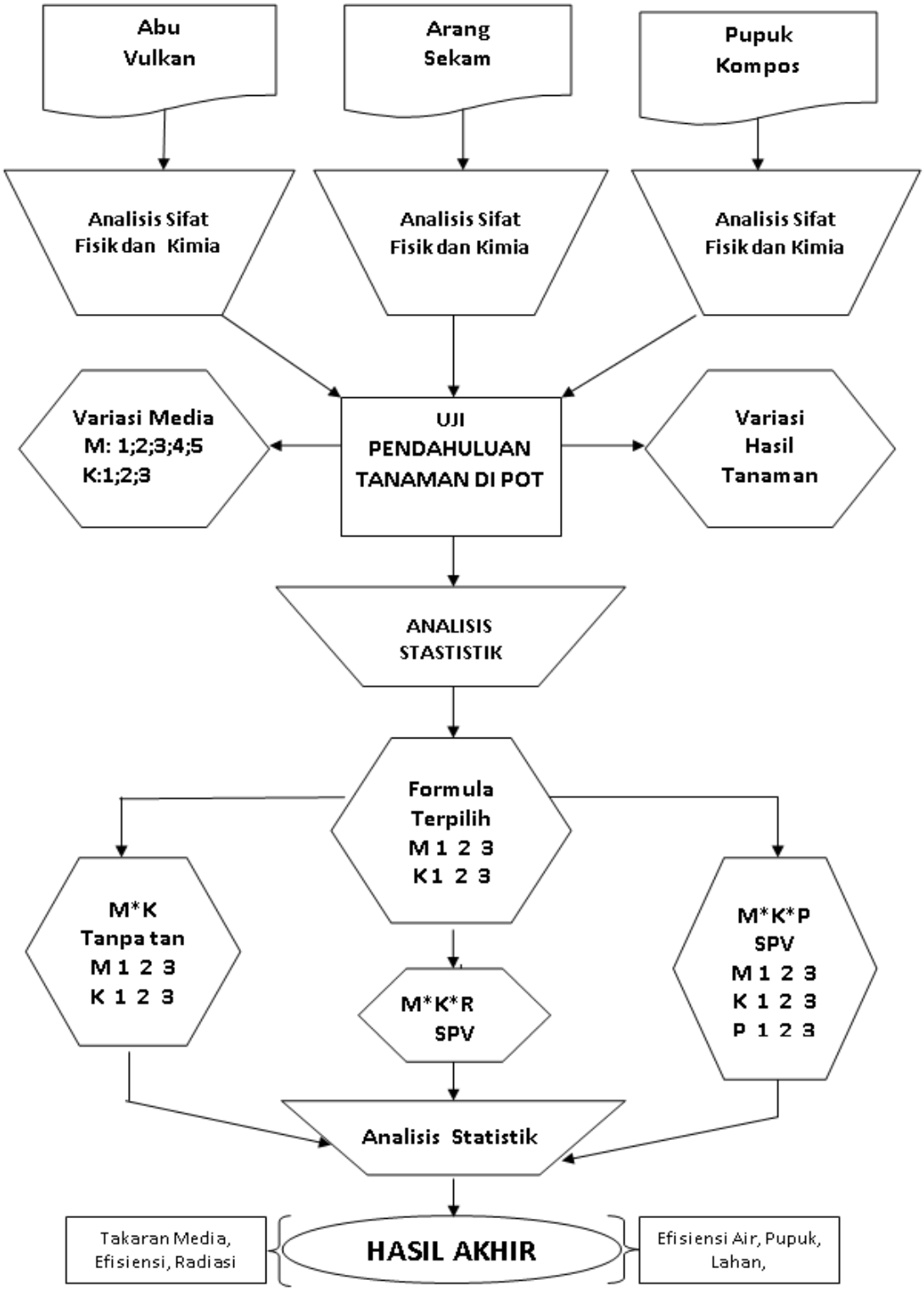
3.1.1 Analisis abu vulkan

1) pH (H_2O) dan pH (KCl) dengan pH meter (Balittanah, 2009)
2) Daya Hantar Listrik dengan EC-meter (Balittanah, 2009)
3) KPK dengan ekstraksi 1N NH_4Oac pada pH 7 (Balittanah, 2009)
4) Ca-total dengan ekstrak NH_4Oac (Balittanah, 2009)
5) Mg-total dengan ekstrak NH_4Oac (Balittanah, 2009)
6) P-tersedia tanah dengan metode Olsen (Balittanah, 2009)
7) K-tersedia tanah dengan ekstrak NH_4 asetat (Balittanah, 2009)
8) Tekstur

3.1.2 Analisis arang sekam

1) pH (H_2O) dan pH (KCl) menggunakan pH meter (Balittanah, 2009)
2) Daya Hantar Listrik dengan EC-meter (Balittanahah, 2009)
3) C-organik dengan metode destruksi kering (Balittanah, 2009)
4) KPK dengan ekstraksi 1N NH_4Oac pada pH 7 (Balittanah, 2009)
5) Ca-total dan Mg-total dengan ekstrak NH_4Oac (Balittanah, 2009)
6) N-total dengan metode Kjeldahl (Balittanah, 2009)
7) P-total dengan metode Olsen (Balittanah, 2009)
8) K-total dengan ekstrak NH_4 asetat (Balittanah, 2009)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 1. Bagan alir tahap penelitian efisiensi pemanfaatan radiasi, air, pupuk dan lahan.

Keterangan: tan. = tanaman.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.1.3 Analisis pupuk sampah kota

1) pH (H_2O) dan pH (KCl) menggunakan pH meter (Balittanah, 2009)
2) Daya Hantar Listrik dengan EC-meter (Balittanah, 2009)
3) C-organik dengan metode destruksi kering (Balittanah, 2009)
4) KPK dengan ekstraksi 1N NH_4Oac pada pH 7 (Balittanah, 2009)
5) Ca-total dengan ekstrak NH_4Oac (Balittanah, 2009)
6) Mg-total dengan ekstrak NH_4Oac (Balittanah, 2009)
7) N-total dengan metode Kjeldahl (Balittanah, 2009)
8) P-total dengan metode Olsen (Balittanah, 2009)
9) K-total dengan ekstrak NH_4 asetat (Balittanah, 2009)

3.2. Penelitian pendahuluan untuk takaran arang sekam dan pupuk kompos

Tujuan dalam tahap penelitian ini adalah menentukan takaran arang sekam dan pupuk kompos dengan tanaman indikator selada keriting pada pot.

Metode yang digunakan pada penelitian pendahuluan media abu vulkan, dengan campuran variasi takaran arang sekam 7: 3, 6: 4, 5: 5, 4: 6 dan 3: 7, dan perlakuan pupuk kompos mulai 1: 3, 1: 2, dan 1: 1 atas dasar perbandingan volume. Wadah media menggunakan pot dengan ukuran 3 kg media.

Campuran perlakuan dimasukkan pot dan diinkubasi selama 1 minggu dengan disiram 2 kali untuk mestabilkan susunan media dalam pot.

Penanaman dilakukan pada saat bibit umur 20 hari, dipanen setelah 35 hari. Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL). Sedangkan hasil berat segar dan kering dianalisis untuk menentukan dosis arang sekam maupun perlakuan kompos sampah kota.

Hasil tanaman selada antar perlakuan dianalisis menggunakan Anova. Apabila terdapat perbedaan hasil yang nyata, analisis dilanjutkan menggunakan DMRT pada taraf 5%. Hasil perlakuan yang baik dipilih 3 media dan 3 takaran kompos untuk digunakan sebagai perlakuan pada percobaan Tahap 3.3., 3.4 dan 3.5.

3.3. Analisis sifat fisik dan kimia campuran abu vulkan, arang sekam dan pupuk kompos

Tujuan dari analisis ini adalah menentukan sifat fisik dan kimia campuran media setelah dicampur dan diinkubasi selama lima minggu dan tidak ditanami selada keriting.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Metode yang digunakan hasil dari penelitian pendahuluan Tahap 3.2 dipilih kombinasi campuran media abu vulkan, dengan campuran variasi takaran arang sekam 3: 1, 2: 1, 1: 1, dan perlakuan media dengan pupuk kompos mulai dari perbandingan 3: 1, 2: 1, dan 1 ;1 berdasar volume. Wadah media menggunakan pralon berdiameter 3 inci. Perlakuan penyiraman dilakukan secara berkala seminggu sekali, dengan jumlah penyiraman 5 kali.

Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL), dengan perlakuan 3 takaran media, 3 takaran kompos dan 3 ulangan. Kombinasi campuran dimasukkan dalam pralon dan diinkubasi selama 5 minggu. Selama inkubasi dilakukan penyiraman setiap minggu sekali. Selanjutnya dianalisis sifat fisik dan kimia seperti berikut:

1) pH (H_2O) dan pH (KCl) menggunakan pH meter (Balittanah, 2009)
2) Daya Hantar Listrik dengan EC-meter (Balittanah, 2009)
3) C-organik dengan metode destruksi kering (Balittanah, 2009)
4) KPK dengan ekstraksi 1N NH_4Oac pada pH 7 (Balittanah, 2009)
5) Ca-total dan Mg-total dengan ekstrak NH_4Oac (Balittanah, 2009)
6) N-total dengan metode Kjeldahl (Balittanah, 2009)
7) P-total dengan metode Olsen (Balittanah, 2009)
8) K-total dengan ekstrak NH_4 asetat (Balittanah, 2009)
9) Kadar Lengas dengan metode gravimetri.
10) Berat jenis dengan metode picnometer
11) Berat volume dengan metode gravimetri
12) pF dengan metode pressure plate aparatus



Gambar 2. Foto pencobaan campuran media diinkubasi selama musim tanam tanpa tanaman

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4. Percobaan perlakuan kombinasi media abu vulkan, arang sekam dan takaran pupuk kompos pada wadah kolom vertikal

Tujuan pada tahap penelitian ini adalah menentukan kerapatan populasi tanam per m^2 dengan campuran media seperti pada penelitian Tahap 3.3.

Metode yang digunakan pada hasil penelitian pendahuluan diperoleh kombinasi antara media abu vulkan, dengan campuran variasi takaran arang sekam terpilih 3: 1, 2: 1, 1: 1, dan perlakuan media dengan pupuk kompos mulai dari perbandingan 3: 1, 2: 1, dan 1 ;1 berdasar volume. Wadah media menggunakan kolom vertikal berdiameter 6 dim dengan panjang 1,33 m.

Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) atau *Complete Randomized Design* (CRD) dengan 3 faktor, faktor pertama perbandingan kombinasi abu vulkan dengan arang sekam dan faktor kedua perbandingan media dengan pupuk kompos, dan yang ke tiga adalah kerapatan kolom per m^2. Kerapatan kolom dengan perlakuan P1 (4 kolom/m^2), P2 (3 kolom/m^2) dan P3 (2 kolom/m^2). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali.

Hasil tanaman selada antar perlakuan dianalisis menggunakan anova, perbedaan yang nyata diteruskan dengan HSD Tukey pada taraf 5%. Hasil perlakuan terpilih pada tahap ini dipakai perlakuan pada percobaan tahap 3.5.

1) Faktor pertama**:** Perbandingan volume abu vulkan dengan *biochar* (arang sekam)
   M_1 = abu vulkan berbanding arang sekam = 3:1
   M_2 = abu vulkan berbanding arang sekam = 2:1
   M_3 = abu vulkan berbanding arang sekam = 1:1
2) Faktor kedua**:** Perbandingan volume Media (abu vulkan + arang sekam) dengan kompos:
   K_1 = 3:1
   K_2 = 2:1
   K_3 = 1:1
3) Faktor ketiga**:** Kerapatan populasi kolom per m^2
   P_1 = 4 kolom per m^2
   P_2 = 3 kolom per m^2
   P_3 = 2 kolom per m^2

3.4.1 Pengukuran tanaman, penyiraman dan anasir iklim

1) Tinggi tanaman secara periodik 1 minggu sekali
2) Jumlah daun secara periodik 1 minggu sekali
3) Volume siraman secara periodik 1 hari sekali

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4) Volume air atusan secara periodik 1 hari sekali

5) Anasir iklim, khususnya intensitas penyinaran total harian (AWS), pengukuran intensitas penyinaran sesaat diluar rumah kaca dan di dalam rumah kaca setiap minggu sekali, dengan waktu pengamatan setiap jam sekali.

6) Suhu rerata harian (AWS), suhu udara di dalam dan diluar rumah kaca setiap minggu sekali, dengan waktu pengamatan setiap jam 7.00; jam 13.00 dan jam 16.00.

3.4.2 Pengukuran saat panen

1) Bobot hasil ekonomi segar
2) Bobot akar segar
3) Bobot hasil ekonomi kering
4) Bobot akar kering

3.4.3 Analisis media setelah panen

1) pH (H_2O) dan pH (KCl) menggunakan pH meter (Balittanah, 2009)
2) Daya Hantar Listrik dengan EC-meter (Balittanah, 2009)
3) C-organik dengan metode destruksi kering (Balittanah, 2009)
4) KPK dengan ekstraksi 1N NH_4Oac pada pH 7 (Balittanah, 2009)
5) N-total dengan metode Kjeldahl (Balittanah, 2009)

3.5. Percobaan pengaruh radiasi pada sistem pertanaman vertikal

Tujuan dalam penelitian ini adalah menentukan efisiensi pemanfaatan radiasi matahari, air, pupuk kompos dan lahan pada media abu vulkan dan arang sekam yang dipupuk kompos sampah kota.

Metode yang digunakan adalah rancangan percobaan menggunakan rancangan acak kelompok lengkap (RAKL) atau *Randomized Complete Block Design* (RCBD) dengan 3 faktor, faktor pertama perbandingan kombinasi abu vulkan dengan arang sekam, faktor kedua adalah perbandingan media dengan pupuk kompos, dan yang ke tiga adalah perbedaan radiasi yang diamati berdasarkan penanaman pada musim yang berbeda. Percobaan diulang pada musim berbeda sebagai blok (musim kemarau, awal musim hujan dan musim hujan dari bulan Agustus-September, Oktober – Nopember dan Desember-Januari.

Setelah dilakukan penambahan pupuk, media tanam tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kolom vertikal dan selanjutnya dilakukan inkubasi 1 minggu sebelum penanaman. Bibit selada umur 20 hari ditanam pada media tanam dengan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kondisi kapasitas lapangan. Perawatan tanaman dilakukan setiap hari sampai tanaman berumur 35 hari dan siap dipanen, Penyiraman atau pemberian air dilakukan dengan sistem irigasi tetes sampai dengan kapasitas lapangan.

1) Faktor pertama**:** Perbandingan volume abu vulkan dengan arang sekam.
   M1 = Abu Vulkan berbanding Arang Sekam = 3:1
   M2 = Abu Vulkan berbanding Arang Sekam = 2:1
   M3 = Abu Vulkan berbanding Arang Sekam = 1:1
2) Faktor kedua**:** Perbandingan volume Media (abu vulkan dan arang sekam dengan kompos
   K1 = Media 3 berbanding Kompos 1
   K2 = Media 2 berbanding Kompos 1
   K3 = Media 1 berbanding Kompos 1
3) Faktor ketiga**:** perbedaan radiasi pada musim tanam berbeda.
   R1 = tanam bulan September - Oktober
   R2 = tanam bulan Nopember - Desember
   R3 = tanam bulan Januari - Februari

3.5.1 Pengukuran tanaman, penyiraman dan anasir iklim

1) Tinggi tanaman secara periodik 1 minggu sekali
2) Jumlah daun secara periodik 1 minggu sekali
3) Volume siraman secara periodik 1 hari sekali
4) Volume air atusan secara periodik 1 hari sekali
5) Anasir iklim, khususnya intensitas penyinaran total harian (AWS), pengukuran intensitas penyinaran sesaat diluar rumah kaca dan di dalam rumah kaca setiap minggu sekali, dengan waktu pengamatan setiap jam sekali.
6) Suhu rerata harian (AWS), suhu udara di dalam dan diluar rumah kaca setiap minggu sekali, dengan waktu pengamatan setiap jam 7.00; jam 13.00 dan jam 16.00.
7) Analisis pH, DHL air lindian

3.5.2 Pengukuran saat panen

1) Bobot hasil ekonomi segar
2) Bobot akar segar
3) Bobot hasil ekonomi kering
4) Bobot akar kering
5) Kadar N Total Jaringan pilihan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5.3 Analisis media setelah panen

1) pH (H_2O) dan pH (KCl) menggunakan pH meter (Balittanah, 2009)
2) Daya Hantar Listrik dengan EC-meter (Balittanah, 2009)
3) C-organik dengan metode destruksi kering (Balittanah, 2009)
4) KPK dengan ekstraksi 1N NH_4Oac pada pH 7 (Balittanah, 2009)
5) N-total dengan metode Kjeldahl (Balittanah, 2009)
6) Agihan BV antar bagian kolom vertikal
7) Kapasitas lengas tersedia antar bagian kolom vertikal

3.5.4 Analisis Efisiensi

1) Efisiensi pemakaian radiasi matahari
   a) Pada sistem pertanaman vertikal radiasi matahari bagian atas masih dapat menembus bagian bawah dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman di bawahnya.
   b) Hasil tanaman kering open (80^0C) per kolom dalam gram, radiasi dihitung dari data AWS di Bulaksumur dalam MJ^1.
   c) Efisiensi pemakaian radiasi matahari (Epr) didifinisikan sebagai banyaknya produksi bahan kering tanaman per satuan energi radiasi matahari yang diterima g. MJ^{-1} (Murchie, 2002; Kalangi, 2006) dapat dirumuskan:

$$Epr = \frac{Bobot\ hasil\ ekonomi\ kering\ \ g}{Kebutuhan\ radiasi\ \ MJ} \ldots\ldots\ldots (3.1)$$

2) Efisiensi pemakaian air
   a) Pada sistem pertanaman vertikal air perkolasi yang teratus ke bawah ditakar untuk menghitung air yang tersisa pada kolom sebagai kebutuhan air.
   b) Kebutuhan air per kolom dihitung dari volume air yang diberikan dikurangi air yang teratus ke bawah kolom.
   c) Efisiensi pemakaian air (Epa) dapat dirumuskan sebagai produksi bahan kering per satuan volume air (g/kg). (Sing dan Sinha,1977; Sumaryanto. 2005; Bezerra, 2012).

$$Epa = \frac{Bobot\ hasil\ ekonomi\ kering\ \ g}{Kebutuhan\ air\ \ kg} \ldots\ldots\ldots (3.2)$$

3) Efisiensi pemakaian pupuk
   a) Pada sistem pertanaman vertikal pupuk yang terlindi dapat dimanfaatkan oleh tanaman di bagian bawah kolom, dalam penelitian ini untuk memudahkan perhitungan air lindian tidak dipakai dalam air siraman.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b) Efisiensi pemakaian pupuk (Epp) dapat dirumuskan Produksi bahan yang dikonsumsi kg per penambahan pupuk kg (kg/kg) (Witt, 2007).

$$Epp = \frac{Bobot\ hasil\ ekonomi\ segar\ \ kg}{Kebutuhan\ pupuk\ \ kg} \dots\dots\dots (3.3)$$

4) Efisiensi pemanfatan lahan

a) Efisiensi pemanfaatan lahan juga diartikan sebagai produksi per satuan luas lahan

b) Efisiensi pemanfaatan lahan (Epl) dapat dirumuskan dengan pendekatan yang sama, produksi bahan yang dikonsumsi per satuan luas lahan (kg/m^2):

$$Epl = \frac{Bobot\ hasil\ ekonomi\ segar\ \ kg}{Luas\ lahan\ \ m^2} \dots\dots\dots (3.4)$$

4. Analisis Hasil Penelitian

Hasil analisis sifat fisik dan kimia tanah, pertumbuhan tanaman dan efisiensi diolah dan dianalisis dengan menggunakan sidik ragam (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh perlakuan. Apabila pada sidik ragam perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata pada taraf 5%, maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dan HSD (*Honest Significant Diferent*) untuk mengetahui perbedaan antar kombinasi perlakuan. Jika terdapat interaksi beda nyata antara perbandingan media dengan perbandingan kompos sampah kota terhadap analisis pertumbuhan berupa bobot kering tanaman maka dilakukan uji *trend comparison* untuk menentukan kecenderungan desain tanaman selada termasuk linier atau polinomial. Apabila hasil uji *trend comparison* adalah polinomial maka dapat dicari kebutuhan dosis pupuk kompos sampah kota yang optimum untuk berbagai perbandingan media tanam dengan cara mencari turunan pertama ($\frac{dy}{dx}$) persamaan tersebut, hal yang sama untuk efisiensi air kerapatan populasi dan radiasi.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Abu Vulkan, Arang Sekam, dan Pupuk Kompos

1.1. Karakteristik abu vulkan G. Kelud

Karakteristik abu vulkan hasil erupsi G. Kelud disajikan dalam Tabel 6. Hasil analisis sifat fisik abu vulkan Kelud yang jatuh di Yogyakarta didominasi debu 52,24%, pasir 43,81% dan lempung 3,95% termasuk tekstur geluh debuan. Berat jenis 2,36 dan berat volume 1,48, porositas 37%, pori drainase cepat 9,27% dan pori drainase lambat 2,36%. Kapasitas lengas tersedia 23,12%.

Tabel 6. Karakteristik abu vulkan Gunung Kelud jatuh di Yogyakarta

No.	Parameter	Nilai Sifat fisik/kimia	Satuan	Harkat
1	Fraksi lempung	3,95	%	
2	Debu	52,24	%	tekstur geluh debuan
3	Pasir	43,81	%	
4	BJ	2,36	$g.cm^{-3}$	-
5	BV	1,48	$g.cm^{-3}$	-
6	Porositas	37,00	%	-
7	Pori drainase cepat	9,27	%	-
8	Pori drainase lambat	3,55	%	-
9	Kapasitas lapangan	24,80	%	-
10	Titik layu	1,68	%	-
11	Lengas tersedia	23,12	%	-
12	pH H_2O	6,31	-	agak masam
13	pH KCl	5,38	-	masam
14	DHL	0,15	$mS.cm^{-1}$	sangat rendah
15	KPK	2,74	$cmol.kg^{-1}$	sangat rendah
16	N Total	-	%	sangat rendah
17	P Tersedia	9,88	$mg.kg^{-1}$	sedang
18	K Tersedia	0,12	$cmol.kg^{-1}$	rendah

Keterangan: Hasil analisis di Laboratorium Tanah, Departemen Tanah, Fak Pertanian UGM

Sifat kimia abu vulkan Gunung Kelud memiliki kemasaman (pH) aktual berharkat agak masam (6,31) dan pH potensial dengan nilai 5,38 (harkat masam). Kemasaman menggambarkan ion hidrogen yang teradapat dalam abu vulkan, hal ini akan mempengaruhi proses dalam media tanah, khususnya keterlarutan dan terendapkan dipengaruhi oleh pH tanah Pertumbuhan tanaman.dengan sendirinya juga dipengaruhi keasaman tanah.

Kapasitas Penukaran Kation merupakan kemampuan tanah menjerap atau menukar kation yang biasa dinyatakan dalam $cmol^{+}.kg^{-1}$. KPK abu vulkan memiliki nilai 2,74 $cmol^{+}.kg^{-1}$ atau berharkat sangat rendah. Hal ini terutama dipengaruhi fraksi lempung dan kandungan bahan organik yang rendah.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kandungan N total sangat rendah, P tersedia berharkat sedang, K tersedia rendah. Nilai Daya Hantar Listrik (DHL) menunjukkan tingkat kegaraman larutan tanah, hasil analisis abu vulkan memiliki DHL 0,15 $mS.cm^{-1}$atau memiliki harkat bebas garaman.

Kandungan P tersedia abu vulkan termasuk sedang dengan nilai 9,88 $mS.cm^{-1}$. Kandungan P abu vulkan masih dalam bentuk batuan yang belum lapuk sehingga belum tersedia bagi tanaman. Kandungan K tersedia abu vulkan sebesar 0,12 $cmol^{+}.kg^{-1}$ atau berharkat rendah, rendahnya K abu vulkan karena belum terlapuk.

Abu vulkan tidak mengandung bahan organik dan N total, karena pada saat erupsi gunung berapi suhu mencapai 1500^{o} C, sehingga bahan organik dan N akan terbakar habis.

Sifat-sifat (Karakteristik) abu vulkan G. Merapi (Fiantis *et al.*, 2009) dibanding abu vulkan G. Kelud hasil analisis di Laboratorium Tanah, Departemen Tanah Fak. Pertanian UGM adalah sebagai berikut:

Abu Vulkan Merapi:
a. Warna abu-abu – hitam
b. 5 YR 7/1
c. Tekstur geluh debuan
d. Pasir 42,64%
e. Debu 48,40%
f. Lempung 8,96%
g. KPK 1,75 $cmol^{(+)}.kg^{-1}$
h. P(total) 124,03 $mg.kg^{-1}$
i. K (total) 0,31 $cmol.kg^{-1}$

Abu vulkan Kelud:
a. Warna abu-abu –kuning/coklat
b. 10 YR 6/2
c. Tekstur geluh debuan
d. Pasir 43,81%
e. Debu 52,24%
f. Lempung 3,95%
g. KPK 6,28 $cmol^{(+)}.kg^{-1}$
h. P (tersedia) 9,88 $mg.kg^{-1}$
i. K (tersedia) 0,13 $cmol.kg^{-1}$

Sifat-sifat kedua sumber abu vulkan tersebut hampir sama atau tidak berbeda yang nyata, sehingga hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk pemanfaatan abu vulkan dari gunung api lain.

1.2. Karakteristik arang sekam

Karakteristik arang sekam disajikan dalam Tabel 7. Hasil analisis arang sekam dengan nilai pH H_2O bersifat netral, tingkat kegaraman (DHL) rendah, N, P dan K total rendah. Arang sekam berperan sebagai bahan pembenah tanah dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Selain berfungsi sebagai konservasi karbon organik dalam tanah. Penambahan arang sekam ke dalam tanah dapat meningkatkan kation P, N dan K serta KPK yang ada dalam tanah akhirnya dapat meningkatkan produktivitas tanaman (Gani, 2010).

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 7. Karakteristik arang sekam dibuat secara tradisional di Bantul

No.	Parameter	Nilai Sifat fisik/Kimia	Satuan	Harkat
1	pH H_2O	7,07	-	netral
2	DHL	0,50	$mS.cm^{-1}$	rendah
3	C Organik	5,91	%	tinggi
4	Bahan Organik	11,42	%	-
5	KPK	5,24	$cmol.kg^{-1}$	-
6	N Total	0,52	%	rendah
7	P Total	0,33	%	rendah
8	K Total	0,96	%	rendah
9	C/N	11,36	-	sedang

Keterangan: Hasil analisis di Laboratorium Tanah, Departemen Tanah, Fak Pertanian UGM

1.3. Karakteristik pupuk kompos sampah kota

Pupuk kompos sampah kota dibuat oleh Paguyuban Edi Peni Condongcatur Yogyakarta. Karakteristik pupuk kompos disajikan dalam Tabel 8. Kemasaman pupuk kompos agak alkalis (8,19), tingkat kegaraman sangat rendah, KPK tinggi (22,51 $cmol.kg^{-1}$), N, P dan K total rendah. Pupuk kompos sampah kota dapat memberikan peran perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah, antara lain struktur tanah, sumber unsur hara bagi tanaman, meningkatkan aktivitas jasad renik, meningkatkan KPK.

Tabel 8. Karakteristik pupuk kompos sampah kota dibuat di Condongcatur

No.	Parameter	Nilai Sifat fisik/Kimia	Satuan	Harkat
1	pH	8,19	-	agak alkalis
2	DHL	0,30	$mS.cm^{-1}$	sangat rendah
3	C organik	21,73	%	sedang
4	Bahan organik	53,90	%	tinggi
5	KPK	22,51	$cmol.kg^{-1}$	tinggi
6	N total	0,79	%	rendah
7	P total	0,25	%	sangat rendah
8	K total	0,83	%	sangat rendah
9	Nisbah C/N	27, 05	-	sangat tinggi
10	E. coli	negatif	pengenceran 10^{-1}	-

Keterangan: Hasil analisis di Laboratorium Tanah, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian UGM

2. Percobaan Takaran Optimum Campuran Media (abu vulkan – arang sekam – kompos) untuk Tanaman Selada Keriting

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah melihat kemungkinan abu vulkan sebagai media tanam sayuran khususnya selada keriting. Perbaikan sifat fisik dan kimia abu vulkan dengan pembenah arang sekam dan pupuk kompos sampah kota.

2.1. Pengaruh takaran pembenah terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Data Tabel 9 menunjukkan bahwa pengaruh campuran media berbeda sangat nyata pada semua parameter yang diamati, kecuali jumlah daun. Pengaruh

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

takaran kompos berbeda sangat nyata: bobot hasil ekonomi, bobot akar, dan bobot total sedangkan jumlah daun hanya berbeda nyata. Interaksi M*K hanya bobot akar yang berbeda nyata, yang lain tidak berbeda nyata. Analisis sidik ragam dan uji DMRT selengkapnya terdapat pada Lampiran 9.

Tabel 9. Tabulasi anova dan koefisien variasi antar perlakuan media dan kompos

Parameter	Media (M)	Kompos (K)	M * K	Koef. Var.
Jumlah daun	NS	*	NS	11,6
Bobot hasil ekonomi	**	**	NS	15,0
Bobot akar segar	**	**	*	18,5
Bobot total	**	**	NS	14,2

Keterangan:
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

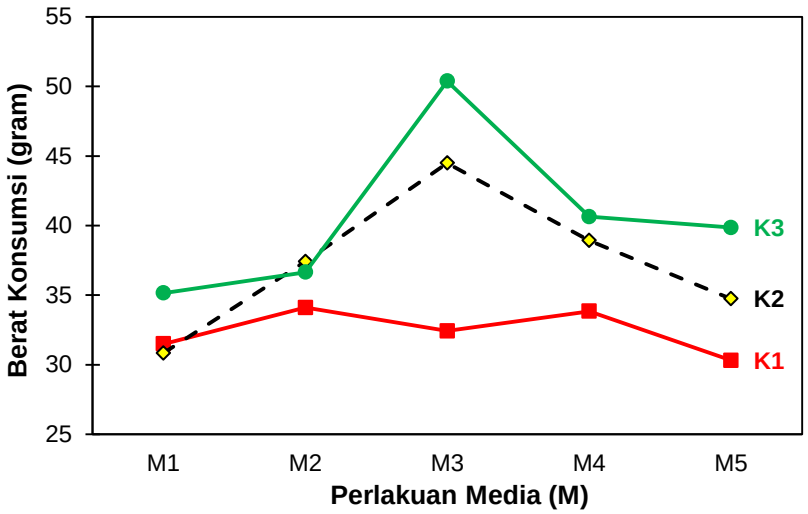
Tabel 10. Pengaruh campuran media (abu vulkan berbanding arang sekam) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Parameter	M_1 (0,30)	M_2 (0,40	M_3 (0,50)	M_4 (0,60)	M_5 (0,70)
Jumlah daun (lembar)	9,66 (ab)	9,11 (b)	9,77 (ab)	10,00 (ab)	10,55 (a)
Bobot hasil ekonomi (g)	32,49 (b)	36,09 (b)	44,09 (a)	37,81 (b)	34,97 (b)
Bobot akar segar (g)	5,81 (b)	5,36 (b)	7,28 (a)	5,86 (b)	6,42 (b)
Bobot total (g)	38,30 (b)	41,42 (b)	51,38 (a)	43,66 (b)	41,39 (b)

Hasil analisis *Duncan Multiple Range Test* antar perlakuan dalam Tabel 10 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun Bobot basah, dan bobot total. Media yang paling baik adalah M_3, sedangkan jumlah daun pada M_5.

Keragaan tanaman selada keriting antar kombinasi perlakuan takaran media dan kompos cukup nyata, dari segi warna daun pada media abu vulkan murni berwarna kuning, dengan tambahan arang sekam 50% warna makin hijau, dan makin hijau dan lebih besar pada campuran kompos 50%, namun demikian ketiganya masih lebih rendah dari perlakuan kombinasi M_1K_1 sampai M_5K_3. Gambar 4. menunjukkan perbedaan ukuran meningkat dari K_1 sampai K_3, dari arang sekam M_1 ke M_3 meningkat, ke M_4 dan M_5 tidak begitu jelas perbedaan keragaan.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 3. Kombinasi perlakuan takaran media dan kompos terhadap bobot hasil ekonomi selada keriting.
Keterangan: K_1 = kompos 25%; K_2 = kompos 33%; K_3 = kompos 50%; M_1 = arang sekam 30%; M_2 = arang sekam 40%; M_3 = arang sekam 50%; M_4 = arang sekam 60%; M_5 = arang sekam 70%.



Gambar 4. Keragaan tanaman selada keriting antar kombinasi perlakuan takaran media dan kompos.
Keterangan: a) M_{01}, M_{02}, M_{03}; b) M_1K_1, M_1K_2, M_1K_3; c) M_2K_1, M_2K_2, M_2K_3; d) M_3K_1, M_3K_2, M_3K_3; e) M_4K_1, M_4K_2, M_4K_3; f) M_5K_1, M_5K_2, M_5K_3

Hasil analisis *Duncan Multiple Range Test* antar perlakuan menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan dan hasil tanaman (jumlah daun, tinggi tanaman, bobot

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

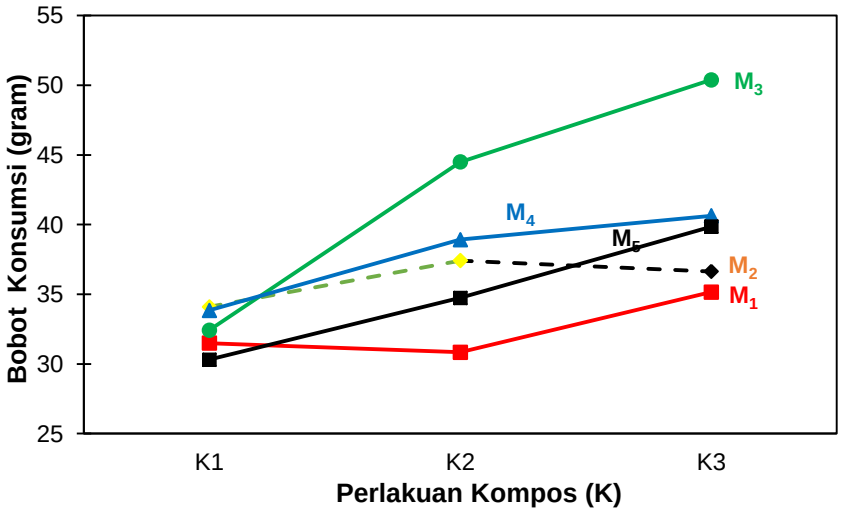
hasil ekonomi, bobot total). Kombinasi media dan pupuk kompos tidak ada interaksi.

Hubungan takaran arang sekam terhadap bobot hasil ekonomi menunjukkan bahwa hasil tertinggi dicapai pada perlakuan M_3, sedangkan perlakuan pupuk kompos paling baik adalah K_3 (media dibanding kompos = 1: 1).

Tabel 11. Pengaruh takaran kompos terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Parameter	**K_1 (M:K =3:1)**	**K_2 (M:K =2:1)**	**K_3 (M:K =1:1)**
Jumlah daun (lembar)	9,80 (ab)	9,33 (b)	10,33 (a)
Bobot hasil ekonomi (g)	32,43 (b)	38,28 (a)	40,53 (a)
Bobot akar segar (g)	5,67 (b)	5,60 (b)	7,15 (a)
Bobot total (g)	38,11 (b)	43,89 (a)	47,69 (a)

Keterangan : Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji DMRT 5%.



Gambar 5. Pengaruh perlakuan takaran kompos terhadap bobot hasil ekonomi
Keterangan: K_1 = kompos 25%; K_2 = kompos 33%; K_3 = kompos 50%; M_1 = arang sekam 30%; M_2 = arang sekam 40%; M_3 = arang sekam 50%; M_4 = arang sekam 60%; M_5 = arang sekam 70%.

2.2. Pengaruh media dan takaran kompos sebagai faktor tunggal terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Hasil analisis *Duncan Multiple Range Test* pada Tabel 12 antar perlakuan menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun, bobot hasil ekonomi dan bobot total.

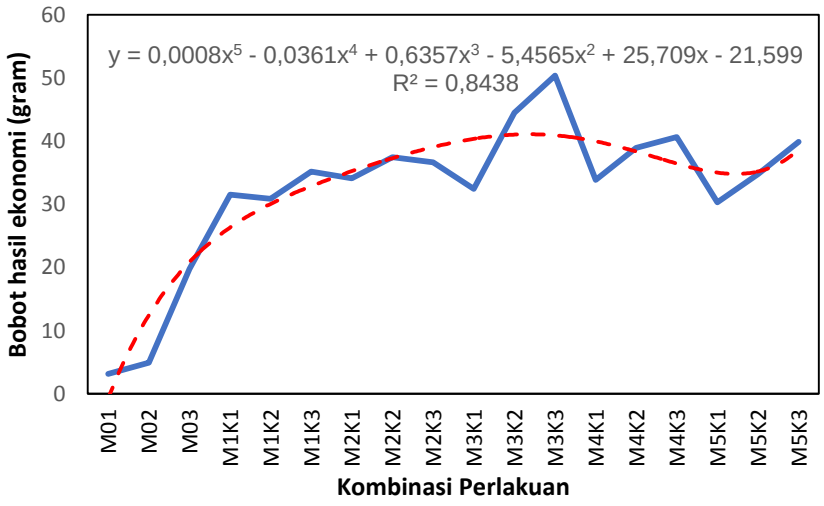
UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Perlakuan M_{01} adalah 100% abu vulkan tanpa arang sekam dan pupuk kompos tidak ada hasil, masih sama seperti saat tanam. Perlakuan yang terbaik pada M_3K_3 dengan takaran arang sekam 25% dan pupuk kompos 50% dengan hasil bobot total 59,82 g/tanaman. Selain melihat pengaruh yang terpisah antara media dan kompos, dilihat pula pengaruh kombinasi antara media dan kompos. Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa perlakuan takaran media dan kompos yang terbaik adalah M_3K_3 dengan bobot hasil ekonomi 50,38 gram per tanaman. Komposisi takaran M_3K_3 adalah 25% abu vulkan, 25% arang sekam, dan 50% pupuk kompos sampah kota.

Tabel 12. Pengaruh kombinasi perlakuan takaran media dan kompos faktor tunggal terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

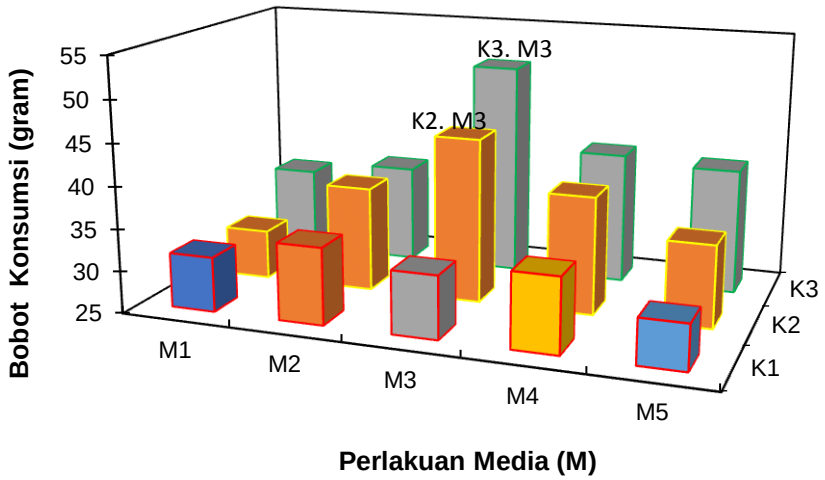
Kombinasi Perlakuan	Jumlah daun (lembar)	Bobot hasil ekonomi (g)	Bobot akar (g)	Bobot total (g)
M_{01}	5,33 (c)	3,13 (e)	1,93 (f)	5,03 (e)
M_{02}	6,33 (c)	4,92 (e)	3,56 (ef)	8,49 (e)
M_{03}	8,66 (b)	19,75 (d)	3,77 (efd)	23,63 (d)
M_1K_1	10,00 (ab)	31,49 (bc)	4,86 (cde)	36,35 (c)
M_1K_2	8,66 (b)	30,84 (bc)	6,46 (bc)	37,31 (c)
M_1K_3	10,33 (ab)	35,15 (bc)	6,10 (bc)	41,26 (c)
M_2K_1	9,33 (ab)	34,10 (bc)	5,04 (bcde)	39,14 (c)
M_2K_2	9,00 (b)	37,42 (bc)	3,77 (def)	41,20 (c)
M_2K_3	9,00 (b)	36,64 (bc)	7,28 (b)	43,92 (c)
M_3K_1	9,33 (ab)	32,42 (bc)	6,21 (bc)	38,63 (c)
M_3K_2	10,00 (ab)	39,49 (bc)	6,19 (bc)	45,68 (c)
M_3K_3	10,66 (ab)	50,38 (a)	9,44 (a)	59,82 (a)
M_4K_1	9,66 (ab)	33,84 (bc)	6,20 (bc)	40,04 (c)
M_4K_2	9,33 (ab)	38,92 (bc)	5,67 (bcde)	44,59 (c)
M_4K_3	10,33 (ab)	40,63 (b)	5,70 (bcde)	46,34(bc)
M_5K_1	10,66 (ab)	30,31 (c)	6,07 (bc)	36,39 (c)
M_5K_2	9,66 (ab)	34,74 (bc)	5,94 (bcd)	40,68 (c)
M_5K_3	11,33 (a)	39,85 (bc)	7,25 (b)	47,10 (bc)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam kolom tidak berbeda pada Uji DMRT 5%.



Gambar 6. Perbandingan hasil faktor tunggal terhadap bobot hasil ekonomi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 7. Histogram pengaruh perlakuan arang sekam dan kompos terhadap bobot hasil ekonomi

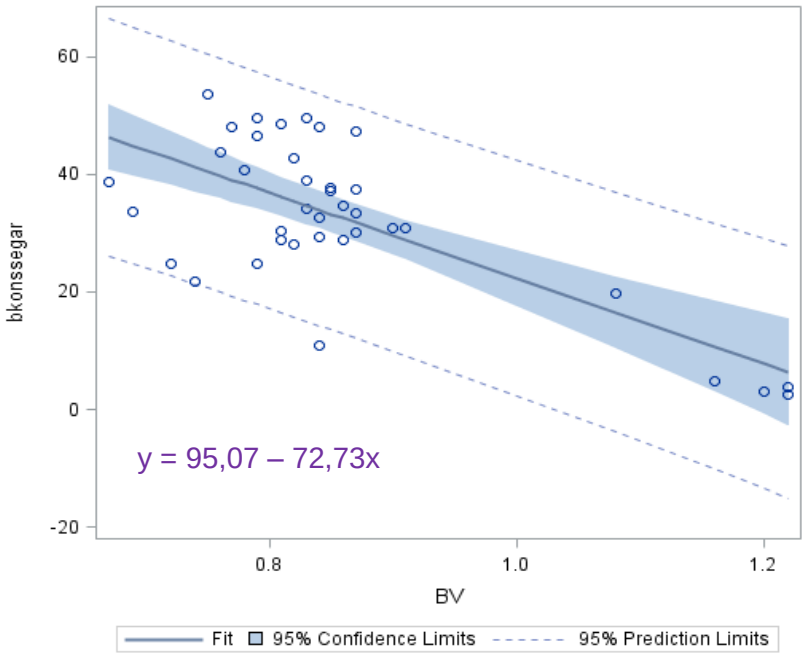
Keterangan: K_1 = kompos 25%; K_2 = kompos 33%; K_3 = kompos 50%; M_1 = arang sekam 30%; M_2 = arang sekam 40%; M_3 = arang sekam 50%; M_4 = arang sekam 60%; M_5 = arang sekam 70%.

2.3. Hubungan sifat fisik dan pertumbuhan tanaman

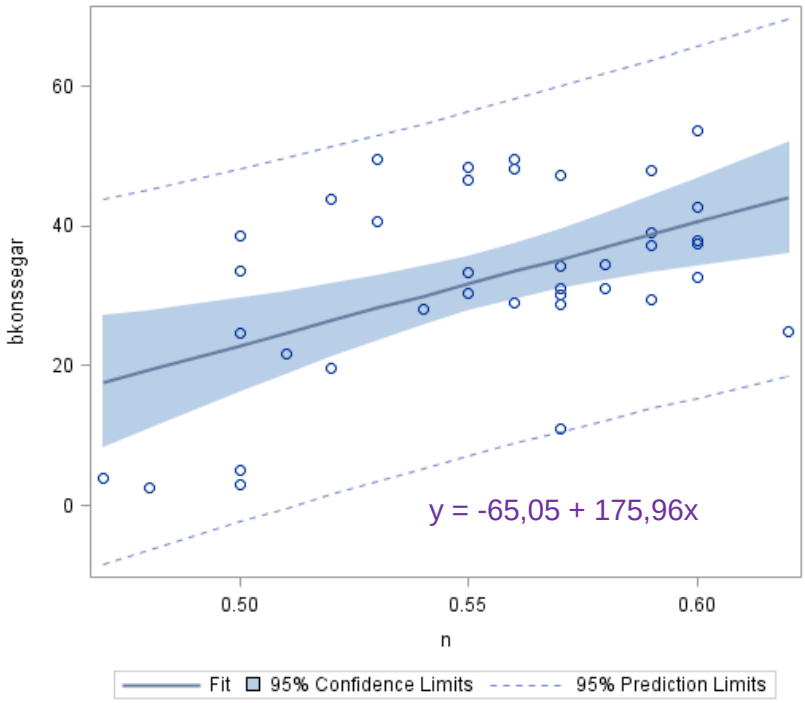
Pengaruh beberapa sifat fisik media dengan pertumbuhan tanaman ditunjukkan degan regresi sifat tunggal BV dan porositas dengan hasil pertumbuhan tanaman selada. Gambar 8 menunjukkan regresi linear neagtif antara berat volume campuran media dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,52. Hal ini berarti 52% perubahan variabel (Y) bobot hasil ekonomi dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media. Penambahan arang sekam dan kompos dapat menurunkan BV dan memudahkan akar menembus media karena pemampatan makin berkurang dan tanaman makin berkembang.

Gambar 9 menunjukkan regresi linear positif antara porositas campuran media dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,25. Hal ini berarti 25% perubahan variabel (Y) bobot hasil ekonomi dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) porositas media. Penambahan arang sekam dan kompos dapat meningkat porositas dan memudahkan akar menembus media masuknya air dan meningkatkan hasil tanaman.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

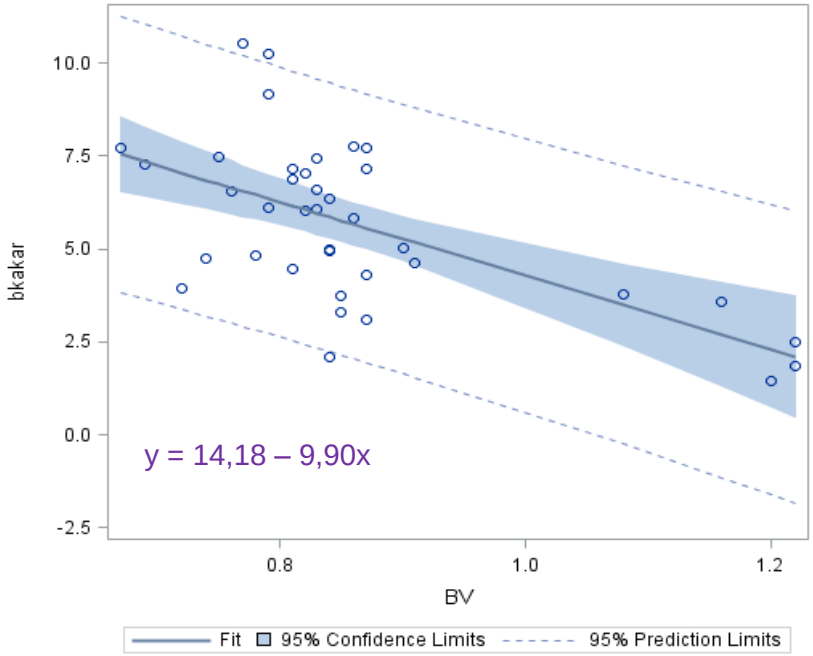


Gambar 8. Regresi berat volume dan bobot hasil ekonomi selada keriting pada penanaman di pot



Gambar 9. Regresi porositas dan bobot hasil ekonomi selada keriting pada penanaman di pot

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



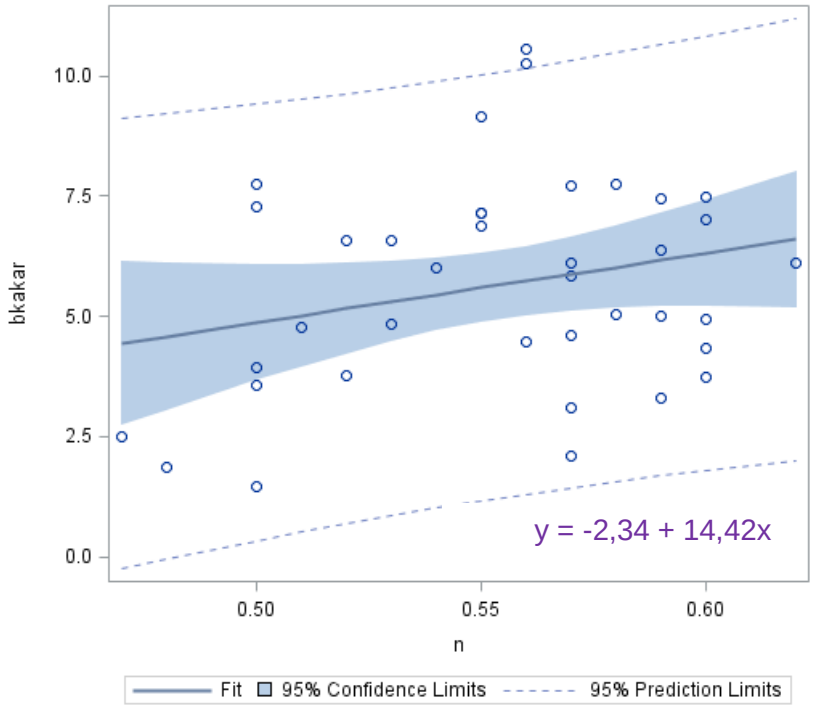
Gambar 10. Regresi berat volume dan bobot akar segar selada keriting pada penanaman di pot

Gambar 10 menunjukkan regresi linear negatif antara berat volume campuran media dengan berat akar selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,37. Hal ini berarti 37% perubahan variabel (Y) berat akar dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media. Penambahan arang sekam dan kompos dapat menurunkan BV dan menyebabkan pertumbuhan akar makin besar.

Gambar 11 menunjukkan regresi linear positif antara porositas campuran media dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,06. Hal ini berarti 6% perubahan variabel (Y) berat akar dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) porositas media. Penambahan arang sekam dan kompos dapat meningkatkan porositas dan memudahkan akar menembus media serta masuknya air.

Hubungan BV dengan bobot hasil ekonomi bersifat negatif, makin tinggi BV makin rendah hasil bobot hasil ekonomi. Makin tinggi BV menunjukkan sifat media makin mampat ini terjadi pada media murni abu vulkan, penambahan arang sekam dan kompos dapat menurunkan BV dan menaikkan bobot hasil ekonomi selada keriting. Sebaliknya porositas (n) dengan bobot hasil ekonomi hubungannya bersifat positif, makin tinggi porositas makin baik bobot hasil ekonomi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 11. Regresi porositas dan bobot akar segar selada keriting pada penanaman di pot

Hubungan BV dengan bobot segar akar mempunyai pola yang sama dengan bobot hasil ekonomi. Makin tinggi BV makin rendah bobot akar segar, serta makin tinggi porositas makin tinggi bobot akar segar.

3. Karakteristik Sifat Fisik dan Kimia Campuran Abu Vulkan, Arang Sekam, dan Pupuk Kompos

Hasil analisis varian dan kontras orthogonal Tabel 13 menunjukkan bahwa pengaruh campuran media dan pupuk kompos berbeda sangat nyata pada semua parameter yang diamati yaitu sifat fisik dan kimia campuran media setelah inkubasi 35 hari, kecuali nilai DHL. Data perhitungan anova dan HSD Tukey 5% tercantum pada Lampiran 10.

Pengaruh pembenah dicampur abu vulkan dibanding abu vulkan murni sebagai kontrol dengan kontras orthogonal dapat dinyatakan bahwa semua parameter berbeda sangat nyata kecuali nilai DHL yang tidak berbeda nyata. Parameter yang beda nyata tetapi meningkat, yaitu pH (H_2O) dan (KCl), C organik, bahan organik, KPK, N total, P tersedia, K tersedia, dan pF. Sedangkan yang mengalami penurunan adalah BJ, BV dan KL- TL (KLT).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 13. Tabulasi anova dan kontras orthogonal antara kontrol dengan rerata perlakuan

Parameter	Kontras	Rerata Kontrol	Rerata Perlakuan	Satuan	Koef var.
pH (H_2O)	**	6,04	6,85	-	1,50
pH (KCl)	**	5,40	6,53	-	1,70
DHL	NS	0,016	0,034	$mS.cm^{-1}$	33,20
C organik	**	0,83	2,54	%	9,62
BO	**	1,40	4,39	%	9,66
KPK	**	2,74	11,86	$cmol^{+}kg^{-1}$	9,69
N total	**	0,00	0,10	%	11,80
P tersedia	**	19,45	37,25	$mg.kg^{-1}$	19,30
K tersedia	**	0,26	1,41	$cmol^{+}kg^{-1}$	4,24
pF 0	**	37,63	66,43	%	3,17
pF 2	**	28,36	44,96	%	3,32
pF 2,54	**	21,80	29,77	%	3,15
pF 4,2	**	1,68	11,03	%	12,14
BJ	**	2,35	1,99	$g.cm^{-3}$	1,38
BV	**	1,21	0,86	$g.cm^{-3}$	3,92
KLT (KL – TL)	**	23,12	18,93	%	7,48

Keterangan:
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

Penambahan arang sekam dan kompos dapat meningkatkan pH (H_2O) dari agak masam menjadi netral, sedangkan pH KCl dari masam menjadi netral. Penambahan pembenah dapat meningkatkan daya hantar listrik tetapi tidak berbeda nyata. Demikian juga bahan organik meningkat tiga kali dibanding abu vulkan awal. KPK semula berharkat sangat rendah meningkat menjadi rendah, Nitrogen total dari sangat rendah menjadi rendah, sedangkan P dari sedang menjadi tinggi dan K dari rendah menjadi sedang**.**

Data Tabel 14 menunjukkan bahwa pengaruh campuran media berbeda sangat nyata merajai 10 parameter dan 3 berbeda nyata, yang 4 tidak berbeda nyata. Pengaruh kompos 13 parameter berbeda sangat nyata, dan 4 tidak berbeda nyata ada. Kombinasi M*K hampir berimbang yang berbeda dan tidak berbeda nyata. Pengaruh arang sekam secara umum berbeda sangat nyata terhadap parameter sifat fisik dan kimia campuran media, demikian juga pembenah kompos sampah kota juga sangat nyata, kecuali nilai DHL dan KL – TL. Kombinasi media dan kompos sebagian besar tidak berbeda nyata kecuali pH dan pF 0 dan pF2.

Hasil analisis *HSD Tukey 5%* antar perlakuan dalam Tabel 15 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pada sifat fisik dan kimiawi, pH, DHL, bahan organik, KPK, NPK

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dan nilai pF, makin meningkat takaran media makin tinggi nilai parameter tsb Kecuali BJ dan BV makin menurun dengan meninngkatnya takaran arang sekam.

Seperti halnya *biochar* pengaruh kompos sampah kota juga meningkatkan semua parameter yang diamati kecuali ada yang tidak berbeda nyata antara lain : DHL, BV, KL - TL (KLT).

Tabel 14. Tabulasi anova dan koefisien variasi antar perlakuan media dan kompos

Parameter	Satuan	Media (M)	Kompos (K)	M * K	Koef. Var.
pH (H_2O)	-	**	**	**	1,00
pH (KCl)	-	**	**	**	1,65
DHL	$mS.cm^{-1}$	NS	NS	NS	32,68
C organik	%	*	**	NS	9,25
BO	%	*	**	NS	9,30
KPK	$cmol^{+}kg^{-1}$	**	**	*	9,56
N total	%	**	**	NS	11,2
P tersedia	$mg.kg^{-1}$	*	**	NS	19,0
K tersedia	$cmol^{+}kg^{-1}$	**	**	**	4,01
pF 0	%	**	**	**	3,12
pF 2	%	**	**	**	3,34
pF 2,54	%	NS	**	*	3,67
pF 4,2	%	NS	**	NS	11,7
BJ	$g.cm^{-3}$	**	**	NS	1,36
BV	$g.cm^{-3}$	**	NS	NS	4,28
KLT (KL – TL)	%	NS	NS	*	7,93
Keterangan:					
****** Berbeda sangat nyata		10	13	5	-
***** Berbeda nyata		3	0	3	-
NS Tidak berbeda nyata		4	4	9	-

Tabel 15. Pengaruh takaran media dibanding arang sekam terhadap sifat fisik dan kimia campuran media tanam

Parameter	Satuan	M_1 (0,25)	M_2 (0,33)	M_3 (0,50)
pH (H_2O)	-	6,76 (c)	7,08 (a)	6,97 (b)
pH (KCl)	-	6,46 (c)	6,86 (a)	6,65 (b)
DHL	$mS.cm^{-1}$	0,03 (a)	0,03 (a)	0,04 (a)
C organik	%	2,61 (b)	2,79 (ab)	2,95 (a)
BO	%	4,51 (b)	4,81 (ab)	5,09 (a)
KPK	$cmol^{+}kg^{-1}$	10,35 (b)	13,17 (a)	13,93 (a)
N total	%	0,08 (c)	0,11 (b)	0,14 (a)
P tersedia	$mg.kg^{-1}$	34,51(b)	37,47 (ab)	45,72 (a)
K tersedia	$cmol^{+}kg^{-1}$	1,38 (b)	1,45 (b)	1,78 (a)
pF 0	%	64,05 (c)	67,50 (b)	77,34 (a)
pF 2	%	44,17 (b)	47,76 (a)	48,50 (a)
pF 2,54	%	30,20 (a)	31,00 (a)	30,43 (a)
pF 4,2	%	11,72 (a)	12,15 (a)	12,35 (a)
BJ	$g.cm^{-3}$	2,08 (a)	2,00 (b)	1,79 (c)
BV	$g.cm^{-3}$	0,86 (a)	0,84 (a)	0,78 (b)
KLT (KL – TL)	%	18,48 (a)	18,64 (a)	18,20 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 16. Pengaruh takaran kompos terhadap sifat fisik dan kimia campuran media tanam

Parameter	Satuan	K_1 (0,25)	K_2 (0,33)	K_3 (0,50)
pH (H_2O)	-	6,73 (b)	7,05 (a)	7,03 (a)
pH (KCl)	-	6,32 (b)	6,86 (a)	6,79 (a)
DHL	$mS.cm^{-1}$	0,03 (a)	0,03 (a)	0,03 (a)
C organik	%	2,26 (c)	2,82 (b)	3,217 (a)
BO	%	3,90 (c)	4,87 (b)	5,64 (a)
KPK	$cmol^{+}kg^{-1}$	9,22 (c)	11,55 (b)	16,68 (a)
N	%	0,08 (c)	0,11 (b)	0,15 (a)
P	$mg.kg^{-1}$	29,35 (b)	42,58 (a)	45,77 (a)
K	$cmol^{+}kg^{-1}$	1,18 (c)	1,49 (b)	1,94 (a)
pF 0	%	63,06 (c)	66,84 (b)	78,99 (a)
pF 2	%	41,82 (c)	47,40 (b)	51,11 (a)
pF 2,54	%	28,64 (b)	29,36 (b)	33,63 (a)
pF 4,2	%	9,33 (b)	11,02 (b)	15,87 (a)
BJ	$g.cm^{-3}$	1,98 (a)	1,97 (a)	1,91 (b)
BV	$g.cm^{-3}$	0,83 (a)	0,82 (a)	0,83 (a)
KLT (KL – TL)	%	19,30 (a)	18,33 (a)	17,95 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

Selain dilihat pengaruh terpisah antara media dan kompos, dilihat pula pengaruh kombinasi antara media dan kompos. Berdasarkan Tabel 16 dapat dilihat bahwa perlakuan takaran media dan kompos berpengaruh sangat nyata terhadap parameter yang diamati, kecuali pada DHL dan KLT (KL-TL) tidak berbeda nyata, parameter BV berbeda nyata.

Tabel 17. Tabulasi anova pengaruh dua faktor terhadap sifat fisik dan kimia media tanam

Parameter	Satuan	M * K	Koef. Var.
pH (H_2O)	-	**	1,00
pH (KCl)	-	**	1,65
DHL	$mS.cm^{-1}$	NS	32,68
C organik	%	**	9,25
BO	%	**	9,30
KPK	$cmol^{+}kg^{-1}$	**	9,54
N total	%	**	11,22
P tersedia	$mg.kg^{-1}$	**	19,06
K tersedia	$cmol^{+}kg^{-1}$	**	4,01
pF 0	%	**	3,12
pF 2	%	**	3,34
pF 2,54	%	**	3,67
pF 4,2	%	**	11,70
BJ	$g.cm^{-3}$	**	1,36
BV	$g.cm^{-3}$	*	4,28
KLT (KL – TL)	%	NS	7,93
Keterangan:			
****		14	-
*****		2	-
NS		1	-

Keterangan: * : Berbeda nyata
** : Berbeda sangat nyata NS : Tidak berbeda nyata

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kombinasi M_1K_1 secara umum mempunyai nilai parameter lebih rendah dari M_2K_2 dan paling tinggi M_3K_3 (Tabel 18) kecuali berat jenis, berat volume dan kapasitas lengas tersedia. Khusus BJ dan BV makin tinggi takaran arang sekam dan kompos nilai makin turun, yang bermakna makin baik kesuburan fisik media tersebut.

Hasil analisis HSD Tukey 5% dalam Tabel 18 menunjukkan bahwa pH abu vulkan 6,04 (agak masam), meningkat M_1K_1 menjadi 6,34 (agak masam) dan tertinggi M_2K_3 pH 7,16 (netral), demikian pH potensial M_1K_1 berharkat agak masam (5,84) menjadi netral pada M_2K_3 (6,99).

Parameter lain yang mengalami peningkatan dengan penambahan takaran arang sekam dan kompos meliputi: DHL, C organik, bahan organik , KPK, N, P, K, pF 0 – pF 4,2, terendah M_1K_1 dan meningkat pada M_2K_2 serta tertinggi pada M_3K_3. Perlakuan arang sekam dan kompos makin tinggi dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia media tanam.

Tabel 18. Pengaruh kombinasi media dibanding kompos terhadap sifat fisik dan kimia campuran media tanam

Parameter	M_1K_1	M_1K_2	M_1K_3	M_2K_1	M_2K_2	M_2K_3	M_3K_1	M_3K_2	M_3K_3
pH (H_2O)	6,34 d	6,42 c	7,03 abc	6,95 bc	7,12 ab	7,16 a	6,90 c	7,12 Ab	6,91 c
pH (KCl)	5,84 d	6,69 ab	6,86 ab	6,63 bc	6,97 a	6,99 a	6,50 c	6,94 ab	6,51 c
DHL ($mS.cm^{-1}$)	0,03 a	0,04 a	0,03 a	0,02 a	0,03 a	0,03 a	0,04 a	0,03 a	0,04 a
C organik (%)	2,14 d	2,67 bcd	3,05 abc	2,24 d	2,77 abcd	3,36 ab	2,40 cd	3,04 ab	3,41 a
BO (%)	3,69 d	4,60 b	5,25 abc	3,27 d	4,78 abcd	5,79 ab	4,14 abc	5,24 abc	5,88 a
KPK ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	8,7 d	9,3 cd	13,0 b	9,0 d	12,5 bc	17,9 a	9,9 b	12,7 b	19,1 a
N (%)	0,05 c	0,07 c	0,12 b	0,07 c	0,11 b	0,14 ab	0,11 b	0,15 ab	0,18 a
P ($mg.kg^{-1}$)	25,5 b	37,0 ab	40,9 ab	30,1 bc	39,0 ab	43,1 ab	32,3 ab	51,6 a	53,1 a
K ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	1,07 f	1,41 cd	1,67 b	1,15 ef	1,47 cd	1,73 b	1,32 de	1,59 bc	2,43 a
pF 0 (%)	56,9 f	60,6 de	74,5 b	63,2 cd	66,8 bc	72,3 bc	68,9 b	73,0 b	90,0 a
pF 2 (%)	37,0 e	44,8 d	50,7 ab	45,5 cd	49,6 bcd	50,3 ab	43,2 d	47,7 bcd	52,2 a
pF 2,54 (%)	27,9 b	29,1 b	33,5 a	28,8 b	30,9 ab	33,1 a	29,1 b	28,0 b	34,1 a
pF 4,2 (%)	9,5 c	9,8 c	15,7 ab	9,7 c	11,5 c	15,8 a	8,6 c	11,7 c	16,0 a
BJ ($g.cm^{-3}$)	2,11 a	2,09 ab	2,04 b	2,04 ab	2,03 b	1,9 c	1,8 d	1,81 d	1,77 d
BV ($g.cm^{-3}$)	0,88 a	0,85 ab	0,85 ab	0,84 ab	0,81 ab	0,86 ab	0,77 b	0,79 ab	0,78 ab
KLT (%)	18,3 ab	19,3 ab	17,7 ab	19,0 ab	19,4 ab	17,4 ab	20,5 a	16,3 b	18,0 ab

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4. Uji Efisiensi Pemanfaatan Air, Pupuk, dan Lahan pada Pertanaman Vertikal

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah melihat kemungkinan perbaikan sifat fisik dan kimia abu vulkan dengan pembenah arang sekam dan pupuk kompos sampah kota dikombinasikan dengan populasi kolom yang berbeda akan meningkatkan nilai efisiensi. Berdasar penelitian tahap 2 sebelumnya dipilih takaran maksimum sampai hasil paling baik M_3 K_3 (25% abu vulkan, 25% arang sekam dan 50% pupuk kompos).

Data Tabel 19 menunjukkan bahwa pengaruh campuran media dan pupuk kompos serta populasi tanaman didominasi parameter berbeda sangat nyata dan nyata pada parameter yang diamati yaitu pertumbuhan tanaman, jumlah daun, tingggi tanaman, bobot hasil ekonomi, bobot akar dan bobot total serta bobot kering. Kebutuhan air serta nilai efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan, sebagian kecil yang tidak berbeda nyata. Hasil analisis varian dan koefisien variasi antar perlakuan dapat diringkas dalam tabulasi Tabel 19, Lampiran 7 dan Lampiran 11.

Secara umum perlakuan campuran media, kombinasi takaran pupuk kompos sampah kota dan populasi tanaman/kerapatan kolom berbeda sangat nyata pada sebagian parameter. Apabila pada sidik ragam perlakuan menunjukkan pengaruh beda nyata pada taraf 5%, maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan HSD (Honest Significant Diference) untuk mengetahui perbedaan antar kombinasi perlakuan.

Tabel 19. Tabulasi anova dan koefisien variasi antar perlakuan

Parameter	M	K	P	M*K.	M*P	K*P	M*P*K	CF
Tinggi tanaman	**	**	**	NS	**	*	**	7,49
Jumlah daun	**	**	*	NS	**	NS	*	5,02
Bobot hasil ekonomi	**	**	*	*	NS	*	NS	9,86
Bobot akar segar	**	NS	*	NS	NS	NS	NS	17,68
Bobot segar total	**	**	*	NS	NS	*	NS	3,52
Bobot hsil ekonomi kr	**	**	**	NS	NS	NS	NS	9,86
Bobot akar kering	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	36,64
Bobot kering total	**	*	**	NS	NS	NS	NS	27,06
Total air lindian	**	*	NS	**	NS	NS	*	31,53
Kebutuhan air	**	*	NS	**	NS	NS	*	3,52
Efisiennsi air	**	**	**	NS	NS	NS	NS	26,43
Efisiensi pupuk	**	**	NS	*	NS	NS	NS	12,02
Efisiensi lahan	**	**	**	NS	NS	*	NS	10,49
Jumlah **	13	8	6	2	2	0	1	
Jumlah *	0	3	3	2	0	4	3	
Jumlah NS	0	2	4	9	11	9	9	

Keterangan:
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.1. Pengaruh campuran media (media dan arang sekam) terhadap parameter pertumbuhan dan hasil tanaman

Hasil analisis *Honest Significant Difference* (HSD) antar perlakuan dalam Tabel 20 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun, bobot hasil ekonomi, dan bobot total. Semua nilai parameter M_3 hasilnya paling tinggi (a) dan beberapa parameter M_2 juga (a), sedangkan M_1 terendah. Media yang baik adalah M_3.

Tabel 20. Pengaruh campuran abu vulkan dibanding arang sekam terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Parameter	M_1	M_2	M_3
Tinggi tanaman (cm)	25,62 (b)	28,07 (a)	28,76 (a)
Jumlah daun (lembar)	11,14 (c)	11,74 (b)	12,18 (a)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	454,25 (b)	504,67 (a)	502,93 (a)
Bobot akar segar (g/kolom)	20,37 (b)	23,85 (a)	23,22 (a)
Bobot total segar (g/kolom)	474,63 (b)	528,52 (a)	526,16 (a)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	35,89 (b)	39,99 (ab)	46.46 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	2,93 (b)	4,04 (a)	4,21 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	38,83 (b)	43,99 (ab)	50,67 (a)
Total air lindian (l)	2,75 (a)	2,09 (b)	2,64 (a)
Kebutuhan air tanaman (l)	22.1 (b)	22.8 (a)	22.2 (a)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,61 (b)	1,76 (a)	2,08 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,069 (b)	0,077 (a)	0,078 (a)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,36 (b)	1,52 (a)	1,51 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

Pertumbuhan tanaman yang diwakili bobot hasil ekonomi menunjukkan bahwa perlakuan M_3, baik media dan kompos menghasilkan bobot tertinggi seperti Gambar 9. Sebagai bukti bahwa makin tinggi takaran arang sekam dan pupuk kompos hasilnya makin baik. Sebaliknya untuk populasi P_1 (4 kolom /m^2) hasil total paling tinggi dibanding P_3 dan P_2. Efisiensi penggunaan air, pupuk dan lahan tertinggi pada perlakuan M_3 (50% abu vulkan dan 50% arang sekam, dengan efisiensi penggunaan air 2,08, penggunaan pupuk 0,078 kg/kg dan efisiensi penggunaan lahan 1,51 kg/m^2.

4.2. Pengaruh faktor kompos terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Hasil analisis HSD Tukey 5% antar perlakuan dalam Tabel 21 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh takaran kompos berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan dan hasil tanaman. K_3 (kompos 50%) semua parameter hasilnya tertinggi, ada beberapa parameter K_2 tidak berbeda nyata denga K_3 , sedangkan parameter yang terendah pada tkaran kompos 25%. Pertumbuhan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tanaman tertinggti terdapat pada perlakuan kompos yang paling tinggi dan terrendah dijumpai pada perlakian kompos satu (K_1).

Tabel 21. Pengaruh takaran kompos terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman, serta efisiensi

Parameter	K_1	K_2	K_3
Tinggi tanaman (cm)	25,70 (b)	26,85 (b)	29,91 (a)
Jumlah daun (lembar)	11,14 (c)	11,70 (b)	12,22 (a)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	444,63 (c)	484,17 (b)	532,65 (a)
Bobot akar segar (g/kolom)	21,34 (a)	22,74 (a)	23,35 (a)
Bobot total segar (g/kolom)	465,97 (c)	507,32 (b)	556,01 (a)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	35,89 (b)	39,99 (ab)	46.46 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	3.75 (a)	3,74 (a)	3.68 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	40,17 (b)	43,55 (ab)	49,77 (a)
Total air lindian (ml)	213 (b)	2,74 (a)	2,62 (a)
Kebutuhan air tanaman (ml)	22,15 (b)	2,.27 (ab)	22,76(a)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,63 (b)	1,75 (ab)	2,06 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,056 (c)	0,076 (b)	0,093 (a)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,33 (c)	1,47 (b)	1,59 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

4.3. Pengaruh populasi tanaman/kerapatan kolom terhadap parameter pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Hasil analisis *HSD* antar perlakuan dalam Tabel 22 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh kerapatan kolom berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (tinggi tanaman, jumlah daun, bobot hasil ekonomi dan bobot total. Perlakuan yang terbaik pada P_2 dengan takaran arang sekam 25% dan pupuk kompos 50% dengan hasil bobot total g/tanaman.

Tabel 22. Pengaruh populasi tanaman (kerapatan kolom) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	P_1	P_2	P_3
Tinggi tanaman (cm)	25,72 (b)	28,75 (a)	27,97 (a)
Jumlah daun (lembar)	11,00 (b)	11,96 (a)	12,11 (a)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	488,17 (ab)	504,40 (a)	469,28 (b)
Bobot akar segar (g/kolom)	19,92 (b)	24,84 (a)	22,68 (a)
Bobot total segar (g/kolom)	508,10 (ab)	529,24 (ab)	491,97 (b)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	43,84 (a)	31,92 (b)	46.58 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	3,61 (a)	3,55 (a)	4,02 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	47,48 (a)	35,43 (b)	50,60 (a)
Total air lindian (l)	2,51 (a)	2,24 (a)	2,74 (a)
Kebutuhan air tanaman (l)	22,23 (a)	22,65 (a)	22,15 (a)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,95 (a)	1,40 (b)	2,10 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,076 (a)	0,077 (a)	0,072 (a)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,95 (b)	1,51 (b)	0,93 (c)

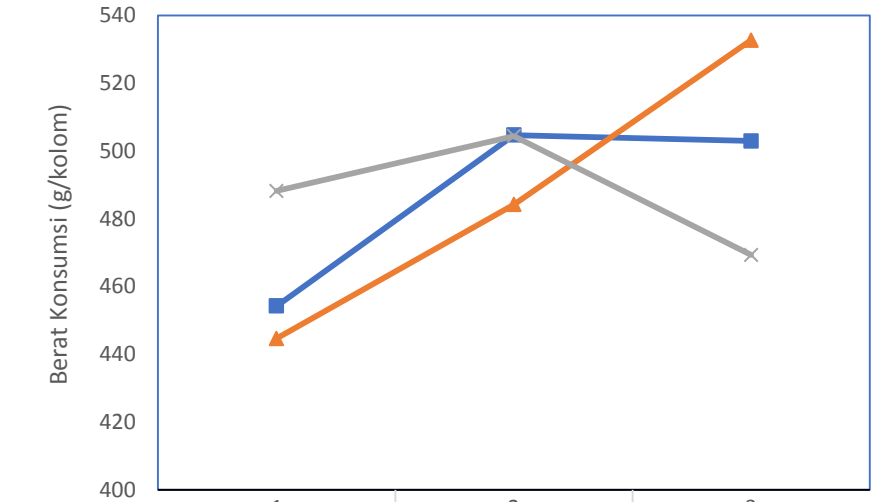
Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam bolom tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pertumbuhan tanaman yang diwakili bobot hasil ekonomi menunjukkan bahwa perlakuan M_3 dan K_3 (media dan kompos) menghasilkan bobot tertinggi seperti Gambar 12. Sebagai bukti bahwa makin tinggi takaran arang sekam dan pupuk kompos hasilnya makin baik. Sebaliknya untuk populasi P_1 (4 kolom /m^2) hasil total paling tinggi dibanding P_3 dan P_2. Efisiensi penggunaan air tertinggi pada perlakuan M_3 (50% abu vulkan dan 50% arang sekam, dengan efisiensi penggunaan air 2,08 g/kg dan efisiensi penggunaan lahan 1,51 kg/m^2.

Pengaruh media, kompos dan populasi pada Gambar 13 menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan air tertinggi paling baik hasilnya pada takaran yang makin tinggi, untuk populasi P_1 dan P_3 tidak beda nyata. Pengaruh populasi (kerapatan kolom) paling rendah pada kerapatan P_2 (3 kolom/m^2). Pengaruh media, kompos dan populasi pada Gambar 15 menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan lahan makin baik hasilnya pada takaran M dan K yang makin tinggi, untuk pengaruh populasi efisiensi penggunaan lahan paling tingggi P_1 (4 kolom/m^2) dan terendah P_3 (2 kolom/m^2)

Peningkatan nilai efisiensi penggunaan air dapat memanipulasi pembilang (produksi) dan penyebut (penggunaan air), dengan meningkatkan produksi dan membatasi kebutuhan air maka akan meningkatkan efisiensi. Kebutuhan air sudah tidak dapat ditekan lagi, yang masih mungkin peningkatan produksi lewat kesuburan kimiawi khususnya Nitrogen.

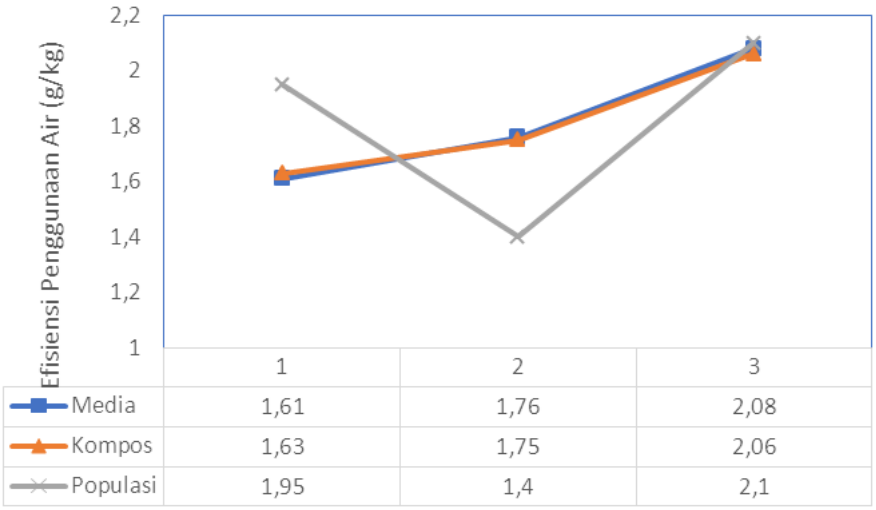


Gambar 12. Pengaruh media, kompos dan populasi terhadap bobot hasil ekonomi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pengaruh media, kompos dan populasi pada Gambar 12 menunjukkan bahwa pengaruh kompos makin tinggi takaran makin baik bobot hasil ekonomi, pengaruh media perlakuan 33% arang sekam memberikan hasil yang lebih baik walaupun tidak berbeda dengan 50%. Pengaruh populasi atau kerapatan kolom hasil terbaik pada kerapatan 3 kolom/m^2, untuk pengaruh populasi efisiensi penggunaan lahan paling tingggi P_1 (4 kolom/m^2) dan terendah P_3 (2 kolom/m^2).

Pengaruh media, kompos dan populasi pada Gambar 13 menunjukkan bahwa pengaruh media dan kompos makin tinggi takaran makin baik efisiensi penggnaan air, efisiensi penggunaan air tertinggi pda perlakuan arang sekam 25% sebesar 2,08 g.kg^{-1}dan kompos 50% sebesar 2,06 g.kg^{-1}. Pengaruh populasi atau kerapatan kolom terhadap efisiensi air hasil terbaik pada kerapatan 2 kolom,m^{-2} sebesar 2,10 g.kg^{-1}, nilai efisiensi terendah pada populasi 3 kolom.m^{-2} sebesar 1,4 g.m^{-2} .

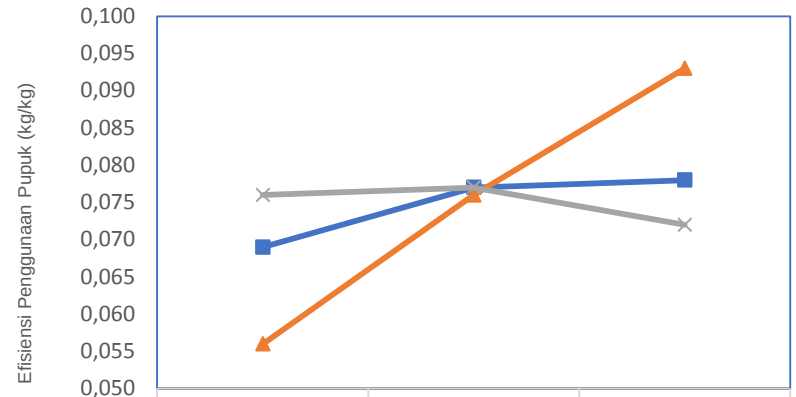


	1	2	3
Media	1,61	1,76	2,08
Kompos	1,63	1,75	2,06
Populasi	1,95	1,4	2,1

Gambar 13. Pengaruh media, kompos dan populasi terhadap efisiensi penggunaan air (g/kg)

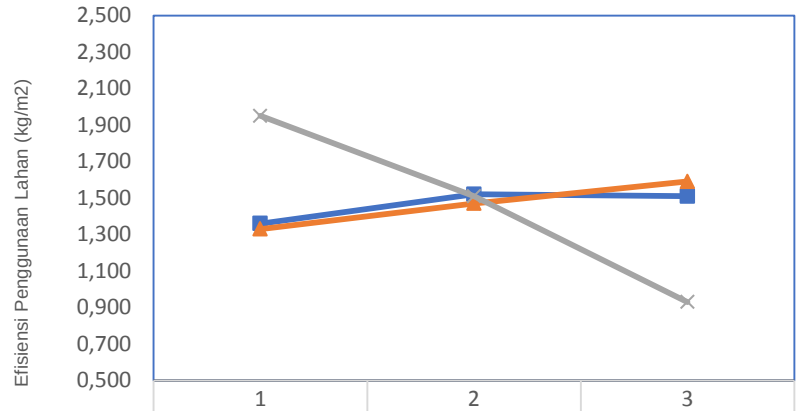
Pengaruh media, kompos dan populasi pada Gambar 14 menunjukkan bahwa pengaruh kompos makin tinggi takaran makin baik bobot hasil ekonomi, pengaruh media perlakuan 33% arang sekam memberikan hasil yang lebih baik walaupun tidak berbeda dengan 50%. Pengaruh populasi atau kerapatan kolom hasil terbaik pada kerapatan 3 kolom/m^2. Pengaruh media, kompos dan populasi pada menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan pupuk makin baik hasilnya hanya pada pengaruh kompos, untuk faktor media dan populasi tidak nyata pengaruhnya.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



	1	2	3
Media	0,069	0,077	0,078
Kompos	0,056	0,076	0,093
Populasi	0,076	0,077	0,072

Gambar 14. Pengaruh media, kompos dan populasi terhadap efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)



	1	2	3
Media	1,36	1,52	1,51
Kompos	1,33	1,47	1,59
Populasi	1,95	1,51	0,93

Gambar 15. Pengaruh media, kompos dan populasi terhadap efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)

Pengaruh media, kompos dan populasi pada Gambar 15 menunjukkan bahwa pengaruh media dan kompos makin tinggi takaran makin baik bobot hasil ekonomi, pengaruh media perlakuan 33% arang sekam memberikan hasil sedikit lebih baik walaupun tidak berbeda dengan 50%. Pengaruh populasi atau kerapatan kolom hasil terbaik pada kerapatan 4 kolom/m^2. Pengaruh populasi menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan lahan paling baik hasilnya pada kerapatan 4 kolom/m2 dengan nilai efisiensi 1,95 kg/m2, berarti hasilnya 1,95 kg bobot hasil ekonomi per m^2.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 23. Anova pengaruh kombinasi dua faktor antara M*K*P terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M*K.	M*P	K*P	CF
Tinggi tanaman (cm)	**	**	NS	8,40
Jumlah daun (lembar)	**	**	NS	5,58
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	**	NS	*	10,2
Bobot akar segar (g/kolom)	NS	**	NS	18,8
Bobot total segar (g/kolom)	**	NS	*	10,1
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	**	**	NS	26,7
Bobot akar kering (g/kolom)	NS	NS	NS	36,9
Bobot total kering (g/kolom)	**	**	NS	26,1
Total air lindian (l)	**	NS	NS	33,8
Kebutuhan air tanaman (l)	**	NS	NS	3,78
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	**	**	NS	25,9
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	**	NS	NS	12,3
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	**	**	*	10,8
Jumlah **	11	7	0	-
Jumlah *	0	0	3	-
Jumlah NS	2	6	10	-

Keterangan: ** : Berbeda sangat nyata * : Berbeda nyata NS : Tidak berbeda nyata

Hasil analisis varian (Anova) 2 faktor pada Tabel 24 menunjukkan bahwa pengaruh faktor media, pupuk kompos serta populasi tanaman sebagai faktor ganda berbeda pada faktor Media * Kompos sangat nyata pada semua parameter yang diamati, kecuali pada parameter bobot hasil ekonomi dan bobot segar total. Faktor Media dan Populasi tidak berbeda nyata pada bobot hasil ekonomi dan bobot total, serta bobot akar kering dan kebutuhan air. Faktor Kompos dan Populasi didominasi tidak berbeda nyata kecuali bobot akar kering dan kebutuhan air berbeda nyata. Parameter yang tidak berbeda nyata tidak dianalisis HSD Tukey lebih lanjut.

Berdasarkan hasil sidik ragam Tabel 24.menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara perlakuan media dengan kompos pada semua parameter yang diamati kecuali bobot akar segar dan kering. Kombinasi M_3K_3 menunjukkan nilai tinggi tanaman yang tertinggi tetapi tidak berbeda nyata dengan kombinasi M_3K_1, M_3K_2, M_1K_3 dan M_2K_3, sedangkan perlakuan M_1K_1 menunjukkan tinggi tanaman yang paling rendah. Kombinasi M_3K_2 menunjukkan nilai yang tertinggi pada jumlah daun, akan tetapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan M_2K_2, M_1K_3 dan M_3K_3 dan M_1K_1 menunjukkan jumlah daun yang paling rendah.

Kombinasi M_3K_3 menunjukkan nilai bobot hasil ekonomi, bobot total, bobot hasil kering dan bobot total kering yang tertinggi sedangkan perlakuan M_1K_1 menunjukkan hasil yang paling rendah. Tortal air lindian tertinggi pada perlakuan M_2K_2, dan terrendah pada perlakuan M_1K_1. Efisiensi penggunaan air tertinggi pada perlakuan M_3K_3 dan terendah pada M_2K_1. Efisiensi penggunaan pupuk tidak nyata pengaruh Media dan Kompos, makin tinggi takaran efisiensi menurun karena

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tambahan pupuk dan arang sekam tidak nyata pengaruhnya. Efisiensi penggunaan lahan sangat nyata pengaruh media dan kompos makin tinggi takaran makin baik hasil efisiensi, tertinggi pada perlakuan M_3K_3sebesar 1,65 kg/m^2 dan terendah M_1K_1 sebesar 1,13 kg/m^2.

Tabel 24. Pengaruh kombinasi media dan kompos (M*K) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M_1K_1	M_2K_1	M_3K_1	M_1K_2	M_2K_2	M_3K_2	M_1K_3	M_2K_3	M_3K_3
Tinggi tanaman (cm)	22,7 (d)	26,5 (c)	27,7 (abc)	25,7 (cd)	27,2 (bc)	27,5 (abc)	28,3 (abc)	30,4 (ab)	30,9 (a)
Jumlah daun (lembar)	10,3 (e)	11,0 (de)	11,6 (bcd)	11,1 (cde)	12,4 (ab)	12,7 (a)	12,0 (abc)	11,7 (bcd)	12,1 (ab)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	385 (d)	483 (bc)	465 (c)	481 (abc)	485 (abc)	486 (abc)	495 (ab)	545 (ab)	557 (a)
Bobot akar segar (g/kolom)	18,8 (a)	22,7 (a)	22,4 (a)	21,2 (a)	23,8 (a)	23,2 (a)	21,0 (a)	24,9 (a)	24,1 (a)
Bobot total segar (g/kolom)	404,4 (d)	505,8 (abc)	487,5 (c)	502,4 (bc)	509,5 (abc)	509,9 (abc)	516,9 (ab)	570,1 (ab)	580,9 (a)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	31,7 (b)	32,3 (b)	45,1 (ab)	36,1 (ab)	40,6 (ab)	42,9 (ab)	39,7 (ab)	47,0 (ab)	51,2 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	2,6 (a)	4,0 (a)	4,5 (a)	3,3 (a)	4,0 (a)	3,8 (a)	3,0 (a)	4,0 (a)	4,2 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	34,4 (b)	36,3 (b)	49,7 (ab)	39,3 (ab)	44,5 (ab)	46,8 (ab)	42,7 (ab)	51,0 (ab)	55,5 (a)
Kebutuhan air tanaman (l)	21,1 (c)	23,0 (ab)	22,3 (abc)	22,7 (ab)	23,4 (a)	22,2 (abc)	22,5 (ab)	22,0 (bc)	22,3 (abc)
Efisiensi penggunaan air (g/kg)	1,48 (bc)	1,40 (c)	2,02 (abc)	1,59 (abc)	1,74 (abc)	1,93 (abc)	1,76 (abc)	2,14 (ab)	2,30 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,08 (b)	0,10 (a)	0,09 (a)	0,07 (b)	0,07 (b)	0,07 (b)	0,05 (c)	0,05 (c)	0,05 (c)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,13 (b)	1,45 (a)	1,42 (a)	1,45 (a)	1,49 (a)	1,48 (a)	1,49 (a)	1,62 (a)	1,65 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

Berdasarkan hasil sidik ragam Tabel 26. menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara perlakuan media dengan populasi, M_3P_2 tinggi tanaman yang tertinggi tetapi tidak berbeda nyata dengan kombinasi M_2P_2, M_2P_3, M_3P_1, dan M_3P_3, sedangkan perlakuan M_1K_1 menunjukkan tinggi tanaman yang paling rendah. Kombinasi M_3P_2 menunjukkan nilai yang tertinggi pada jumlah daun, akan tetapi

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

tidak berbeda nyata dengan perlakuan M_3K_3, dan M_1K_1 menunjukkan jumlah daun yang paling rendah.

Tabel 25. Pengaruh kombinasi media dan populasi (M*P) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M_1P_1	M_1P_2	M_1P_3	M_2P_1	M_2P_2	M_2P_3	M_3P_1	M_3P_2	M_3P_3
Tinggi tanaman (cm)	24,0 (d)	26,0 (bcd)	26,8 (abcd)	24,9 (cd)	30,2 (a)	28,9 (ab)	28,2 (abc)	29,9 (a)	28,1 (abc)
Jumlah daun (lembar)	10,3 (e)	11,1 (bcd)	12,0 (abc)	11,0 (de)	12,4 (ab)	11,7 (bcd)	11,6 (bcd)	12,7 (a)	12,1 (ab)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	447 (b)	463 (b)	451 (b)	500 (ab)	539 (a)	473 (ab)	516 (ab)	503 (ab)	482 (ab)
Bobot akar segar (g/kolom)	19,1 (b)	21,8 (ab)	24,1 (b)	19,1 (b)	28,0 (a)	24,1 (ab)	21,2 (b)	24,6 (ab)	23,7 (ab)
Bobot total segar (g/kolom)	466,5 (b)	485,4 (b)	471,8 (b)	520,2 (ab)	567,9 (a)	497,3 (ab)	537,5 (ab)	534,3 (ab)	506,6 (ab)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	42,9 (ab)	24,5 (c)	40,2 (abc)	38,8 (abc)	34,0 (bc)	47,0 (ab)	49,7 (ab)	37,1 (abc)	52,4 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	2,7 (b)	2,7 (b)	3,2 (ab)	3,8 (ab)	4,2 (ab)	3,9 (ab)	4,1 (ab)	3,5 (ab)	4,9 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	45,7 (ab)	27,3 (c)	43,4 (abc)	42,7 (abc)	30,4 (bc)	51,0 (ab)	53,9 (ab)	40,7 (abc)	57,3 (a)
Total air lindian (l)	2,49 (ab)	2,79 (ab)	2,97 (a)	2,25 (ab)	1,60 (b)	2,43 (ab)	2,78 (ab)	2,34 (ab)	2,81 (ab)
Kebutuhan air tanaman (l)	22,4 (ab)	22,1 (ab)	21,9 (b)	22,6 (ab)	23,2 (a)	22,4 (ab)	22,1 (ab)	22,5 (ab)	22,0 (ab)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,91 (ab)	1,09 (c)	1,83 (ab)	1,71 (ab	1,46 (c)	2,10 (ab)	2,24 (ab)	1,65 (abc)	2,36 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,06 (b)	0,07 (ab)	0,07 (ab)	0,07 (ab)	0,08 (a)	0,07 (ab)	0,08 (ab)	0,07 (ab)	0,07 (ab)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,78 (ab)	1,39 (d)	0,90 (e)	2,00 (ab)	1,61 (cd	0,94 (e)	2,06 (a)	1,52 (ab)	0,96 (e)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

Kombinasi M_2P_2 menunjukkan nilai bobot hasil ekonomi, bobot akar segar dan bobot total yang tertinggi sedangkan perlakuan M_1P_1 menunjukkan hasil yang paling rendah. Tortal air lindian tertinggi pada perlakuan M_1P_2, dan terrendah pada perlakuan M_2P_2. Kebutuhan air tanaman tertinggi pada M_2P_2 dan terendah pada M_1P_2. Efisiensi penggunaan air tertinggi pada perlakuan M_3P_3 dan terendah pada M_1P_2. Efisiensi penggunaan pupuk tertinggi pada M_2P_2 dan terendah pada perlakuan M_1P_1. Efisiensi penggunaan lahan tertinggi pada perlakuan M_3P_1 dan terendah pada M_1P_3.

Berdasarkan hasil sidik ragam Tabel 27. menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara perlakuan kompos dengan populasi pada semua parameter yang diamati kecuali bobot akar kering, total air lindian, kebutuhan air. Kombinasi K_3P_2 menunjukkan nilai tinggi tanaman, jumlah daun, bobot hasil ekonomi, berat akar segar dan bobot total segar yang tertinggi tetapi tidak berbeda nyata dengan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kombinasi K_3P_1, dan K_3P_3. sedangkan perlakuan K_1P_1 menunjukkan tinggi tanaman dan jumlah daun yang paling rendah. Kombinasi K_3P_3 menunjukkan nilai yang tertinggi pada bobot hasil ekonomi kering, bobot total kering, efisiensi penggunaan air, dengan nilai terendah pada K_1P_2.

Tabel 26. Pengaruh kombinasi kompos dan populasi (K*P) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	K_1P_1	K_1P_2	K_1P_3	K_2P_1	K_2P_2	K_2P_3	K_3P_1	K_3P_2	K_3P_3
Tinggi tanaman (cm)	24,0 (d)	25,8 (cd)	27,2 (bcd)	25,1 (cd)	28,2 (bc)	27,2 (bcd)	28,0 (bc)	32,1 (a)	29,5 (ab)
Jumlah daun (lembar)	10,6 (d)	11,3 (cd)	11,4 (cd)	11,1 (cd)	12,0 (bc)	12,0 (bc)	11,2 (cd)	13,0 (a)	12,4 (ab)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	454 (bc)	434 (c)	445 (c)	506 (abc)	505 (abc)	442 (c)	503 (abc)	573 (a)	520 (ab)
Bobot akar segar (g/kolom)	17,6 (b)	22,6 (ab)	23,8 (ab)	21,7 (ab)	25,8 (a)	20,6 (ab)	20,4 (ab)	29,0 (a)	23,6 (ab)
Bobot total segar (g/kolom)	472 (bc)	456 (c)	468 (bc)	527 (abc)	531 (abc)	462 (c)	524 (abc)	599 (a)	544 (ab)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	40,8 (abc)	27,5 (c)	40,9 (abc)	42,2 (abc)	30,4 (ab)	46,9 (ab)	48,4 (a)	37,7 (abc)	51,8 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	3,5 (a)	3,4 (a)	4,2 (a)	3,6 (a)	3,8 (a)	3,5 (a)	3,6 (a)	3,3 (a)	4,2 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	44,3 (abc)	31,0 (c)	45,1 (abc)	45,9 (abc)	34,1 (bc)	50,5 (ab)	52,1 (a)	41,1 (abc)	56,1 (a)
Total air lindian (l)	2,70 (a)	2,73 (a)	2,79 (a)	2,20 (a)	1,66 (a)	2,52 (a)	2,62 (a)	2,34 (a)	2,91 (a)
Kebutuhan air tanaman (l)	22,1 (a)	22,1 (a)	22,1 (a)	22,6 (a)	23,2 (a)	22,3 (a)	22,2 (a)	22,5 (a)	21,9 (a)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,84 (ab)	1,22 (b)	1,84 (ab)	1,86 (ab)	1,30 (b)	2,10 (a)	2,17 (a)	1,67 (ab)	2,35 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,09 (a)	0,09 (a)	0,09 (a)	0,08 (bc)	0,08 (bc)	0,07 (cd)	0,05 (e)	0,06 (de)	0,05 (e)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,81 (ab)	1,30 (d)	0,89 (e)	2,02 (a)	1,51 (cd)	0,88 (e)	2,01 (a)	1,72 (bc)	1,04 (e)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

Hasil analisis varian (Anova) tiga faktor (M*K*P) pada Tabel 27 menunjukkan bahwa pengaruh media, pupuk kompos serta populasi tanaman sebagai 3 faktor berpengaruh sangat nyata pada semua parameter yang diamati kecuali bobot akar kering. Parameter yang tidak berbeda nyata tidak dianalisis HSD Tukey lebih lanjut.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Berdasarkan hasil sidik ragam Tabel 28 terdapat interkasi 3 faktor antara media (M), kompos (K) dan populasi (P) pada semua parameter yang diamati.. Kombinasi 3 faktor yang mempunyai nilai tertinggi untuk bobot hasil ekonomi adalah $M_3K_3P_2$ dan terendah $M_1K_1P_2$. Parameter bobot hasil ekonomi kering tertinggi adalah $M_3K_3P_3$ dan terendah $M_1K_1P_2$. Parameter kebutuhan air tertinggi adalah $M_2K_2P_2$ dan terendah $M_1K_1P_2$. Parameter efisiensi penggunaan pupuk tertinggi adalah $M_3K_1P_3$ dan terendah $M_1K_3P_3$. Parameter efisensi penggunaan lahan tertinggi adalah $M_3K_2P_1$ dan terendah $M_1K_1P_3$. Kombinasi yang dipilih dari 3 faktor keragaman ini terbaik adalah $M_3K_3P_2$.

Tabel 27. Anova pengaruh kombinasi 3 faktor (M*K*P) terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M*K*P	CF
Tinggi tanaman (cm)	**	7,49
Jumlah daun (lembar)	**	5,02
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	**	9,81
Bobot akar segar (g/kolom)	**	17,68
Bobot total segar (g/kolom)	**	9,81
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	**	27,06
Bobot akar kering (g/kolom)	NS	36,64
Bobot total kering (g/kolom)	**	26,34
Total air lindian (l)	**	31,53
Kebutuhan air tanaman (l)	**	3,52
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	**	26,43
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	**	12,02
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	**	10,49
Jumlah **	12	-
Jumlah *	0	-
Jumlah NS	1	-

Keterangan:
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

Peningkatan nilai efisiensi penggunaan air dapat memanipulasi pembilang (produksi) dan penyebut (penggunaan air), dengan meningkatkan produksi dan membatasi kebutuhan air maka akan meningkatkan efisiensi. Kebutuhan air sudah tidak dapat ditekan lagi, yang masih mungkin peningkatan produksi lewat kesuburan kimiawi khususnya Nitrogen. Nilai efisiensi 2,3 g/kg pada percobaan ini lebih bagus dibanding hasil Downes (1969) cit Singh & Sinha (1977) untuk tanaman Dicotyledonae C_4 sebesar 3,44 dan C_3 hanya 1,59 mg/g. Selada keriting termasuk C_3 yang hasil konsumsi segar penelitian ini masih sepertiga dari hasil normal.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 28. Pengaruh kombinasi tiga faktor (M*K*P) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M	P	K_1	K_2	K_3	Inter-aksi
		P_1	374 (cd)	474 (abcd)	493 (abcd)	
	M_1	P_2	348 (d)	517 (abc)	524 (abc)	
		P_3	434 (bcd)	451 (abcd)	469 (abcd)	
Bobot hasil		P_1	473 (abcd)	526 (abc)	502 (abc)	
ekonomi	M_2	P_2	513 (abc)	510 (abc)	594 (a)	+
		P_3	462 (abcd)	419 (bcd)	538 (ab)	
		P_1	516 (abc)	517 (abc)	515 (abc)	
	M_3	P_2	440 (abcd)	488 abcd)	600 (a)	
		P_3	439 (bcd)	454 (abcd)	554 (ab)	
		P_1	40,9 (ab)	39,5 (ab)	48,3 (ab)	
	M_1	P_2	15,5 (b)	26,9 (ab)	31,0 (ab)	
		P_3	38,7 (ab)	42,1 (ab)	39,8 (ab)	
Bobot hsl		P_1	27,6 (ab)	43,2 (ab)	45,5 (ab)	
ekonomi kering	M_2	P_2	30,0 (ab)	33,9 (ab)	38,2 (ab)	+
		P_3	39,3 (ab)	44,6 (ab)	57,2 (a)	
		P_1	53,8 (a)	44,0 (ab)	51,4 (ab)	
	M_3	P_2	37,0 (ab)	30,6 (ab)	43,8 (ab)	
		P_3	44,6 (ab)	54,1 (a)	58,4 (a)	
		P_1	21,5 (ab)	22,7 (a)	22,8 (a)	
	M_1	P_2	20,0 (b)	23,4 (a)	22,8 (a)	
		P_3	21,7 (ab)	22,0 (ab)	21,1 (ab)	
		P_1	22,5 (ab)	23,1 (a)	22,1 (ab)	
Kebutuhan air	M_2	P_2	23,6 (a)	23,7 (a)	22,5 (ab)	+
		P_3	22,8 (a)	22,0 (ab)	21,4 (ab)	
		P_1	22,8 (a)	22,0 (ab)	21,7 (ab)	
	M_3	P_2	22,8 (a)	22,5 (ab)	22,3 (ab)	
		P_3	21,6 (ab)	21,9 (ab)	22,6 (a)	
		P_1	1,90 (abc)	1,74 (abc)	2,10 (abc)	
	M_1	P_2	0,78 (c)	1,13 (bc)	1,35 (abc)	
		P_3	1,77 (abc)	1,91 (abc)	1,82 (abc)	
Efisiensi		P_1	1,22 (abc)	1,86 (abc)	2,05 (abc)	
penggunaan air	M_2	P_2	1,26 (abc)	1,42 (abc)	1,69 (abc)	+
		P_3	1,71 (abc)	1,92 (abc)	2,67 (a)	
		P_1	2,30 (ab)	1,99 (abc)	2,36 (ab)	
	M_3	P_2	1,62 (abc)	1,36 (abc)	1,96 (abc)	
		P_3	2,04 (abc)	2,46 (ab)	2,57 (ab	
		P_1	0,078 bcdefg	0,075 bcdefgh	0,052 (gh)	
	M_1	P_2	0,073 bcdefgh	0,081 (abcdef)	0,055 (efgh)	
		P_3	0,091 (abcd)	0,071 bcdefgh	0,049 (h)	
Efisiensi		P_1	0,099 (ab)	0,083 (abcde)	0,054 (efgh)	
penggunaan	M_2	P_2	0,108 (a)	0,081 (abcdef)	0,062 (defgh)	+
pupuk		P_3	0,097 (ab)	0,066 (cdefgh)	0,056 (efgh)	

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lanjutan Tabel 28

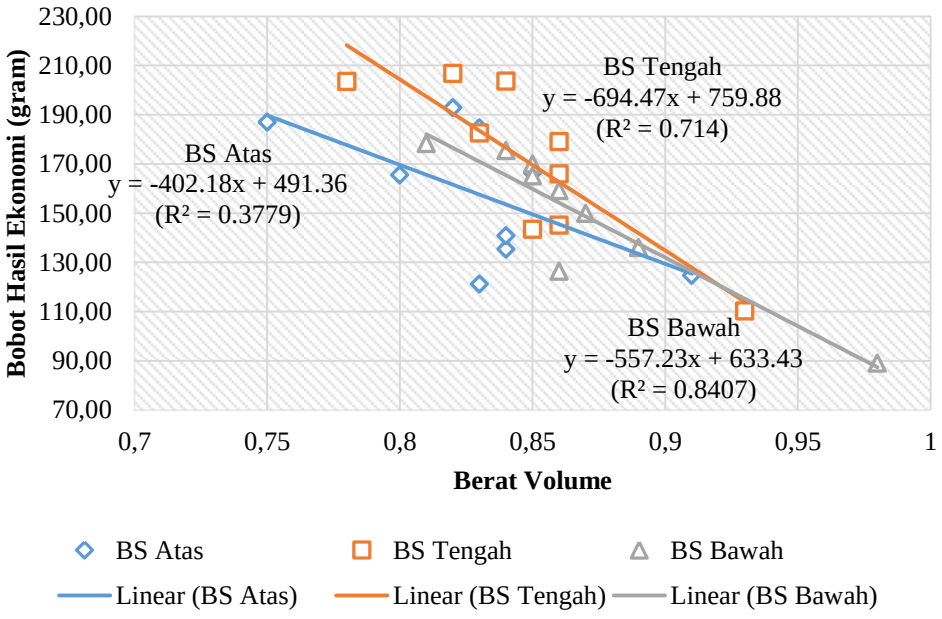
Efisiensi penggunaan lahan	M_3	P_1	0,108 (a)	0,081 (abcdef)	0,053 (fgh)	
		P_2	0,092 (abc)	0,077 bcdefgh	0,063 (defgh)	
		P_3	0,092 (abc)	0,072 bcdefgh	0,058 (efgh)	
	M_1	P_1	1,49 (b)	1,89 (ab)	1,97 (a)	
		P_2	1,04 (bc)	1,55 (b)	1,57 (b)	
		P_3	0,87 (c)	0,90 (c)	0,93 (c)	
	M_2	P_1	1,89 (ab)	2,10 (a)	2,01 (a)	
		P_2	1,54 (b)	1,53 (b)	1,80 (ab)	+
		P_3	0,92 (c)	0,84 (c)	1,08 (bc)	
	M_3	P_1	2,06 (a)	2,07 (a)	2,06 (a)	
		P_2	1,32 bc)	1,46 (b)	1,80 (ab)	
		P_3	0,88 (c)	0,91 (c)	1,11 (c)	

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

4.4. Pengaruh *over burdened* terhadap hasil dan pertumbuhan selada keriting pada pertanaman vertikal

Pengaruh beban media dalam kolom didekati dengan pengukuran BV media dan hasil tanaman untuk setiap level kolom yaitu bagian atas, tengah dan bawah. Hubungan tersebut digambarkan dalam bentuk regresi seperti Gambar 13.

Gambar 16 menunjukkan regresi linear antara berat volume campuran media dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi bagian atas (R^2) sebesar 0,37. Hal ini berarti 37% perubahan variabel (Y) berat hasil ekonomi dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media bagian atas. BV bagian atas lebih becil dari BV bagian bawahnya.



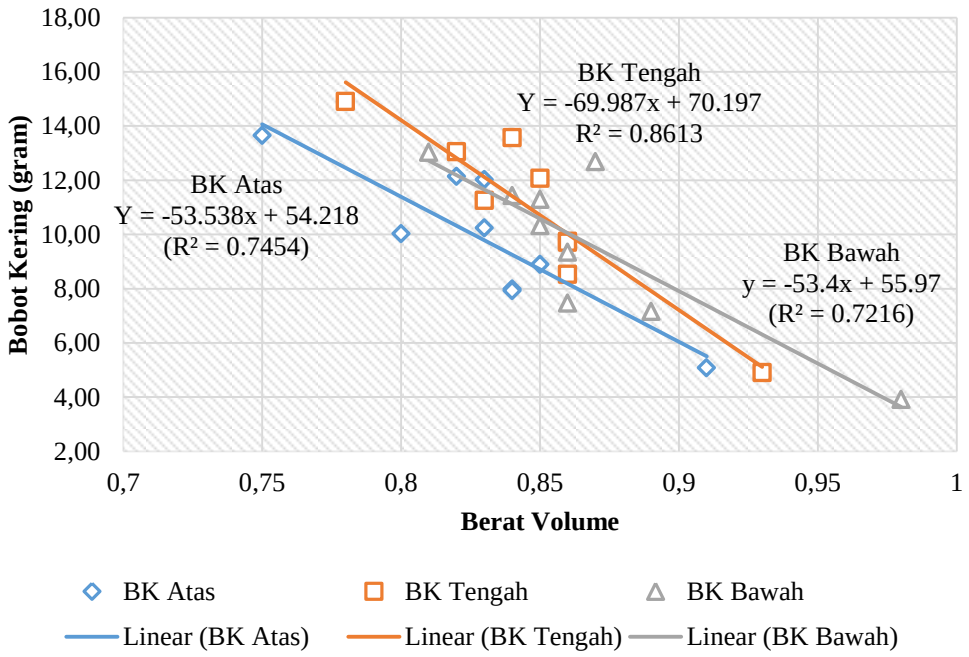
Gambar 16. Regresi BV dengan bobot hasil ekonomi bagian atas, tengah dan bawah kolom vertikal

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Regresi linear antara berat volume campuran media dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,71 Hal ini berarti 71% perubahan variabel (Y) berat hasil ekonomi bagian tengah dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media bagian tengah.

Regresi linear antara BV campuran media bagian tengah dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,84 Hal ini berarti 84% perubahan variabel (Y) bobot hasil ekonomi kering dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) BV media bagian bawah.

Gambar 17 menunjukkan regresi linear antara berat volume campuran media dengan bobot hasil ekonomi selada keriting pada bagian atas menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,74. Hal ini berarti 74% perubahan variabel (Y) berat hasil ekonomi kering bagian atas dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media bagian atas.



Gambar 17. Regresi BV dengan bobot hasil ekonomi kering bagian atas, tengah dan bawah kolom vertikal

Regresi linear antara berat volume campuran media dengan bobot hasil ekonomi kering selada keriting bagian tenganh menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,86. Hal ini berarti 86% perubahan variabel (Y) berat hasil ekonomi bagian tengah dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media bagian tengah. Regresi linear antara berat volume campuran media dengan

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bobot hasil ekonomi kering selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,72. Hal ini berarti 72% perubahan variabel (Y) berat hasil ekonomi bagian bawah dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media bagian bawah.

Gambar 16 - 17 menunjukkan hubungan linear antara BV dengan bobot hasil ekonomi bagian atas, tengah, dan bawah bersifat negatif, makin tinggi BV makin rendah bobot hasil ekonomi. Perbandingan BV bagian atas - tengah - bawah ada kecenderungan makin ke bawah BV media makin besar dan juga diikuti makin ke bawah makin menurun hasil konsumsi segar. Pola yang sama juga terjadi pada hasil bobot hasil ekonomi kering.

5. Uji Efisiensi Radiasi Pada Sistem Pertanaman Vertikal

Ujicoba pengaruh radiasi didekati dengan menanam pada musim tanam yang berbeda sehingga faktor radiasi tergantung keadaan cuaca pada saat penelitian, upaya yang dilakukan adalah menanam saat musim kemarau, awal musim hujan dan saat musim hujan. Hasil yang diharapkan bahwa perbedaan musim tanam berbeda intensitas radiasi, sehingga berbeda hasil tanaman selada.

Tabel 29. Tabulasi anova dan koefisien variasi antar perlakuan (M*K*R)

Parameter	Blok	M	K	R	M*K	M*R	K*R	M*K*R	CF
Tinggi tanaman	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	16,5
Jumlah daun	NS	NS	*	**	NS	NS	NS	NS	8,9
Bobot hasil ekonomi	*	**	**	**	NS	NS	NS	NS	20,0
Bobot akar segar	**	**	**	**	NS	NS	NS	NS	12,7
Bobot segar total	NS	**	**	**	NS	NS	NS	NS	19,7
Bobot kering	**	**	**	**	NS	NS	NS	NS	23,6
Bobot akar kering	NS	**	NS	**	NS	NS	NS	NS	32,8
Bobot kering total	**	**	NS	**	NS	NS	NS	NS	23,5
Total air lindian	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	14,6
Kebutuhan air	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	5,7
Efisiennsi air	**	**	**	**	NS	NS	NS	NS	21,0
Efisiensi pupuk	*	**	**	**	NS	NS	NS	NS	21,3
Efisiensi lahan	^	**	**	**	NS	NS	NS	NS	19,9
Efisiensi radiasi	**	**	*	**	NS	NS	NS	NS	25,5
N. Trubus	*	**	**	**	NS	NS	NS	NS	13,9
N. Akar	*			**	NS	NS	NS	NS	24,4
Jumlah **	5	12	7	15	0	2	2	1	
Jumlah *	6	0	6	1	0	1	0	1	
Jumlah NS	5	4	3	0	16	13	14	14	

Keterangan:
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

Data Tabel 29 menunjukkan bahwa pengaruh campuran media dan pupuk kompos serta radiasi matahari terhadap pertumbuhan tanaman berbeda sangat

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

nyata pada sebagian besar parameter yang diamati: pertumbuhan tanaman:jumlah daun, tingggi tanaman, bobot segar konsumsi, bobot akar dan bobot total serta bobot kering, kebutuhan air serta nilai efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan. Hasil analisis varian dan koefisien variasi antar perlakuan dapat diringkas dalam Tabel 24 dan foto tanaman Lampiran 9 dan anova Lampiran 12.

5.1. Pengaruh media terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Hasil analisis *honest significant difference* (HSD) antar perlakuan dalam Tabel 30 tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun bobot basah, dan bobot total media yang terbaik adalah M_3.

Tabel 30. Pengaruh campuran abu vulkan dibanding arang sekam terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan efisiensi

Parameter	M_1	M_2	M_3
Tinggi tanaman (cm)	25,62 (b)	28,07 (a)	28,76 (a)
Jumlah daun (lembar)	11,14 (c)	11,74 (b)	12,18 (a)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	454,25 (b)	504,67 (a)	502,93 (a)
Bobot akar segar (g/kolom)	20,37 (b)	23,85 (a)	23,22 (a)
Bobot total segar (g/kolom)	474,63 (b)	528,52 (a)	526,16 (a)
Bobot kering (g/kolom)	35,89 (b)	39,99 (ab)	46.46 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	2,93 (b)	4,04 (a)	4,21 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	38,83 (b)	43,99 (ab)	50,67 (a)
Total air lindian (l)	2,57 (a)	2,09 (b)	2,64 (a)
Kebutuhan air tanaman (ml)	22,14 (b)	22,80 (a)	22,25 (a)
Efisiennsi penggunaan air ($g.kg^{-1}$)	1,61 (b)	1,76 (a)	2,08 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk ($kg.kg^{-1}$)	0,069 (b)	0,077 (a)	0,078 (a)
Efisiensi penggunaan lahan ($kg.m^{-2}$)	1,36 (b)	1,52 (a)	1,51 (a)
Efisiensi radiasi ($g.MJ^{-1}$)	0,08 (b)	0,08 (b)	0,11 (a)
N total trubus (%)	1,03 (c)	1,17 (b)	1,32 (a)
N total akar (%)	0,49 (c)	0,61 (b)	0,74 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

5.2. Pengaruh kompos terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Hasil analisis *Honest Significant Difference* (HSD) antar perlakuan dalam Tabel 32 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran kompos berbeda sangat nyata, kecuali tinggi tanaman, Bobot akar kering, Bobot akar kering total, dan kebutuhan air.

5.3. Pengaruh radiasi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Hasil analisis *Honest Significant Difference* (HSD) antar perlakuan dalam Tabel 32 menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh radiasi berbeda sangat nyata, kecuali bobot akar kering.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 31. Pengaruh takaran kompos terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	K_1	K_2	K_3
Tinggi tanaman (cm)	25,70 (b)	26,85 (b)	29,91 (a)
Jumlah daun (lembar)	11,14 (c)	11,70 (b)	12,22 (a)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	444,63 (c)	484,17 (b)	532,65 (a)
Bobot akar segar (g/kolom)	21,34 (a)	22,74 (a)	23,35 (a)
Bobot total segar (g/kolom)	465,97 (c)	507,32 (b)	556,01 (a)
Bobot kering (g/kolom)	35,89 (b)	39,99 (ab)	46.46 (a)
Bobot akar kering (g/kolom)	3.75 (a)	3,74 (a)	3.68 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	40,17 (b)	43,55 (ab)	49,77 (a)
Total air lindian (l)	2,13 (b)	2,74 (a)	2,62 (a)
Kebutuhan air tanaman (l)	22,15 (b)	22,27 (ab)	22,76(a)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,63 (b)	1,75 (ab)	2,06 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,056 (c)	0,076 (b)	0,093 (a)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,33 (c)	1,47 (b)	1,59 (a)
Efisiensi Radiasi (g/MJ)	0,08 (b)	0,09 (ab)	0,10 (a)
N total trubus (%)	1,06 (b)	1,08 (b)	1,35 (a)
N total akar (%)	0,54 (b)	0,60 (b)	0,71 (a)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

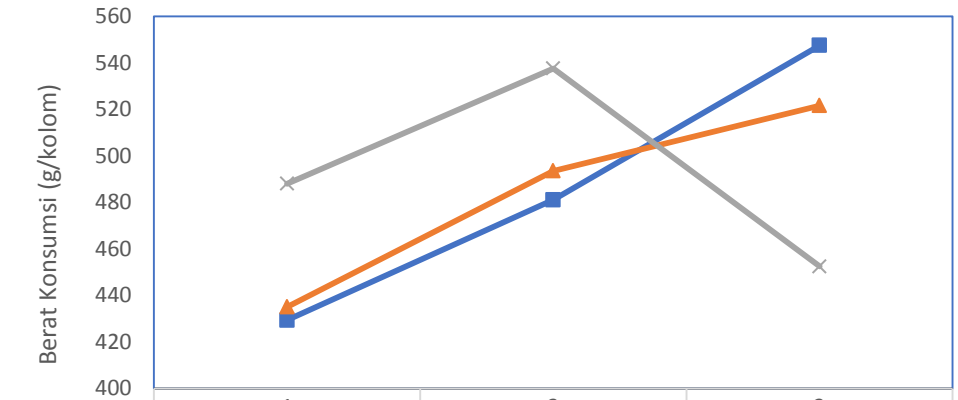
Tabel 32. Pengaruh radiasi matahari terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	R_1	R_2	R_3
Tinggi tanaman (cm)	25,72 (b)	28,75 (a)	27,97 (a)
Jumlah daun (lembar)	11,00 (b)	11,96 (a)	12,11 (a)
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	488,1 (ab)	537,6 (a)	452,5 (b)
Bobot akar segar (g/kolom)	19,9 (b)	23,5 (a)	16,0 (b)
Bobot total segar (g/kolom)	508,1 (b)	561,2 (a)	468,4 (c)
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	36,8 (a)	42,9 (a)	24,5 (b)
Bobot akar kering (g/kolom)	3,6 (a)	2,6 (a)	1,6 (a)
Bobot total kering (g/kolom)	40,4 (b)	45,5 (a)	26,1 (c)
Total air lindian (l)	2,51 (a)	2,24 (a)	2,74 (a)
Kebutuhan air tanaman (l)	22,23 (a)	22,65 (a)	22,15 (a)
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	1,95 (a)	1,40 (b)	2,10 (a)
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	0,076 (a)	0,077 (a)	0,072 (a)
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	1,95 (b)	2,15 (a)	0,93 (c)
Efisiensi Radiasi (g/MJ)	0,11 (b)	0,17 (a)	0,06 (c)
N total trubus (%)	1,5 (a)	0,9 (b)	0,9 (b)
N total akar (%)	0,8 (a)	0,04 (b)	0,05 (b)

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD 5%.

Pengaruh media, kompos dan radiasi pada Gambar 18 menunjukkan bahwa pengaruh media dan kompos makin tinggi takaran makin baik bobot hasil ekonomi, pengaruh media dan kompos perlakuan 25% arang sekam dan 50% kompos memberikan hasil yang paling baik, dengan nilai 547 g/kolom untuk media dan 521 g/kolom untukkompos. Pengaruh radiasi matahari terhadap bobot hasil ekonomi terbaik pada radiasi matahari yang rendah pada bulan Nopember – Desember dengan hasil 537 g/kolom.

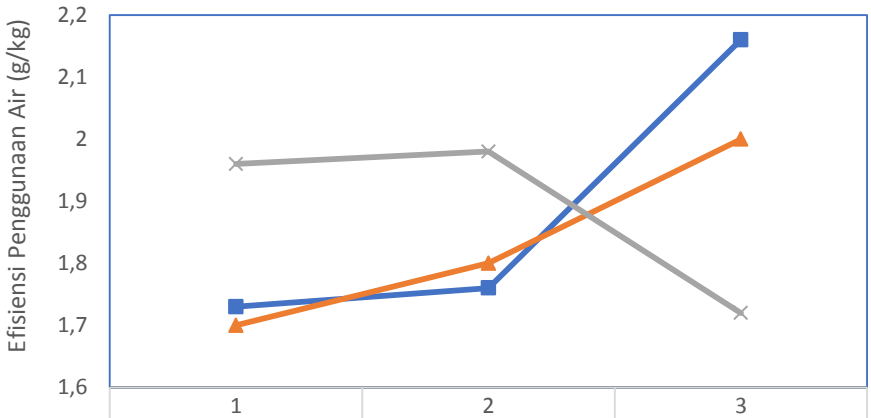
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



	1	2	3
Media	429,4	481,1	547,5
Kompos	435,1	493,6	521,6
Radiasi	488,1	537,6	452,5

Gambar 18. Pengaruh media, kompos dan radiasi terhadap bobot hasil ekonomi (g/kolom).

Pengaruh media, kompos dan radiasi pada Gambar 19 menunjukkan bahwa pengaruh media dan kompos makin tinggi takaran makin baik terhadap efisiensi penggunaan air, pengaruh media dan kompos perlakuan 25% arang sekam (M_3) dan 50% kompos (K_3) memberikan hasil yang paling baik, dengan nilai 2,16 g/kg untuk media dan 2,0 g/kg untuk kompos. Pengaruh radiasi matahari terhadap efisiensi penggunaan air terbaik pada radiasi matahari yang rendah pada bulan Nopember –Desember dengan nilai efisiensi 1,98 g/kg, amun tidak berbeda dengan September – Oktober dengan nilai efisiensi 1,96 g/kg, dan yang terendah bulan Januari – Februari dengan nilai efisiensi 1,72 g/kg.

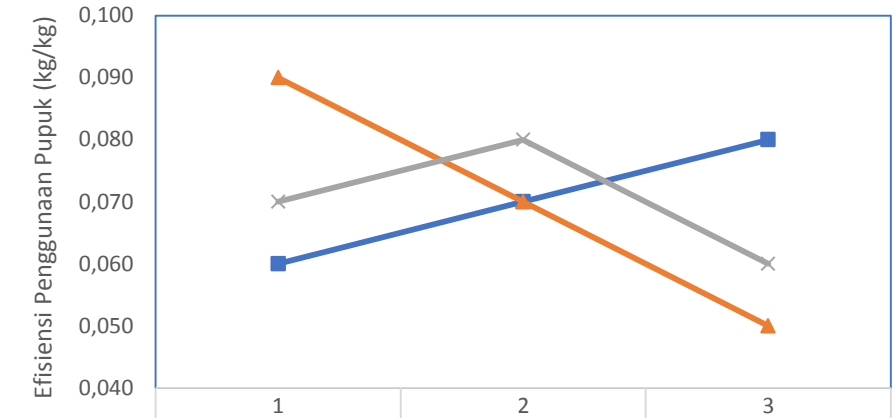


	1	2	3
Media	1,73	1,76	2,16
Kompos	1,7	1,8	2
Radiasi	1,96	1,98	1,72

Gambar 19. Pengaruh media, kompos dan radiasi terhadap efisiensi penggunaan air (g/kg).

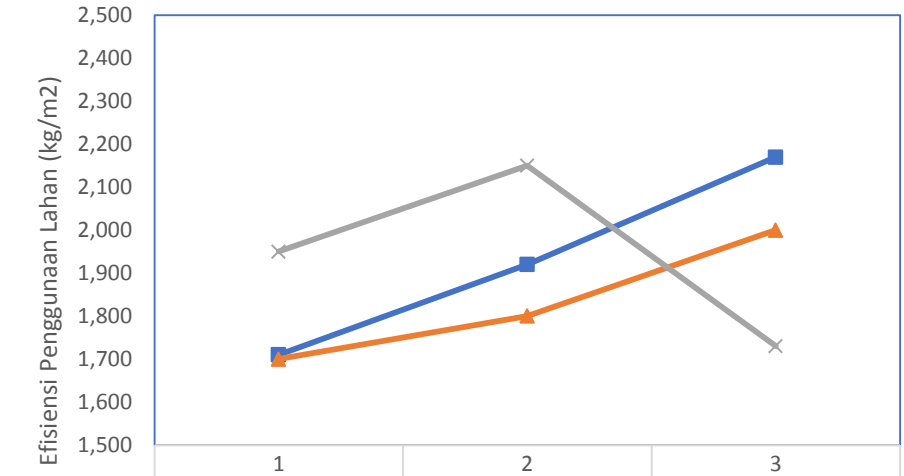
UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pengaruh media, kompos dan radiasi pada Gambar 20 menunjukkan bahwa pengaruh arang sekam pada media makin tinggi takaran makin baik terhadap efisiensi penggunaan pupuk, pengaruh arang sekam perlakuan 25% (M_3) memberikan hasil yang paling baik 0,08 kg/kg, dan 25% kompos (K_1) memberikan hasil yang paling baik, dengan nilai 0,09 g/kg untuk untuk kompos. Pengaruh radiasi matahari terhadap efisiensi penggunaan pupuk terbaik pada radiasi terendah bulan Nopember – Desember dengan nilai 0,08 kg/kg.



	1	2	3
Media	0,06	0,07	0,08
Kompos	0,09	0,07	0,05
Radiasi	0,07	0,08	0,06

Gambar 20. Pengaruh media, kompos dan radiasi terhadap efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg).

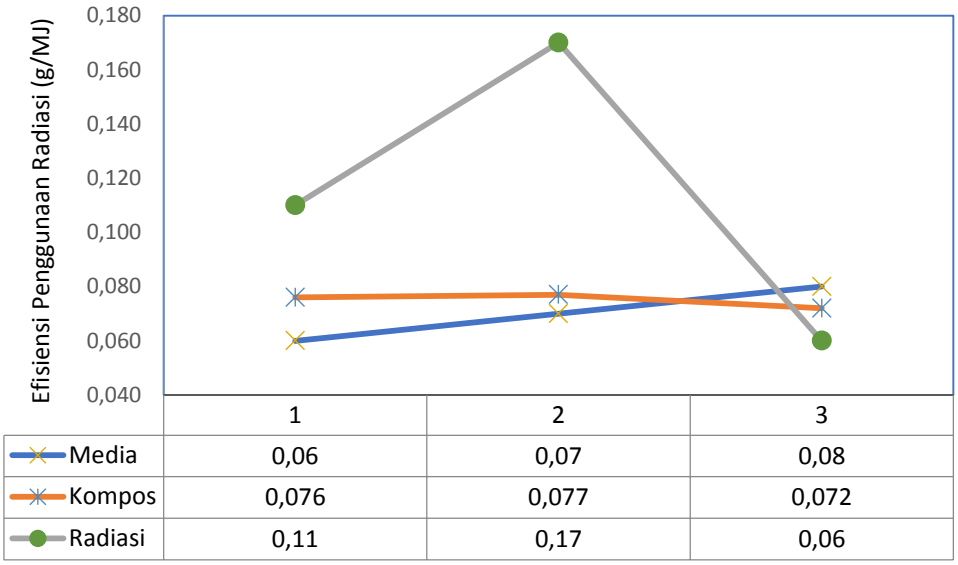


	1	2	3
Media	1,71	1,92	2,17
Kompos	1,7	1,8	2
Radiasi	1,95	2,15	1,73

Gambar 21. Pengaruh media, kompos dan radiasi terhadap efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pengaruh media, kompos dan radiasi pada Gambar 21 menunjukkan bahwa pengaruh media dan kompos makin tinggi takaran makin baik efisiensi penggunaan lahan, pengaruh media dan kompos perlakuan 25% arang sekam dan 50% kompos memberikan hasil yang paling baik, dengan nilai 2,17 kg/m^2 untuk media dan 2,0 kg/m^2 untuk kompos. Pengaruh radiasi matahari terhadap efisiensi penggunaan lahan terbaik pada radiasi matahari yang rendah pada bulan Nopember–Desember dengan hasil 2,15 kg/m^2.



	1	2	3
Media	0,06	0,07	0,08
Kompos	0,076	0,077	0,072
Radiasi	0,11	0,17	0,06

Gambar 22. Pengaruh media, kompos dan radiasi terhadap efisiensi penggunaan radiasi (g/MJ).

Efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan juga tertinggi pada M_3K_3. dengan nilai efisiensi air 2,2 g/kg, efisiensi pupuk 0,11 kg/kg dan efisiensi lahan 2,0 kg/m2. Hasil pengukuran dan perhitungan intensitas radiasi selama musim tanam (35 hari) berturut-turut sebagai berikut : M_1 = 400 MJ, M_2 = 269 MJ dan M_3 = 359 MJ. Hasil selada konsumsi kering tertinggi pada musim kedua (M_2) sebesar 42,9,8 g, M_1 = 36,8 g dan M_3 = 24,5 g. Nilai efisiensi pemanfaatan radiasi matahari tertinggi diperoleh pada musim tanam 2 = 0,17 g/MJ, berikutnya musim tanam 1 = 0,11 g/MJ dan terendah musim tanam 3 = 0,06 g/MJ.

Peningkatan nilai efisiensi penggunaan air dapat memanipulasi pembilang (produksi) dan penyebut (penggunaan air), dengan meningkatkan produksi dan membatasi kebutuhan air maka akan meningkatkan efisiensi. Kebutuhan air sudah tidak dapat ditekan lagi, yang masih mungkin peningkatan produksi lewat kesuburan kimiawi khususnya Nitrogen.

Hasil analisis varian (Anova) dua faktor (M*K*P) pada Tabel 33 menunjukkan bahwa pengaruh media, pupuk kompos serta radiasi matahari

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sebagai 2 faktor (MK) berpengaruh sangat nyata pada semua parameter yang diamati kecuali tinggi tanaman, total air lindian dan kebutuhan air. Kombinasi (MR) berpangaruh sangat nyata pada semua parameter yang duamati kecuali : efisiensi penggunaan air. Kombinasi (KR) semua parameter tidak berbeda nyata kecuali N trubus dan akar.

Tabel 33. Anova pengaruh kombinasi dua faktor terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman

Parameter	Blok	MK	MR	KR	CF
Tinggi tanaman (cm)	NS	NS	**	NS	17,6
Jumlah daun (lembar)	NS	*	**	NS	9,1
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	*	**	**	NS	20,8
Bobot akar segar (g/kolom)	**	**	**	NS	33,1
Bobot total segar (g/kolom)	*	**	**	NS	20,4
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	**	**	**	NS	24,5
Bobot akar kering (g/kolom)	NS	*	**	NS	22,5
Bobot total kering (g/kolom)	**	**	**	NS	24,4
Total air lindian (l)	NS	NS	**	NS	16,8
Kebutuhan air tanaman (l)	NS	NS	**	NS	6,6
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	**	**	NS	NS	21,5
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	*	**	*	NS	25,3
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	*	**	**	NS	20,8
Efisiensi Radiasi (g/MJ)	**	**	**	NS	25,3
N total trubus (%)	NS	**	**	**	15,4
N total akar (%)	*	**	**	**	25,2
Jumlah **	5	11	14	2	-
Jumlah *	5	2	1	0	-
Jumlah NS	6	3	1	14	-

Keterangan :
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

Hasil sidik ragam (Tabel 34) menunjukkan bahwa terdapat interaksi pada perlakuan media dengan kompos di semua perlakuan, kecuali pada bobot akar kering dan kebutuhan air. Pada parameter tinggi tanaman, perlakuan M_3K_3 mempunyai nilai paling tinggi, namun tidak berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan yang lain, kecuali dengan perlakuan abu vulkan M_2K_1 yang merupakan hasil tinggi tanaman terendah. Jumlah daun tertinggi terdapat pada kombinasi M_2K_3 namun tidak berbeda nyata juga dengan kombinasi perlakuan yang lain, kecuali dengan kombinasi perlakuan M_2K_1 yang merupakan jumlah daun paling rendah. Kombinasi M_2K_3 menunjukkan hasil tertinggi pada parameter bobot hasil ekonomi, bobot akar segar dan bobot total segar, sedangkan hasil terendah terdapat pada kombinasi perlakuan M_1K_2. Hasil tertinggi pada parameter bobot hasil ekonomi dan bobot kering total terukur pada kombinasi perlakuan kombinasi perlakuan M_3K_3, sedangkan yang tertendah terukur pada kombinasi perlakuan M_1K_2.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 34. Pengaruh kombinasi media dan kompos (M*K) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M_1K_1	M_2K_1	M_3K_1	M_1K_2	M_2K_2	M_3K_2	M_1K_3	M_2K_3	M_3K_3
Tinggi tanaman	331,2 ab	226,7 b	332,5 ab	331,2 ab	330,3 ab	331,7 ab	330,2 ab	332,7 ab	335,5 a
Jumlah daun	112,2 ab	111,2 b	112,0 ab	112,0 ab	112,2 ab	112,9 ab	111,8 ab	113,1 a	113,0 ab
Bobot hasil ekonomi	404,4 cd	411,0 bcd	472,8 abcd	394,3 d	485,1 abcd	564,0 ab	506,6 abcd	584,8 a	551,9 abc
Bobot akar segar	17,9 bc	18,8 bc	19,7 abc	13,4 c	18,7 bc	20,2 ab	22,5 ab	25,7 a	21,8 ab
Bobot total segar	422,3 cd	429,9 bcd	492,5 abcd	407,7 d	503,0 abcd	584,2 ab	529,1 abcd	610,4 a	573,7 abc
Bobot Konsum si kering	27,6 ab	26,9 ab	33,6 ab	24,5 b	29,5 ab	32,3 ab	a6,6 a	35,8 ab	38,0 a
Bobot akar kering	2,2 a	2,4 a	2,3 A	2,1 a	2,7 a	3,0 a	3,4 a	3,2 a	2,8 a
Bobot total kering	29,8 ab	28,2 ab	25,9 ab	27,0 b	31,9 ab	35,4 ab	40,0 a	39,0 ab	40,8 a
Kebutuhan air	16,23 a	16,79 a	16,19 a	15,86 a	16,95 a	16,79 a	16,61 a	17,17 a	16,77 a
Efisiennsi air	1,6 ab	1,5 b	2,0 ab	1,6 ab	1,6 ab	1,9 ab	2,1 ab	2,1 ab	2,2 a
Efisiensi pupuk	0.086 abc	0,065 cde	0,050 e	0,082 bcd	0,075 bcd	0,058 de	0,107 a	0,092 ab	0,058 de
Efiseiensi lahan	1,61 cd	1,64 bcd	1,89 abcd	1,57 d	1,93 abcd	2,25 ab	2,02 abcd	2,34 a	2,20 abc
Efisiensi Radiasi	0,08 abc	0,07 bc	0,10 ab	0,06 c	0,08 abc	0,09 abc	0,10 ab	0,10 ab	0,11 a
N total trubus	0,92 d	1,00 cd	1,17 bcd	1,08 cd	1,00 cd	1,43 ab	1,19 bc	1,23 bc	1,55 a
N total akar	0,37 c	0,51 bc	0,58 abc	0,50 bc	0,59 abc	0,73 ab	0,79 ab	0,69 ab	0,81 a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

Efisiensi penggunaan air tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_3K_3, sedangkan terendah pada kombinasi M_2K_1. Efisiensi penggunaan pupuk tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_1K_3 dan terendah pada M_3K_1. Efisiensi penggunaan lahan tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_2K_3 dan yang terendah M_1K_2. Efisiensi terhadap radiasi tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_3K_3 dan yang terendah pada M_2K_1. Kadar hara N total pada trubus dan akar tertinggi terdapat ada kombinasi perlakuan M_3K_3, sedangkan yang terendah terukur pada kombinasi perlakuan M_1K_1. Berdasarkan hasil analisis tersebut dapat diketahui bahwa secara umum hasil tertinggi terdapat pada perlakuan K_3, yaitu perlakuan penggunaan kompos yang paling banyak. Hal tersebut menunjukkan bahwa hara pada abu vulkan belum siap digunakan untuk pertumbuhan tanaman, sehingga tergantung pada ketersediaan hara pada kompos. Namun demikian kombinasi antara abu vulkan dan arang sekam dapat dimanfaatkan sebagai media tanam dengan penambahan kompos sebagai sumber hara.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 35. Pengaruh kombinasi media dan radiasi (M*R) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M_1R_1	M_1R_2	M_1R_3	M_2R_1	M_2R_2	M_2R_3	M_3R_1	M_3R_2	M_3R_3
Tinggi tanaman	24,9 d	37,2 ab	28,2 cd	28,1 cd	35,7 abc	29,5 bcd	28,2 cd	37,8 a	32,3 abcd
Jumlah daun	10,8 c	14,0 a	11,2 c	11,1 c	13,8 ab	12,1 bc	11,6 c	14,1 a	12,2 bc
Bobot konsum-si sgr	447,4 bc	478,9 bc	361,9 c	500,5 abc	488,8 bc	453,7 bc	516,2 ab	645,2 a	481,9 bc
Bobot akar segar	19,1 bcd	23,2 ab	14,1 d	19,1 bcd	17,7 bcd	15,3 cd	21,2 b	29,8 a	18,8d b
Bobot total segar	466,5 bc	502,2 bc	376,0 c	520,2 bcd	506,5 bc	469,0 bc	537,5 ab	675,1 a	500,7 bc
Bobot Kon-sumsi kring	42,9 ab	25,0 de	20,2 e	38,8 abc	24,2 de	23,0 de	49,7 a	33,6 bcd	27,1 cde
Bobot akar kering	2,8 bcd	2,5 cd	1,6 d	3,8 ab	2,3 cd	1,8 d	4,1 a	3,1 abc	2,1 cd
Bobot total kering42,7	45,7 ab	26,4 cd	21,9 d	42,7 ab	26,9 cd	21,8 cd	52,9 a	36,7 bc	29,3 cd
Kebutuhan air	22,40 a	13,66 b	13,15 b	22,64 a	13,50 b	13,46 b	22,12 a	14,36 b	14,08 b
Efisiensi air	1,9 abc	1,8 abc	1,5 c	1,7 abc	1,7 abc	1,6 bc	2,2 ab	2,3 a	1,9 abc
Efisiensi ppk	0,07 b	0,07 b	0,05 b	0,07 b	0,07 b	0,06 b	0,08 ab	0,10 a	0,07 b
Efisiensi Lahan	1,8 bc	1,9 bc	1,4 c	2,0 abc	1,9 bc	1,8 bc	2,0 ab	2,6 a	1,9 bc
Efisiensi radiasi	0,10 ab	0,08 bcd	0,06 d	0,09 abc	0,08 bcd	0,06 cd	0,12 a	0,12 a	0,07 bcd
N total trubus	1,25 c	0,90 d	0,94 d	1,56 b	0,96 d	0,99 cd	1,89 a	1,02 cd	1,05 cd
N total akar	0,58 bcd	0,36 d	0,53 cd	0,80 b	0,48 cd	0,55 cd	1,04 a	0,59 bc	0,59 bc

Keterangan: Angka yang diikuti hduruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

Tabel 36 menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan media tanam M_3 dan radiasi matahari R_2 memberikan hasil tertinggi pada parameter tinggi tanaman, sedangkan yang terrendah terdapat pada kombinasi perlakuan M_1R_1. Kondisi yang sama juga ditemukan pada parameter jumlah daun. Kombinasi M_3R_2 juga memberikan hasil tertinggi pada parameter bobot hasil ekonomi, bobot akar segar, dan bobot total segar, sedangkan hasil terendah terdapat pada kombinasi perlakuan M_1R_2. Pada parameter bobot konsumsi kering, bobot akar kering, dan bobot total kering hasil tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_3R_1, sedangkan terendah pada kombinasi perlakuan M_1R_2.

Hasil sidik ragam terhadap kebutuhan air tanaman tidak terdapat interaksi antar perlakuan. Kebutuhan air tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_2R_1 yang tidak berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan M_1R_1 dan M_3R_1, namun berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan yang lain. Kebutuhan air terendah terdapat pada kombinasi perlakuan M_1R_3 yang tidak berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan M_1R_2, M_2R_2, M_2R_3, M_3R_2, dan M_3R_3. Dari hasil tersebut dapat

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

diketahui bahwa kebutuhan air tertinggi terdapat pada R_1. Hal ini terkait dengan radiasi matahari yang terjadi, yaitu sebesar 400 MJ.

Efisiensi penggunaan air, pupuk, lahan, dan radiasi matahari teringgi terdapat pada kombinasi perlakuan M_3R_2, sedangkan efisiensi terendah terdapat pada kombinasi perlakuan M_1R_3. Kadar hara N total trubus dan N total akar terrtinggi terdapat pada kombinasi perlakuan M_3R_1, dan yang terendah pada kombinasi perlakuan M_1R_2.

Radiasi matahari yang paling berpengaruh pada Tabel 36 adalah R_2, yaitu sebesar 269 MJ. Hal ini ditunjukkan dari hasil sidik ragam, nilai tertinggi terdapat pada perlakuan R_2 dengan kombinasi media M_3. R_1 berpengaruh paling tinggi pada parameter bobot hasil ekonomi kering, bobot akar kering, bobot total kering, dan N total baik pada trubus maupun akar. Hasil terendah diperoleh pada perlakuan media M_1. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan abu vulkan yang tertinggi akan memberikan hasil terendah pada semua perlakuan.

Kombinasi kompos dan radiasi matahari terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi disajikan pada Tabel 37. Hasil sidik ragam menunjukkan terdapat interaksi antar kombinasi perlakuan, kecuali pada kebutuhan air, efisiensi air, dan N total trubus. Pada parameter tinggi tanaman, hasil tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan K_3R_2 dan terendah K_2R_1. Jumlah daun tertinggi juga terdapat pada kombinasi perlakuan K_3R_2, namun yang terendah pada K_1R_1.

Bobot hasil ekonomi dan bobot total segar tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan K_3R_2, sedangkan bobot akar tertinggi pada kombinasi perlakuan K_2R_2. Dari ketiga kombinasi perlakuan tersebut mempunyai nilai terendah pada kombinasi perlakuan yang sama, yaitu K_1R_3. Pada parameter bobot konsumsi kering, bobot akar kering, dan bobot kering total mempunyai hasil tertinggi pada kombinasi perlakuan K_3R_1, sedangkan yang terendah pada K_1R_3.

Pada parameter kebutuhan air, efisiensi air, dan kadar N total pada trubus tidak ditemukan adanya interaksi antar kombinasi perlakuan. Hasil tertinggi pada parameter kebutuhan air terdapat pada kombinasi perlakuan K_2R_1, yang tidak berbeda nyata secara statistik dengan K_1R_1 dan K_3R_1, namun berbeda nyata dengan K_1R_2, K_1R_3, K_2R_2, K_2R_3, K_3R_2, dan K_3R_3. Hasil dari efisiensi air tidak berbeda nyata secara statistik pada semua kombinasi perlakuan, namun tertinggi ditemukan pada kombinasi perlakuan K_3R_1 dan K_3R_2. Hasil dari kadar N tota trubus tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan K_3R_1 yang berbeda nyata dengan semua kombinasi perlakuan yang ada.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 36. Pengaruh kombinasi kompos dan radiasi (K*R) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	K1R1	K1R2	K1R3	K2R1	K2R2	K2R3	K3R1	K3R2	K3R3
Tinggi tanaman	27,4 cd	37,1 ab	28,1 Cd	25,4 d	35,4 abc	28,9 bcd	28,4 cd	38,2 a	33,0 abcd
Jumlah daun	11,0 d	13,9 ab	11,2 Cd	11,2 cd	13,6 ab	11,7 cd	11,4 cd	14,6 a	12,7 bc
Bobot hasil ekonomi	454,5 b	464,2 ab	386,5 B	506,1 ab	504,2 ab,	4405 b	503,8 ab	614,5 a	470,4 ab
Bobot akar segar	17,6 bcd	21,6 abc	14,6 D	21,7 abc	25,8 a	15,5 cd	20,4 abcd	23,2 ab	18,0 bcd
Bobot total segar	472,1 bc	485,8 abc	401,2 C	527,8 abc	560,0 ab	456,1 bc	524,2 abc	637,8 a	488,6 abc
Bobot Konsumsi ker	40,8 ab	26,1 c	21,9 C	42,2 ab	26,1 c	23,6 c	48,4 a	30,6 bc	24,8 c
Bobot akar kering	3,5 a	2,5 ab	1,7 B	3,6 a	2,8 ab	1,8 b	3,6 a	2,6 ab	1,9 b
Bobot total kering	44,3 ab	28,9 c	23,7 C	45,9 ab	27,8 c	25,4 c	52,1 a	33,3c b	26,7 c
Kebutuhan air	22,19 a	13,62 b	12,90 B	22,69 a	13,97 b	14,24 b	22,27 a	13,94 b	13,55 b
Efisiennsi air	1,8 A	1,9 a	1,6 A	1,8 a	1,8 a	1,6 a	2,1 a	2,1 a	1,8 a
Efisiensi ppk	0,03 c	0,04 c	0,08 Ab	0,08 ab	0,08 ab	0,06 bc	0,05 c	0,06 bc	0,05 c
Efisiensi Lahan	1,8 ab	1,8 ab	1,5 C	2,0 ab	2,1 ab	1,7 b	2,0 ab	2,4 a	1,8 ab
Efisiensi radiasi	0,10 ab	0,08 abc	0,06 C	0,10 ab	0,09 abc	0,07 bc	0,12 a	0,11 a	0,07 bc
N total trubus	1,3 b	0,9 c	0,9 C	1,3 b	0,9 c	0,9 c	2,0 a	0,9 c	1,1 c
N total akar	0,6 c	0,4 bc	0,5 Bc	0,7 b	0,5 bc	0,6 bc	1,1 a	0,4 c	0,6 bc

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris atidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

Hasil tertinggi dari parameter efisiensi pupuk terdapat pada kombinasi perlakuan K_1R_3, K_2R_1, K_2R_2, dan yang terendah pada K_1R_1. Pada parameter efisiensi lahan dan efisiendi radiasi tertinggi berturut-turut terdapat pada kombinasi perlakuan K_3R_2 dan K_3R_1, sedangka terendah pada kombinasi perlakuan yang sama, yaitu K_1R_3. Pada parameter N total akar, hasil tertinggi ditemukan pada kombinasi perlakuan K_3R_1, sedangkan yang terendah pada K_1R_1.

Secara umum, hasil tertinggi ditemukan pada penggunaan kompos yang paling banyak, sedangkan terendah terdapat pada penggunaan kompos paling sedikit. Hasil terendah pada semua kombinasi perlakuan rata-rata ditemukan pada penggunaan kompos terendah dengan radiasi matahari sebesar 359 MJ (R3).

Hasil konsumsi segar tertinggi perlakuan 2 faktor (MK), (MR) dan (KR) pada Tabel 29-38 adalah M_3K_2 (perbandingan abu vulkan: arang sekam dan kompos = 33 : 33 : 33%) dengan hasil 585 g/kolom. Kombinasi M_3R_2 dengan hasil 645 g/kolom dan K_3R_2 dengan hasil 614 g/kolom.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 37. Anova pengaruh kombinasi tiga faktor (M*K*R) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	Blok	M*K*R	CF
Tinggi tanaman (cm)	NS	**	16,5
Jumlah daun (lembar)	NS	**	8,9
Bobot hasil ekonomi (g/kolom)	*	**	20,0
Bobot akar segar (g/kolom)	**	**	12,7
Bobot total segar (g/kolom)	*	**	19,7
Bobot hasil ekonomi kering (g/kolom)	**	**	23,6
Bobot akar kering (g/kolom)	NS	**	32,8
Bobot total kering (g/kolom)	**	**	23,5
Total air lindian (l)	NS	**	14,6
Kebutuhan air tanaman (l)	NS	**	5,7
Efisiennsi penggunaan air (g/kg)	**	**	21,0
Efisiensi penggunaan pupuk (kg/kg)	*	**	21,3
Efisiensi penggunaan lahan (kg/m^2)	*	**	19,9
Efisiensi Radiasi (g/MJ)	**	**	25,5
N total trubus (%)	*	**	13,9
N total akar (%)	*	**	24,4
******	5	16	
*****	6	0	
NS	5	0	

Keterangan :
** : Berbeda sangat nyata
* : Berbeda nyata
NS : Tidak berbeda nyata

Kombinasi tiga faktor terbaik perlakuan arang sekam 33,3% kompos 33,3% dan penanaman ke 2 bulan Nopember – Desember ($M_3K_2R_2$) sebesar 743 g/kolom. Demikian pula efisiensi pengunaan pupuk dan lahan tertinggi pada ($M_3K_2R_2$). Hasil penanaman pada sistem pertanaman vertikal disarankan untuk menggunakan campuran media M_3, takaran kompos $K_{2\text{-}3,}$ dan radiasi matahari R_2 untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Pengaruh kombinasi tiga faktor, yaitu media, radiasi matahari, dan penggunaan kompos disajikan pada Tabel 38. Pada parameter bobot hasil ekonomi, terdapat interaksi pada semua kombinasi perlakuan. Hasil tertinggi ditemukan pada $M_3K_2R_2$, sedangkan terendah pada $M_2K_1R_3$. Interaksi antar perlakuan juga ditemukan pada parameter bobot hasil ekonomi kering. Hasil tertinggi terdapat pada $M_3K_1R_1$, sedangkan terendah pada $M_2K_1R_3$. Hasil dari parameter kebutuhan air tertinggi terdapat pada kombinasi perlakuan $M_1K_2R_1$, sedangkan terendah pada $M_3K_1R_3$.

Pada parameter efisiensi penggunaan air, tidak terdapat interaksi pada semua kombinasi perlakuan. Secara statistik, hasil pada parameter tersebut tidak berbeda nyata. Apabila dilihat dari nilai yang diperoleh, tertinggi ditemukan pada kombinasi perlakuan $M_2K_1R_1$, sedangkan terendah pada $M_2K_1R_1$.

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 38. Pengaruh kombinasi tiga faktor (M*K*R) terhadap pertumbuhan, hasil tanaman dan nilai efisiensi

Parameter	M	R	K1	K2	K3	Interaksi
		R1	374,3 bc	430,5 bc	493,3 abc	
	M1	R2	432,5 bc	430,5 bc	328,2 bc	
		R3	406,1 bc	328,2 bc	351,3 bc	
		R1	473,0 abc	526,8 abc	502,6 abc	
Bobot hasil ekonomi	M2	R2	404,7 bc	429,3 bc	632,4 ab	+
		R3	305,0 c	499,1 abc	502,9 abc	
		R1	516,1 abc	517,2 abc	515,5 abc	
	M3	R2	555,3 abc	742,9 a	637,5 ab	
		R3	448,4 abc	494,4 abc	502,9 abc	
		R1	40,9 abcdefg	39,5 abcdefg	48,3 bc	
	M1	R2	22,0 fg	22,0 defg	31,1 abcdefg	
		R3	19,9 fg	19,4 fg	21,4 efg	
		R1	27,6 bcdefg	43,2 abcdef	45,5 bcd	
Bobot hasil ekonomi kering	M2	R2	27,5 cdefrg	20,0 fg	35,7 abcdefg	+
		R3	18,5 g	24,2 defg	26,2 cdefg	
		R1	53,8 a	44,0 abcde	51,4 ab	
	M3	R2	28,7 bcdefg	36,2 abcdefg	35,7 abcdefg	
		R3	27,3 cdefg	27,2 cdefg	26,8 cdefg	
		R1	21,5 a	22,7 a	22,8 a	
	M1	R2	13,5 bcd	13,5 bcd	13,9 bcd	
		R3	13,6 bcd	14,0 bcd	11,8 cd	
		R1	22,5 a	23,2 a	22,1 a	
Kebutuhan air	M2	R2	13,6 bcd	13,4 bcd	13,4 bcd	+
		R3	11,4 d	14,2 bcd	14,7 bcd	
		R1	14,4 bcd	22,0 a	21,7 a	
	M3	R2	13,6 bcd	14,9 b	14,4 bcd	
		R3	13,6 bcd	14,4 bcd	14,1 bcd	
		R1	1,90 a	1,74 a	2,05 a	
	M1	R2	1,64 a	1,59 a	2,22 a	
		R3	1,47 a	1,36 a	1,80 a	
Efisiensi		R1	1,22 a	1,86 a	2,0 a	
Penggunaan air	M2	R2	2,01 a	1,49 a	1,87 a	-
		R3	1,61 a	1,69 a	1,77 a	
		R1	2,47 a	1,99 a	2,30 a	
	M3	R2	2,11 a	2,40 a	1,90 a	
		R3	2,30 a	1,87 a	1,90 a	
		R1	0,08 abcd	0,07 abcd	0,05 cd	
	M1	R2	0,09 abc	0,07 abcd	0,06 bcd	
		R3	0,08 abcd	0,07 abcd	0,03 d	
Efisiensi		R1	0,09 abc	0,08 abcd	0,05 cd	
Penggunaan pupuk	M2	R2	0,08 abcd	0,06 abcd	0,06 bcd	+
		R3	0,06 bcd	0,07 abcd	0,06 bcd	
		R1	0,11 a	0,08 abcd	0,05 cd	
	M3	R2	0,11 a	0,12 a	0,07 abcd	
		R3	0,09 abc	0,07 abcd	0,05 cd	
		R1	1,50 bc	1,89 abc	1,97 abc	
	M1	R2	1,73 bc	1,72 bc	2,29 abc	
		R3	1,62 bc	1,31 bc	1,40 bc	
		R1	1,89 abc	2,10 abc	2,01 abc	
Efisiensi	M2	R2	1,62 bc	1,71 bc	2,53 ab	+
Penggunaan lahan		R3	1,22 c	1,99 abc	2,22 abc	
		R1	2,06 abc	2,07 abc	2,06 abc	
	M3	R2	2,22 abc	2,97 a	2,55 ab	
		R3	1,79 abc	1,98 abc	2,01 abc	
		R1	0,10 abcd	0,10 abcd	0,12 abcd	
	M1	R2	0,08 abcd	0,06 abcd	0,11 abcd	
		R3	0,06 bcd	0,05 cd	0,06 bcd	

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lanjutan Tabel 38

Efisiensi Penggunaan Radiasi	M2	R1	0,06	abcd	0,10	abcd	0,11	abcd	
		R2	0,07	abcd	0,07	abcd	0,09	abcd	+
		R3	0,05	d			0,07	abcd	
	M3	R1	0,13	ab	0,11	abcd	0,13	abc	
		R2			0,13	a	0,13	ab	
		R3	0,07	abcd	0,08	abcd	0,08	abcd	

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama dalam baris tidak berbeda pada Uji HSD Tukey 5%.

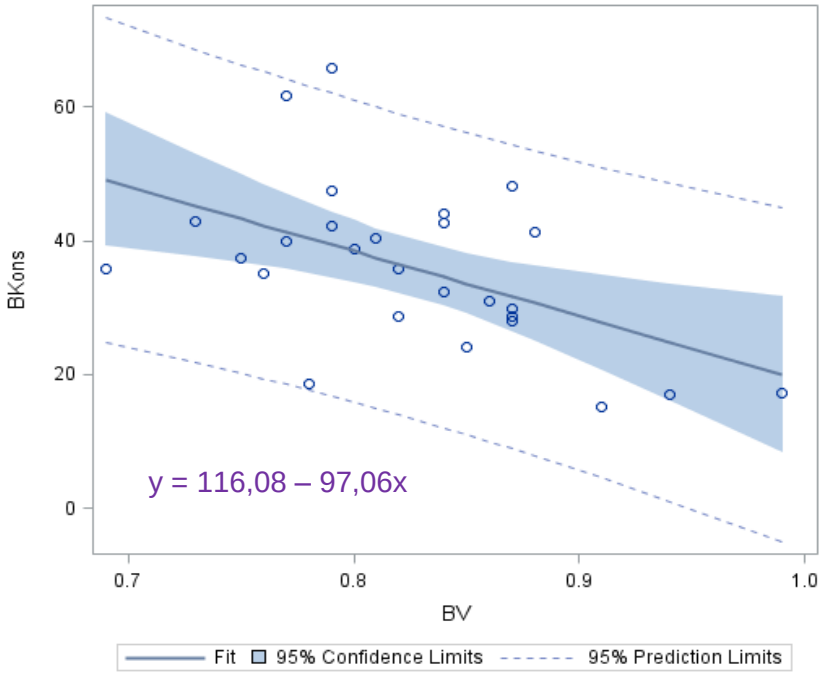
Pada parameter efisiensi penggunaan pupuk, terdapat interaksi antar kombinasi perlakuan. Hasil tertinggi ditemukan pada kombinasi perlakuan $M_1K_3R_3$, sedangkan terendah pada $M_3K_2R_2$. Interaksi antar kombinasi perlakuan juga ditemukan pada parameter efisiensi penggunaan lahan dan efisiensi penggunaan radiasi matahari. Pada kedua parameter tersebut, nilai tertinggi ditemukan pada kombinasi perlakuan $M_3K_2R_2$, sedangkan terendah pada $M_2K_1R_3$.

5.4. Hubungan antara BV dan N total terhadap hasil tanaman (bobot konsumsi segar dan bobot akar segar)

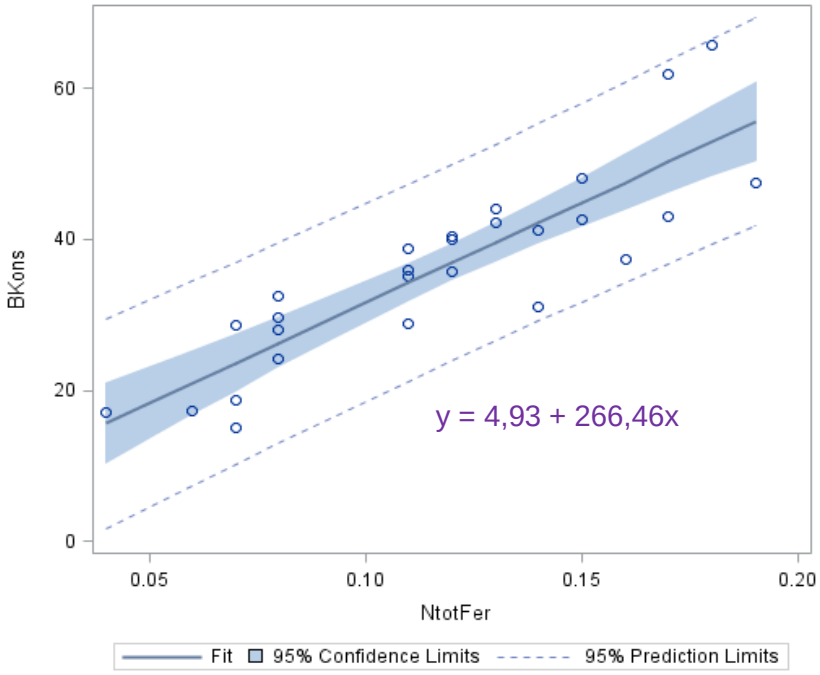
Hubungan beberapa sifat fisik dan kimia media terhadap hasil tanaman ditunjukkan dalam Gambar 23 – 27. Gambar 23 menunjukkan regresi linear antara berat volume campuran media dengan bobot hasil ekonomi kering selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,26. Hal ini berarti 26% perubahan variabel (Y) bobot hasil ekonomi dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media.

Gambar 24 menunjukkan regresi linear antara sifat kimia (N total) saat awal terhadap bobot hasil ekonomi selada keriting pada kolom vertikial. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,75. Hal ini berarti 75% perubahan variabel (Y) bobot hasil ekonomi dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) N total saat awal tanam selada keriting pada kolom vertikal

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 23. Hubungan antara BV dan bobot hasil ekonomi selada keriting pada kolom vertikal

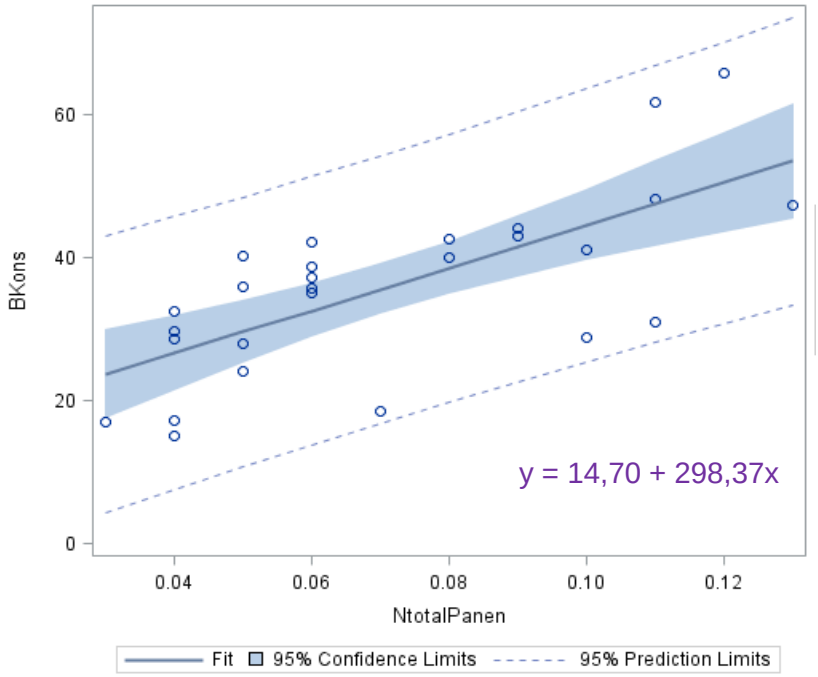


Gambar 24. Hubungan antara N total saat tanam dan bobot hasil ekonomi

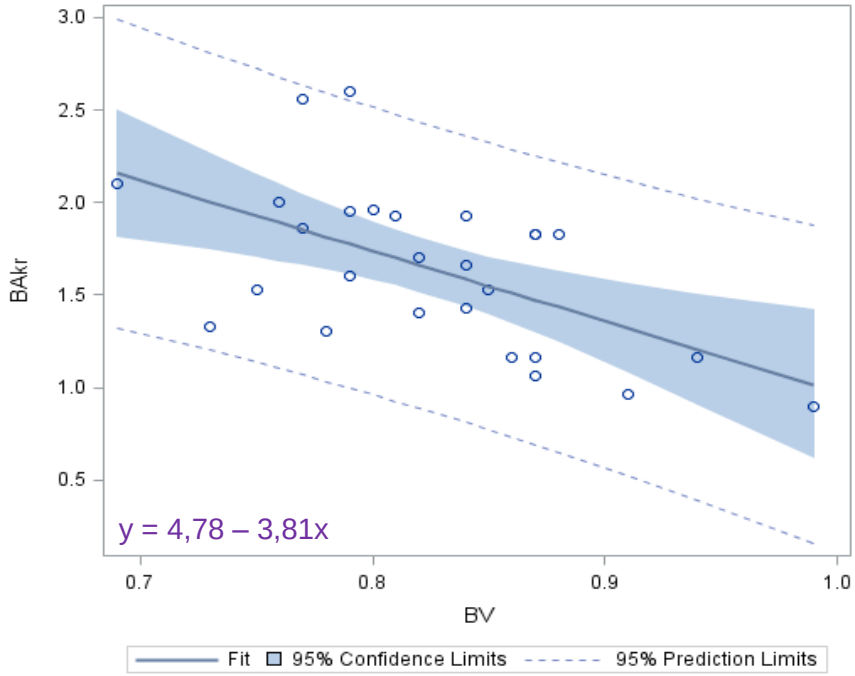
Gambar 25 menunjukkan regresi linear antara sifat kimia (N total) saat akhir dengan bobot hasil ekonomi selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,49 Hal ini berarti 49% perubahan variabel (Y)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bobot hasil ekonomi dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) sifat kimia (N total) saat akhir.



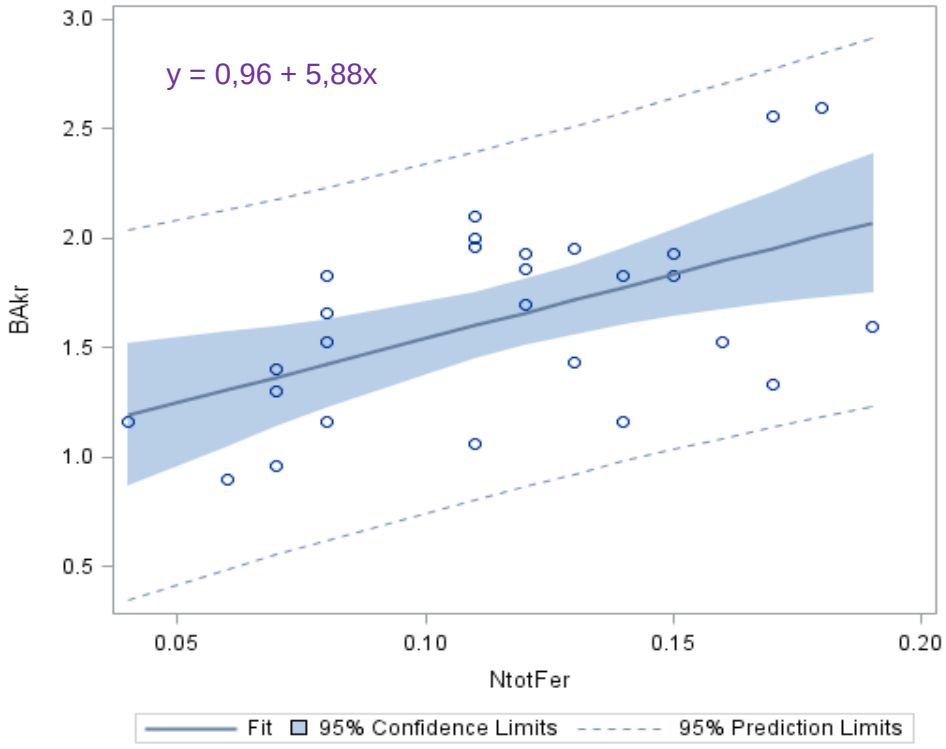
Gambar 25. Hubungan antara N total saat panen dan bobot hasil ekonomi



Gambar 26. Hubungan antara BV dan bobot akar segar

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 26 menunjukkan regresi linear antara berat volume campuran media dengan bobot akar segar selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,32. Hal ini berarti 32% perubahan variabel (Y) bobot akar segar dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) berat volume media.

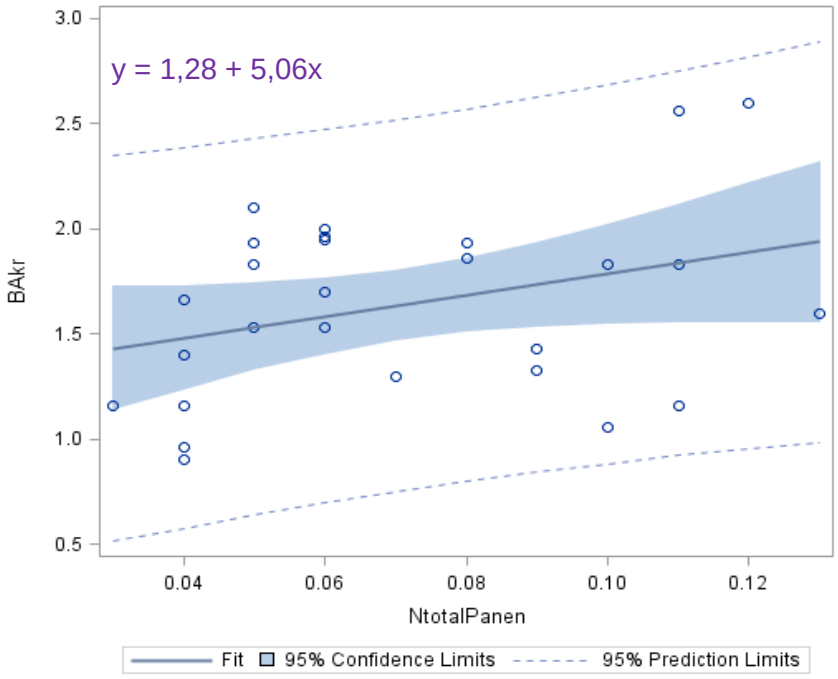


Gambar 27. Hubungan antara N total saat tanam dan bobot akar segar

Gambar 27 menunjukkan regresi linear antara N total saat awal campuran media dengan bobot akar segar selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,28. Hal ini berarti 28% perubahan variabel (Y) obot akar segar dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) N total saat panen media tanam.

Gambar 28 menunjukkan regresi linear antara N total saat panen campuran media dengan bobot akar segar selada keriting. Hasil analisis menunjukkan bahwa koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,11. Hal ini berarti 11% perubahan variabel (Y) obot akar segar dipengaruhi oleh perubahan variabel (X) N total saat panen media tanam.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 28. Hubungan antara N total saat panen dan bobot akar segar selada keriting pada kolom vertikal

Hubungan BV dengan bobot hasil ekonomi dan akar segar bersifat negatif, artinya makin tinggi BV makin menurun hasil bobot hasil ekonomi dan akar segar, karena tanah makin mampat akan menghambat pertumbuhan tanaman, di lain pihak unsur hara kurang khususnya nitrogen.

Hubungan N sebelum tanam (awal) dan sesudah panen (akhir) dengan bobot hasil ekonomi dan akar segar mempunyai pola positif, makin tinggi N sebelum tanam dan sesudah panen makin tinggi hasil konsumsi dan akar segar, Karena makin besar takaran kompos diikuti makin tinggi kadar N menghasilkan bobot hasil ekonomi dan akar segar makin baik, hal ini terdapat pada kombinasi M_3K_3.

6. Pembahasan Umum

Berbagai aktivitas dari gunung berapi dapat memberikan dampak positif dan negatif terhadap kehidupan masyarakat. Salah satu dampak negatif dari keberadaan gunung berapi yaitu peristiwa letusan yang menyebabkan material-material vulkan yang dikeluarkan oleh gunung berapi tersebut dan membahayakan bagi masyarakat serta dapat mempengaruhi kondisi cuaca bahkan iklim. Salah satu material vulkan adalah abu vulkan yang mengandung unsur hara yang baik bagi tanah. Manfaat yang diberikan pasca letusan gunung berapi sangat besar pengaruhnya terhadap tanah. Berdasarkan literatur yang ada, letusan Gunung

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Talang di Padang pada tahun 2005 berpengaruh nyata terhadap peningkatan kesuburan tanah (Fiantis, 2006).

Abu vulkan yang berasal dari gunung berapi juga dapat menutupi tanaman-tanaman yang dibudidayakan oleh petani sehingga membuat tanaman menjadi rusak dan bahkan mati. Permasalahan dari abu vulkan yang lain yaitu cepat mengalami sedimentasi dan pengerasan. Apabila curah hujan tinggi dan jauh melampaui daya tampung air pada permukaan tanah, maka akan terbentuk permukaan tanah yang sangat jenuh air. Abu vulkan menjadi isu lingkungan yang penting karena jumlahnya yang cukup banyak saat pasca erupsi dan dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Walaupun abu vulkan sendiri memiliki potensi untuk meningkatkan kesuburan tanah, namun pemanfaatannya dalam bidang pertanian masih sangat sedikit dan terbatas. Hal tersebut berbanding terbalik dengan keberadaan gunung berapi yang masih aktif dan banyak mengeluarkan abu vulkan setiap tahunnya.

Abu vulkan yang menutupi lapisan atas tanah akan mengalami pelapukan dan memulai proses pembentukan tanah yang baru. Abu vulkan yang terdeposisi di atas permukaan tanah mengalami pelapukan kimiawi dengan bantuan air dan asam-asam organik yang terdapat di dalam tanah. Proses pelapukan abu vulkan tersebut memakan waktu yang sangat lama yang dapat mencapai ribuan bahkan jutaan tahun apabila terjadi secara alami. Hasil pelapukan abu vulkan tersebut akan mengakibatkan penambahan kadar kation-kation (Ca, Mg, K dan Na) di dalam tanah hingga dapat meningkatkan 50% dari keadaan sebelumnya (Fiantis, 2006). Abu vulkan dapat berfungsi sebagai amelioran yang dapat mengurangi degradasi lahan serta dapat memasok hara. Abu vulkan meiliki kandungan hara seperti Fe, Al, Ca, Mg, Mn, S, P, K, Na, Cu, Zn, Ti dan Si. Abu vulkan memiliki komposisi yang lebih lengkap daripada kapur, mengandung unsur hara makro dan mikro, memiliki daya penetralan terhadap kemasaman 40% setara $CaCO_3$ (Subiksa *et al*., 1997).

Abu vulkan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Gunung Kelud yang meletus pada tanggal 13 Februari 2014. Gunung Kelud merupakan salah satu gunung berapi yang masih aktif yang terdapat di Kediri, Jawa Timur dengan ketinggian puncak 1371 mdpl. Gunung tersebut termasuk salah satu di antara sembilan gunung yang paling berbahaya di dunia. Gunung Kelud merupakan tipe gunung api strato dengan danau kawah. Aktivitas gunung tersebut ditunjukkan oleh seringnya intensitas letusan. Interval meletusnya gunung tersebut sejak tahun 1900 berkisar antara 15-32 tahun (Rusbianto, 1992).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pemanfaatan abu vulkan sebagai media tanam memiliki kendala, yaitu cepat mengalami pengendapan dan pengerasan apabila terkena air. Apabila abu vulkan mengeras, maka akar tanaman akan sulit berkembang dan dapat menyebabkan tanaman layu kemudian mati. Salah satu upaya untuk memperbaiki kondisi fisik dari abu vulkan yaitu dengan memanfaatkan *biochar*. *Biochar* merupakan bahan yang memiliki kandungan karbon tinggi yang berasal dari biomassa kayu maupun sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan pada suatu tempat dengan sedikit atau tanpa udara (Lehman dan Joseps, 2009). *Biochar* merupakan salah satu bahan pembenah tanah (amelioran) yang dapat memperbaiki kualitas tanah.

Di Indonesia potensi penggunaan *biochar* cukup besar, mengingat bahan baku seperti sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu banyak tersedia. Pembuatan arang dari bahan-bahan tersebut cukup dikenal di Indonesia namun belum dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah. Penggunaan *biochar* dari bahan baku sisa-sisa hasil pertanian tersebut memiliki banyak manfaat. Selain dapat memanfaatkan sisa-sisa hasil pertanian yang sulit terdekomposisi, juga dapat meningkatkan kualitas sifat fisik tanah sehingga produksi tanaman dapat meningkat. *Biochar* dapat meningkatkan kualitas tanah dan digunakan sebagai salah satu alternatif untuk pembenah tanah. Secara lebih spesifik, pemberian *biochar* ke tanah berpotensi meningkatkan kadar C dalam tanah, retensi air dan unsur hara di dalam tanah. Keuntungan lain dari *biochar* adalah kandungan karbon pada *biochar* bersifat stabil dan dapat tersimpan selama ribuan tahun di dalam tanah (Gani, 2009).

Arang sekam padi yang merupakan produk sampingan beras merupakan salah satu limbah industri. Limbah arang sekam padi tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Selain dimanfaatkan untuk bahan amandemen tanah, arang sekam padi berpotensi untuk meningkatkan proses pengomposan sehingga kompos lebih cepat matang. Selain itu, penambahan arang sekam padi pada proses pengomposan juga dapat meningkatkan hara pada kompos itu sendiri. Kehilangan N pada proses pengomposan yang diberi arang sekam padi juga lebih sedikit (Theba *et al.,* 2012).

Arang sekam memiliki sifat yang sangat ringan (0,20 g/cm2), sifat fisiknya kasar sehingga sirkulasi udara tinggi, kapasitas menahan air tinggi dan dapat mengurangi pengaruh penyakit khususnya bakteri. Selanjutnya Djatmiko (1985 dalam Purnamasari, 2008) menyatakan bahwa arang sekam yang ditambahkan ke

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dalam suatu media tanam dapat menurunkan bobot isi media tanam, meningkatkan ruang pori drainase sangat cepat dan menurunkan pori drainase lambat.

Carter *et al.* (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh aplikasi arang sekam terhadap pertumbuhan selada (*Lactuca sativa*) dan kubis cina (*Brassica chinensis*) yang ditanam pada pot dalam tiga pergiliran tanam (selada-kubis-selada). Pada penelitian tersebut didapatkan hasil dimana penggunaan arang sekam dapat meningkatkan biomassa tanaman, biomassa akar, tinggi tanaman dan jumlah daun pada semua pergiliran tanaman dibandingkan dengan perlakuan tanpa arang sekam. Peningkatan biomassa terbanyak terdapat pada perlakuan penambahan arang sekam pada tanah yang tidak dipupuk. Penambahan arang sekam dapat meningkatkan pH tanah dan KPK tanah.

Kompos sampah kota merupakan salah satu pupuk organik. Kompos sampah kota berasal dari sampah-sampah organik yang dihasilkan dari perumahan penduduk. Sampah organik dari perumahan dihasilkan dalam jumlah besar dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik bagi berbagai kegiatan pertanian. Sampah organik tersebut umumnya bersifat biodegradable, yaitu dapat terurai menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana oleh aktivitas mikroorganisme tanah (Sulistyawati dan Ridwan, 2012). Hasil penguraian dari sampah organik tersebut banyak mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman, sehingga sangat baik digunakan sebagai pupuk organik. Umumnya sampah padatan yang berasal dari kota dan desa mengandung lebih dari 75% bahan yang dapat didekomposisi. Secara umum komponen yang paling banyak terdapat pada sampah dibeberapa kota di Indonesia merupakan sisa-sisa tumbuhan yang mencapai 80-90%. Besarnya komponen sampah yang dapat didekomposisi merupakan suatu sumber daya yang cukup potensial sebagai sumber humus, unsur hara makro dan mikro dan sebagai soil conditioner (Setiyo, 2007).

Pada penelitian ini digunakan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) yang merupakan sayuran daun yang banyak dikonsumsi masyarakat. Sayuran selada banyak diminati dan disukai masyarakat sebagai salad, lalapan dan hiasan dalam makanan, selain itu selada memiliki warna, tekstur dan aroma yang menyegarkan penampilan makanan sehingga mampu menambah selera makan. Selada banyak mengandung sumber mineral, pro-vitamin A, vitamin C dan serat (Rubatzky dan Yamaguchi, 1998). Seiring dengan perubahan pola hidup masyarakat, termasuk cara memilih bahan makanan, maka dimungkinkan kebutuhan selada akan semakin meningkat.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pemanfaatan abu vulkan sebagai media tanam memiliki kendala, yaitu cepat mengalami sedimentasi dan pengerasan apabila terkena air. Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat fisik dan kimiawi dari abu vulkan yaitu dengan memanfaatkan *biochar*. Abu vulkan perlu mendapat tambahan asupan unsur hara dari pupuk dimana dalam penelitian ini digunakan pupuk organik yang berupa kompos sampah kota. Penelitian ini mengkaji kombinasi takaran yang paling baik antara abu vulkan, arang sekam dan kompos sampah kota yang optimum untuk tanaman selada keriting. Penelitian yang lain masih terbatas pada abu vulkan sebagai pembenah tanah, sedangkan penelitian ini abu vulkan sebagai media dengan tambahan pembenah berupa *biochar* dan pupuk kompos.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2014 hingga Februari 2015 di rumah kaca Kuningan Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Analisis sifat kimia dan sifat fisika dilaksanakan bertempat di Laboratorium Tanah Umum dan Laboratorium Fisika Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogayakarta, mulai bulan Maret sampai Desember 2015. Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan bahan bahan yang diperlukan yaitu abu vulkan yang berasal dari sisa erupsi Gunung Kelud yang terjadi pada Februari 2014. Pupuk kompos yang dibuat dari serasah dan sisa sampah kota. Arang sekam padi yang produksi di Bantul, Yogyakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memanfaatkan abu vulkan yang mengganggu lingkungan menjadi media tanam sayuran, khususnya selada keriting; (2) menentukan campuran media tanam abu vulkan, *biochar* dan pupuk kompos yang optimum untuk sistem pertanaman vertikal; (3) menentukan efisiensi pemanfaatan radiasi matahari, air, pupuk dan lahan tanaman selada keriting pada sistem pertanaman vertikal. Selain itu, penelitian ini terdiri atas 5 (lima) tahap penelitian: (1) kajian awal mengenai karakteristik bahan (abu vulkan, *biochar* dan kompos sampah kota); (2) percobaan untuk mencari takaran kombinasi campuran abu vulkan, *biochar* dan pupuk kompos sampah kota yang optimal dalam menghasilkan tanaman selada pada sistem pot; (3) mengkaji karakteristik campuran media setelah inkubasi tanpa tanaman; (4) efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan tanaman sayuran sistem pertanaman vertikal; dan (5) mengkaji efisiensi pemanfaatan radiasi tanaman sayuran sistem pertanaman vertikal.

Karakteristik bahan awal dilakukan analisis abu vulkan untuk menguji pH (H_2O); (KCl); DHL; C.organik; KPK; Ca total, - N total; P – tersedia dan K – tersedia. Analisis arang sekam meliputi: pH (H_2O). (KCl); DHL; C.organik; KPK; Ca total, - N

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

total; P – tersedia dan K – tersedia. Analisis pupuk sampah kota meliputi : pH (H_2O). (KCl); DHL; C.organik; KPK; Ca total, - N total; P – tersedia dan K – tersedia. Analisis tanah setelah proses inkubasi meliputi : pH (H_2O). (KCl); DHL; C.organik; KPK; N total; P – tersedia dan K – tersedia.

Rancangan percobaan penelitian tahap dua menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) atau *Complete Randomized Design* (CRD). Penelitian tahap 3-4 dengan 3 faktor, faktor pertama perbandingan kombinasi abu vulkan dengan arang sekam dan faktor kedua perbandingan faktor pertama dengan pupuk kompos. Sedangkan penelitian ke lima dengan RAKL atau RCBD (*Randomized Complete Block Design*) sebagai blok adalah musim tanam atau faktor radiasi..

Efisiensi pemakaian radiasi matahari (Epr) didifinisikan sebagai banyaknya produksi bahan kering tanaman per satuan energi radiasi matahari yang diterima $g.MJ^{-1}$ (Murchie, 2002 ; Kalangi, 2006). Efisiensi pemakaian air (Epa) dapat dirumuskan sebagai produksi bahan kering per satuan volume air ($g.kg^{-1}$) (Sing dan Sinha, 1977; Sumaryanto. 2005; Bezerra, 2012). Efisiensi pemakaian pupuk (Epp) dapat dirumuskan produksi bahan yang dikonsumsi kg per penambahan pupuk ($kg.kg^{-1}$) (Witt, 2007). Serta, efisiensi pemanfaatan lahan (Epl) dapat dirumuskan dengan pendekatan yang sama, produksi bahan yang dikonsumsi per satuan luas lahan (kg/m2).

Hasil analisis media, pertumbuhan dan hasil tanaman kemudian dilanjutkan dengan analisis sidik ragam (*Analysis of variance*) untuk mengetahui adanya perlakuan yang berpengaruh beda nyata. Apabila pengaruhnya nyata (F hitung > F tabel) dengan jenjang nyata 5% maka dilanjutkan dengan Uji *Duncan Multiple Rang Test* (DMRT) untuk mengetahui perlakuan yang berbeda nyata untuk penelitian 2, untuk penelitian tahap 3-4-5 menggunakan HSD Tukey 5% (*Honest Significant Deference*).

Sifat kimia Abu vulkan Kelud memiliki kemasaman (pH) aktual berharkat agak masam (6,31) dan pH potensial dengan nilai 5,38 (harkat masam). Kemasaman menggambarkan ion hydrogen yang tersdapat dalam abu vulkan, hal ini akan mempengaruhi proses dalam media tanah, khususnya keterlarutan dan terendapkan dipengaruhi oleh pH tanah Pertumbuhan tanaman dengan sendirinya juga dipengaruhi keasaman tanah. Kapasitas Penukaran Kation merupakan kemampuan tanah menjerap atau menukar kation yang biasa dinyatakan dalam $cmol^{+}.kg^{-1}$. KPK abu vulkan memiliki nilai 2,74 $cmol^{+}.kg^{-1}$ atau berharkat sangat

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

rendah. Hal ini terutama dipengaruhi fraksi lempung dan tidak ada kandungan bahan organik.

Abu vulkan tidak mengandung bahan organik dan N total, karena pada saat erupsi gunung berapi suhu mencapai 1500^{o} C, sehingga bahan organik dan N akan terbakar habis. Nilai Daya Hantar Listrik (DHL) menunjukkan tingkat kegaraman larutan tanah, hasil analisis abu vulkan memiliki DHL 0,15 mS.cm^{-1} atau memiliki harkat bebas garaman. P tersedia berharkat sedang, K tersedia rendah. Kandungan P tersedia abu vulkan termasuk sedang dengan nilai 9,88 mS.cm-1. Kandungan P abu vulkan masih dalam bentuk batuan yang belum lapuk sehingga belum tersedia bagi tanaman. Kandungan K tersedia Abu vulkan sebesar 0,12 cmol^{+}.kg^{-1} atau berharkat rendah, rendahnya K abu vulkan karena belum terlapuk.

Bahan pembenah arang sekam padi mempunyai nilai pH (H_2O) 7,07 dan nilai DHL 0,5 mS.cm$^{-1.}$ Kandungan C organik sebesar 5,71% setara dengan kandungan bahan organik 11,242%. Nilai KPK arang sekam padi 5,34 cmol^{+}.kg^{-1}. Kandungan N total arang sekam 0,52%, kandungan P total 0,33% dan kandungan K total 0,96%. Arang sekam mempunyai potensi dalam memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, serta dapat pula sebagai sumber unsur hara dan berperan untuk konservasi carbon organik dalam tanah. Pemanfaatan arang sekam ke dalam media abu vulkan dapat meningkatkan ketersediaan kation utama NPK dan kapasitas pertukaran kation (KPK) yang pada akhirnya meningkatkan produktifitas tanaman.

Pupuk organik yang digunakan adalah pupuk kompos sampah kota. Kemasaman pupuk kompos agak alkalis (8,19), tingkat kegaraman sangat rendah, KPK tinggi (22,51 cmol.Kg^{-1}), N, P dan K total rendah. Pupuk kompos sampah kota dapat memberikan peran perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah, antara lain struktur tanah, sumber unsur hara bagi tanaman, meningkatkan aktivitas jasad renik, meningkatkan KPK.

Hasil analisis *Duncan Multipe Range Test* (DMRT) antar perlakuan pada percobaan tahap 2 (penanaman di pot) menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun, Bobot basah dan bobot total. Perlakuan M_{01} adalah 100% abu vulkan tanpa arang sekam dan pupuk kompos tidak dapat menghasilkan, hasil panen masih sama seperti ukuran saat tanam.

Pengaruh faktor M dan K secara tunggal menunjukkan bahwa hasil tanaman tertinggi pada perlakuan M_3 dan kompos K_3, dilihat pengaruh kombinasi antara media dan kompos, dapat dilihat bahwa perlakuan takaran terbaik adalah

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

M_3*K_3 dengan bobot hasil ekonomi 50,38 gram per tanaman. Komposisi takaran M_3K_3 adalah 25% abu vulkan, 25% arang sekam, dan 50% pupuk kompos sampah kota. Hal menarik yang dapat dilihat adalah penambahan komposisi abu vulkan (M_5 menuju M_1) atau penambahan komposisi arang sekam (M_1 menuju M5) tidak menjamin adanya penambahan hasil terutama pada takaran kompos K_2 (perbandingan media terhadap kompos 2:1) dan K_3 (1:1).

Hasil penelitian tahap 2 akhirnya dipilih takaran arang sekam tertinggi M_3 dan kompos K_3. Perlakuan M_4 dan M_5 tidak dilakukan sebagai dasar untuk perlakuan tahap selanjutnya. Penelitian tahap 3 dengan pertlakuan M*K, tahap 4 dengan perlakuan M*K*P, dan tahap 5 kombinasi M*K*R.

Penelitian tahap 3 campuran takaran M dan K diinkubasi tanpa tanaman kemudian dianalisis sifat fisik dan kimia, diperoleh hasil bahwa pengaruh arang sekam secara umum berbeda .sangat nyata terhadap parameter sifat fisik dan kimia campuran media, demikian juga pembenah kompos sampah kota juga sangat nyata, kecuali nilai DHL. Pengaruh pembenah dibanding abu vulkan murni sebagai kontrol dengan kontras orthogonal dapat dinyatakan bhwa semua parameter berbeda sangat nyata dengan kontrol abu vulkan.

Pengaruh pembenah dicampur abu vulkan dibanding abu vulkan murni sebagai kontrol dengan kontras orthogonal dapat dinyatakan bhwa semua parameter berbeda sangat nyata kecuali nilai DHL yang tidak berbeda nyata. Parameter yang beda nyata tetapi meningkat : pH (H_2O) dan (KCl), C organik, bahan organik, KPK, N total, P tersedia, K tersedia, dan pF. Sedangkan yang mengalami penurunan adalah BJ, BV dan KLT (KL- TL).

Penambahan arang sekam dan kompos dapat meningkatkan pH (H_2O) dari agak masam menjadi netral, sedangkan pH KCl dari masam menjadi netral. Penambahan pembenah dapat meningkatkan daya hantar listrik tetapi tidak berbeda yata. Demikian juga bahan organik meningkat tiga kali dibanding abu vulkan awal. KPK semula berharkat sangat rendah meningkat menjadi rendah, Nitrogen total dari sangat rendah menjadi rendah, sedangkan P dari sedang menjadi tinggi dan K dari rendah menjadi sedang

Kombinasi M_1K_1 secara umum mempunyai nilai parameter lebih rendah dari M_2K_2 dan paling tinggi M_3K_3 kecuali berat jenis, berat volume dan kapasitas lengas tersedia. Khusus BJ dan BV makin tinggi takaran arang sekam dan kompos nilai makin turun, yang bermakna makin baik kesuburan fisik media tersebut.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pada penelitian tahap keempat, perlakuan M*K*P penanaman pada sistem pertanaman vertikal menunjukkan bahwa pengaruh campuran media dan pupuk kompos serta populasi tanaman berbeda sangat nyata pada semua parameter yang diamati: pertumbuhan tanaman :jumlah daun, tingggi tanaman, Bobot segar konsumsi, Bobot akar dan bobot total serta Bobot kering. Kebutuhan air serta nilai efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan.

Hasil analisis Honest Significant Difference (HSD) antar perlakuan faktor media menunjukkan bahwa khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun bobot basah dan bobot total). Media yang baik adalah M_2 (33% arang sekam). Sedangkan pada factor kompos yang paling baik adalah K_3 (50% kompos sampah kota), untuk kerapatan kolom terkait hasil per m2 adalah P_1 atau 4 kolom per m2. Perlakuan kombinasi terbaik pada M_3K_3 dengan takaran abu vulkan 25%, arang sekam 25% dan pupuk kompos 50% dengan bobot hasil ekonomi 500 g/kolom

Kombinasi faktor M*K*P (arang sekam, kompos dan populasi) disimpulkan bahwa makin tinggi dosis *biochar* dan pupuk kompos pertumbuhan tanaman selada keriting makin baik dan dapat dipakai pada sistem pertanaman vertikal. Takaran arang sekam dengan perbandingan terbaik dengan campuran abu vulkan 25% dibanding arang sekam 25%, takaran pupuk kompos K_3 dengan takaran 50% dengan bobot 556 g/kolom, dan makin turun dengan takaran arang yang lebih rendah. Efifisiensi penggunaan air tertingggi sebesar 2,1 $g.kg^{-1}$, pada takaran arang sekam terbaik diperoleh sebesar 25% dan pupuk kompos sampah kota optimum sebesar 50% volume.

Hasil penelitian tahap 5 dengan perlakuan kombinasi faktor M*K*R (arang sekam, kompos dan radiasi matahari) disimpulkan bahwa makin tinggi dosis *biochar* dan pupuk kompos pertumbuhan tanaman selada keriting makin baik dan abu vulkan dapat dipakai sebagai media tanam pada sistem pertanaman vertikal.

Hasil pengukuran dan perhitungan intensitas radiasi selama musim tanam (35 hari) berturut-turut sebagai berikut : Musim tanam 1 (R_1) = 400 MJ, R_2 = 269 MJ dan R_3 = 359 MJ. Hasil selada hasil ekonomi kering tertinggi pada musim kedua (R_2) sebesar 47,6 g, R_1 = 43,8 g dan R_3 = 23,4 g. Nilai efisiensi pemanfaatan radiasi matahari tertinggi diperoleh pada musim tanam 2 = 0,17 $g.MJ^{-1}$, berikutnya musim tanam 1 = 0,11 $g.MJ^{-1}$ dan terendah musim tanam 3 = 0,06 $g.MJ^{-1}$.

Takaran abu vulkan sebesar 25% dan arang sekam 25% dan 50% pupuk kompos sampah kota (M_3K_3) dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia media dan menjadi paling baik dan juga menunjukkan hasil tanaman selada keriting terbaik

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

penanaman pada kolom vertikal menghasilkan 584 g/kolom. M_3R_2 sebesar 645 g/kolom dan K_3R_2 614 g/kolom. Efisiensi penggunaan radiasi matahari pada sistem pertanaman vertikal tertinggi sebesar 0,17 $g.MJ^{-1}$ pada intensitas radiasi 269 MJ (musim tanam Nopember – Desember) bertepatan dengan matahari paling jauh dengan lokasi.

Hasil penanaman pada sistem pertanaman vertikal supaya lebih optimal, disarankan untuk menggunakan campuran media dan arang sekam 33% (M_2), takaran kompos 50% (K_3), radiasi sekitar 300 MJ (R_2). Peningkatan efisiensi penggunaan air dapat dilakukan dengan meningkatkan hasil tanaman (pembilang) melalui perbaikan kesuburan kimiawi. Sifat fisik menunjukkan perbaikan untuk media tanam, sedangkan sifat kimia khusus Nitrogen masih rendah mengakibatkan takaran tertinggi belum mencapai hasil konsumsi segar ukuran optimal.

Penggunaan kompos sampah kota yang berkadar N rendah mengakibatkan hasil tanaman selada keriting belum dapat optimal, perlu penggunaan pupuk yang berkadar N lebih tinggi untuk mencapai ukuran yang normal. Pada waktu radiasi matahari berlebih dapat dikurangi dengan naungan paranet sesuai dengan keragaman radiasi.

Penerapan sistem pertanaman vertikal memerlukan modal awal yang besar, namun kalau menggantungkan pupuk kompos sampah kota pengembalian modal cukup lama (7 tahun), dengan tambahan penggunaan pupuk pabrik Nitrogen tahun ke dua sudah cukup untuk pengembalian modal awal.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

1) Abu vulkan tidak mengandung bahan organik dan Nitrogen, memiliki kemasaman (pH) aktual berharkat agak masam dan pH potensial dengan harkat masam. KPK abu vulkan berharkat sangat rendah. Fosfor tersedia berharkat sedang, K tersedia rendah. Nilai Daya Hantar Listrik memiliki harkat bebas garaman. Abu vulkan murni tidak dapat digunakan sebagai media tanaman selada keriting. Namun, abu vulkan dapat dimanfaatkan sebagai media tanam selada keriting dengan pembenah arang sekam dan pupuk kompos sampah kota.
2) Pemanfaatan arang sekam dan pupuk kompos dapat sebagai pembenah abu vulkan. Perlakuan arang sekam dapat menurunkan berat jenis dan berat volume tanah, abu vulkan murni sulit ditembus akar, menyebabkan tanaman selada tidak dapat tumbuh sempurna. Takaran abu vulkan sebesar 25% dan arang sekam 25% dan 50% pupuk kompos sampah kota dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia media dan menjadi paling baik dan juga menunjukkan hasil tanaman selada keriting terbaik pada penanaman di pot dapat menghasilkan 59,82 g/tanaman. Penanaman pada kolom vertikal menghasilkan 500 g/kolom.
3) Kerapatan populasi tanaman selada terbaik pada 4 kolom.m^{-2} dengan efisiensi penggunaan lahan sebesar 1,95 kg.m^{-2}. Efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan diperoleh hasil berturut-turut yang tertinggi adalah 2,2 g. kg-^{1}; 0,11kg.kg^{-1} dan 2,3 kg.m^{-2}. Efisiensi radiasi matahari pada sistem pertanaman vertikal pada intensitas radiasi 269 MJ (musim tanam November-Desember) sebesar 0,17 g.MJ^{-1}.

2. Saran

1) Penggunaan kompos sampah kota yang berkadar N rendah mengakibatkan hasil tanaman selada keriting belum dapat optimal, perlu penggunaan pupuk yang berkadar N lebih tinggi untuk mencapai ukuran yang wajar.
2) Supaya hasil penanaman vertikal dapat optimal, disarankan untuk menggunakan campuran arang sekam 16,6-25,0%, takaran kompos 50%, populasi kerapatan 4 kolom/m^2 dan musim tanam bulan November sampai Desember.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3) Sistem pertanaman vertikal perlu modal awal untuk wadah media yang tinggi, dengan menggunakan media yang mempunyai kesuburan fisik dan kimia yang baik akan mempercepat pengembalian modal.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN

Mulyono Nitisapto

RINGKASAN

Berbagai aktivitas dari gunung api memang memberikan dampak positif dan negatif terhadap kehidupan masyarakat. Salah satu dampak negatif dari keberadaan gunung berapi yaitu peristiwa letusan yang menyebabkan material-material vulkan yang dikeluarkan oleh gunung berapi tersebut dan membahayakan bagi masyarakat serta dapat mempengaruhi kondisi cuaca bahkan iklim. Salah satu material vulkan adalah abu vulkan yang mengandung unsur hara yang baik bagi tanah. Manfaat yang diberikan pasca letusan gunung berapi sangat besar pengaruhnya terhadap tanah. Berdasarkan literatur yang ada, letusan Gunung Talang di Padang pada tahun 2005 berpengaruh nyata terhadap peningkatan kesuburan tanah (Fiantis, 2006).

Abu vulkan yang berasal dari gunung berapi juga dapat menutupi tanaman-tanaman yang dibudidayakan oleh petani sehingga membuat tanaman menjadi rusak dan bahkan mati. Permasalahan dari abu vulkan yang lain yaitu cepat mengalami pengendapan dan pengerasan. Apabila curah hujan tinggi dan jauh melampaui daya tampung air pada permukaan tanah, maka akan terbentuk permukaan tanah yang sangat jenuh air. Abu vulkan menjadi isu lingkungan yang penting karena jumlahnya yang cukup banyak saat pasca erupsi dan dapat mengganggu keseimbangan lingkungan. Walaupun abu vulkan sendiri memiliki potensi untuk meningkatkan kesuburan tanah, namun pemanfaatannya dalam bidang pertanian masih sangat sedikit dan terbatas. Hal tersebut berbanding terbalik dengan keberadaan gunung berapi yang masih aktif dan banyak mengeluarkan abu vulkan setiap tahunnya.

Abu vulkan yang menutupi lapisan atas tanah akan mengalami pelapukan dan memulai proses pembentukan tanah yang baru. Abu vulkan yang terdeposisi di atas permukaan tanah mengalami pelapukan kimiawi dengan bantuan air dan asam-asam organik yang terdapat di dalam tanah. Proses pelapukan abu vulkan tersebut memakan waktu yang sangat lama yang dapat mencapai ribuan bahkan jutaan tahun apabila terjadi secara alami. Hasil pelapukan abu vulkan tersebut akan mengakibatkan penambahan kadar kation-kation (Ca, Mg, K dan Na) di dalam tanah hingga dapat meningkatkan 50% dari keadaan sebelumnya (Fiantis, 2006). Abu vulkan dapat berfungsi sebagai amelioran yang dapat mengurangi degradasi lahan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

serta dapat memasok hara. Abu vulkan meiliki kandungan hara seperti Fe, Al, Ca, Mg, Mn, S, P, K, Na, Cu, Zn, Ti dan Si. Abu vulkan memiliki komposisi yang lebih lengkap daripada kapur, mengandung unsur hara makro dan mikro, memiliki daya penetralan terhadap kemasaman 40% setara $CaCO_3$ (Subiksa *et al*., 1997).

Abu vulkan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Gunung Kelud yang meletus pada tanggal 13 Februari 2014. Gunung Kelud merupakan salah satu gunung berapi yang masih aktif yang terdapat di Kediri, Jawa Timur dengan ketinggian puncak 1371 mdpl. Gunung tersebut termasuk salah satu di antara sembilan gunung yang paling berbahaya di dunia. Gunung Kelud merupakan tipe gunung api strato dengan danau kawah. Aktivitas gunung tersebut ditunjukkan oleh seringnya intensitas letusan. Interval meletusnya gunung tersebut sejak tahun 1900 berkisar antara 15-32 tahun (Rusbianto, 1992).

Pemanfaatan abu vulkan sebagai media tanam memiliki kendala, yaitu cepat mengalami sedimentasi dan pengerasan apabila terkena air. Apabila abu vulkan mengeras, maka akar tanaman akan sulit berkembang dan dapat menyebabkan tanaman layu kemudian mati. Salah satu upaya untuk memperbaiki kondisi fisik dari abu vulkan yaitu dengan memanfaatkan *biochar*. *Biochar* merupakan bahan yang memiliki kandungan karbon tinggi yang berasal dari biomassa kayu maupun sisa hasil pengolahan tanaman yang dipanaskan pada suatu tempat dengan sedikit atau tanpa udara (Lehman dan Joseps, 2009). *Biochar* merupakan salah satu bahan pembenah tanah (amelioran) yang dapat memperbaiki kualitas tanah.

Di Indonesia potensi penggunaan *biochar* cukup besar, mengingat bahan baku seperti sekam padi, tempurung kelapa, dan kayu banyak tersedia. Pembuatan arang dari bahan-bahan tersebut cukup dikenal di Indonesia namun belum dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah. Penggunaan *biochar* dari bahan baku sisa-sisa hasil pertanian tersebut memiliki banyak manfaat. Selain dapat memanfaatkan sisa-sisa hasil pertanian yang sulit terdekomposisi, juga dapat meningkatkan kualitas sifat fisik tanah sehingga produksi tanaman dapat meningkat. *Biochar* dapat meningkatkan kualitas tanah dan digunakan sebagai salah satu alternatif untuk pembenah tanah. Secara lebih spesifik, pemberian *biochar* ke tanah berpotensi meningkatkan kadar C dalam tanah, retensi air dan unsur hara di dalam tanah. Keuntungan lain dari *biochar* adalah kandungan karbon pada *biochar* bersifat stabil dan dapat tersimpan selama ribuan tahun di dalam tanah (Gani, 2009).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Arang sekam padi yang merupakan produk sampingan beras merupakan salah satu limbah industri. Limbah arang sekam padi tersebut dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Selain dimanfaatkan untuk bahan amandemen tanah, arang sekam padi berpotensi untuk meningkatkan proses pengomposan sehingga kompos lebih cepat matang. Selain itu, penambahan arang sekam padi pada proses pengomposan juga dapat meningkatkan hara pada kompos itu sendiri. Kehilangan N pada proses pengomposan yang diberi arang sekam padi juga lebih sedikit (Theba *et al.*, 2012).

Arang sekam memiliki berat jenis sangat ringan (0,20 $g.cm^{-3}$), sifat fisiknya kasar sehingga sirkulasi udara tinggi, kapasitas menahan air tinggi dan dapat mengurangi pengaruh penyakit khususnya bakteri. Selanjutnya Djatmiko (1985 dalam Purnamasari, 2008) menyatakan bahwa arang sekam yang ditambahkan ke dalam suatu media tanam dapat menurunkan bobot isi media tanam, meningkatkan ruang pori drainase sangat cepat dan menurunkan pori drainase lambat.

Carter *et al.* (2013) melakukan penelitian mengenai pengaruh aplikasi arang sekam terhadap pertumbuhan selada (*Lactuca sativa*) dan kubis cina (*Brassica chinensis*) yang ditanam pada pot dalam tiga pergiliran tanam (selada-kubis-selada). Pada penelitian tersebut didapatkan hasil dimana penggunaan arang sekam dapat meningkatkan biomassa tanaman, biomassa akar, tinggi tanaman dan jumlah daun pada semua pergiliran tanaman dibandingkan dengan perlakuan tanpa arang sekam. Peningkatan biomassa terbanyak terdapat pada perlakuan penambahan arang sekam pada tanah yang tidak dipupuk. Penambahan arang sekam dapat meningkatkan pH tanah dan KPK tanah.

Kompos sampah kota merupakan salah satu pupuk organik. Kompos sampah kota berasal dari sampah-sampah organik yang dihasilkan dari perumahan penduduk. Sampah organik dari perumahan dihasilkan dalam jumlah besar dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik bagi berbagai kegiatan pertanian. Sampah organik tersebut umumnya bersifat *biodegradable*, yaitu dapat terurai menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana oleh aktivitas mikroorganisme tanah (Sulistyawati dan Ridwan, 2012). Hasil penguraian dari sampah organik tersebut banyak mengandung unsur-unsur yang dibutuhkan tanaman, sehingga sangat baik digunakan sebagai pupuk organik. Umumnya sampah padatan yang berasal dari kota dan desa mengandung lebih dari 75% bahan yang dapat didekomposisi. Secara umum komponen yang paling banyak terdapat pada sampah dibeberapa kota di Indonesia merupakan sisa-sisa tumbuhan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

yang mencapai 80-90%. Besarnya komponen sampah yang dapat didekomposisi merupakan suatu sumber daya yang cukup potensial sebagai sumber humus, unsur hara makro dan mikro dan sebagai *soil conditioner* (Setiyo, 2007).

Pada penelitian ini digunakan tanaman selada (*Lactuca sativa* L.) yang merupakan sayuran daun yang banyak dikonsumsi masyarakat. Sayuran selada banyak diminati dan disukai masyarakat sebagai salad, lalapan dan hiasan dalam makanan, selain itu selada memiliki warna, tekstur dan aroma yang menyegarkan penampilan makanan sehingga mampu menambah selera makan. Selada banyak mengandung sumber mineral, pro-vitamin A, vitamin C dan serat (Rubatzky and Yamaguchi, 1998). Seiring dengan perubahan pola hidup masyarakat, termasuk cara memilih bahan makanan, maka dimungkinkan kebutuhan selada akan semakin meningkat.

Pemanfaatan abu vulkan sebagai media tanam memiliki kendala, yaitu cepat mengalami sedimentasi dan pengerasan apabila terkena air. Salah satu upaya untuk memperbaiki sifat fisik dan kimiawi dari abu vulkan yaitu dengan memanfaatkan *biochar*. Abu vulkan perlu mendapat tambahan asupan unsur hara dari pupuk dimana dalam penelitian ini digunakan pupuk organik yang berupa kompos sampah kota. Penelitian ini mengkaji kombinasi takaran yang paling baik antara abu vulkan, arang sekam dan kompos sampah kota yang optimum untuk tanaman selada keriting. Penelitian yang lain masih terbatas pada abu vulkan sebagai pembenah tanah, sedangkan penelitian ini abu vulkan sebagai media dengan tambahan pembenah berupa *biochar* dan pupuk kompos.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2014 hingga Februari 2015 di rumah kaca Kuningan Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Analisis sifat kimia dan sifat fisika dilaksanakan bertempat di Laboratorium Tanah Umum dan Laboratorium Fisika Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Yogayakarta, mulai bulan Maret sampai Desember 2015. Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan bahan bahan yang diperlukan yaitu abu vulkan yang berasal dari sisa erupsi Gunung Kelud yang terjadi pada Februari 2014. Pupuk kompos yang dibuat dari serasah dan sisa sampah kota. Arang sekam padi yang produksi di Bantul, Yogyakarta.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) memanfaatkan abu vulkan yang mengganggu lingkungan menjadi media tanam sayuran, khususnya selada keriting; (2) menentukan campuran media tanam abu vulkan, *biochar* dan pupuk kompos yang optimum untuk sistem pertanaman vertikal; (3) menentukan efisiensi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

pemanfaatan radiasi matahari, air, pupuk dan lahan tanaman selada keriting pada sistem pertanaman vertikal. Selain itu, penelitian ini terdiri atas 5 (lima) tahap penelitian: (1) kajian awal mengenai karakteristik bahan (abu vulkan, *biochar* dan kompos sampah kota); (2) percobaan untuk mencari takaran kombinasi campuran abu vulkan, *biochar* dan pupuk kompos sampah kota yang optimal dalam menghasilkan tanaman selada pada sistem pot; (3) mengkaji karakteristik campuran media setelah inkubasi tanpa tanaman; (4) efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan tanaman sayuran sistem pertanaman vertikal; dan (5) mengkaji efisiensi pemanfaatan radiasi tanaman sayuran sistem pertanaman vertikal.

Karakteristik bahan awal dilakukan analisis abu vulkan untuk menguji pH (H_2O); (KCl); DHL; C.organik; KPK; Ca total, - N total; P – tersedia dan K – tersedia. Analisis arang sekam meliputi: pH (H_2O). (KCl); DHL; C.organik; KPK; Ca total, - N total; P – tersedia dan K – tersedia. Analisis pupuk sampah kota meliputi : pH (H_2O). (KCl); DHL; C.organik; KPK; Ca total, - N total; P – tersedia dan K – tersedia. Analisis tanah setelah proses inkubasi meliputi : pH (H_2O). (KCl); DHL; C.organik; KPK; N total; P – tersedia dan K – tersedia.

Rancangan percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) atau *Completely Randomized Design* (CRD) untuk penelitian 2-3-4 dengan 3 faktor, faktor pertama perbandingan kombinasi abu vulkan dengan arang sekam dan faktor kedua perbandingan faktor pertama dengan pupuk kompos. Sedangkan penelitian ke 5 dengan RAKL atau RCBD (*Randomized Complete Block Design*) sebagai blok adalah musim tanam atau faktor radiasi.

Efisiensi pemakaian radiasi matahari (Epr) didifinisikan sebagai banyaknya produksi bahan kering tanaman per satuan energi radiasi matahari yang diterima $g.MJ^{-1}$ (Murchie, 2002 ; Kalangi, 2006). Efisiensi pemakaian air (Epa) dapat dirumuskan sebagai produksi bahan kering per satuan volume air (g/kg).(Sing dan Sinha,1977; Sumaryanto. 2005; Bezerra, 2012). Efisiensi pemakaian pupuk (Epp) dapat dirumuskan Produksi bahan yang dikonsumsi kg per penambahan pupuk kg ($kg.kg^{-1}$) (Witt, 2007). Serta, efisiensi pemanfaatan lahan (Epl) dapat dirumuskan dengan pendekatan yang sama, produksi bahan yang dikonsumsi per satuan luas lahan ($kg.m^{-2}$).

Hasil analisis media, pertumbuhan dan hasil tanaman kemudian dilanjutkan dengan sidik ragam (*Analysis of variance*) untuk mengetahui adanya perlakuan yang berpengaruh beda nyata. Apabila pengaruhnya nyata (F hitung > F tabel) dengan jenjang nyata 5% maka dilanjutkan dengan Uji Duncan Multiple Range Test

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

(DMRT) untuk mengetahui perlakuan yang berbeda nyata untuk penelitian 2, untuk 3-4-5 menggunakan HSD Tukey 5% (*Honest Significant Deference*).

Sifat kimia Abu vulkan gunung Kelud memiliki kemasaman (pH) aktual berharkat agak masam (6,31) dan pH potensial dengan nilai 5,38 (harkat masam). Kemasaman menggambarkan ion hydrogen yang tersdapat dalam abu vulkan, hal ini akan mempengaruhi proses dalam media tanah, khususnya keterlarutan dan terendapkan dipengaruhi oleh pH tanah Pertumbuhan tanaman dengan sendirinya juga dipengaruhi keasaman tanah. Kapasitas Penukaran Kation merupakan kemampuan tanah menjerap atau menukar kation yang biasa dinyatakan dalam $cmol^{+}.kg^{-1.}$ KPK abu vulkan memiliki nilai 2,74 $cmol^{+}.kg^{-1}$ atau berharkat sangat rendah. Hal ini terutama dipengaruhi fraksi lempung dan tidak ada kandungan bahan organik.

Abu vulkan tidak mengandung bahan organik dan N total, karena pada saat erupsi gunung berapi suhu mencapai 1500 ^{o}C, sehingga bahan organik dan N akan terbakar habis. Nilai Daya Hantar Listrik (DHL) menunjukkan tingkat kegaraman larutan tanah, hasil analisis abu vulkan memiliki DHL 0,15 mS/cm atau memiliki harkat bebas garaman. P tersedia berharkat sedang, K tersedia rendah. Kandungan P tersedia abu vulkan termasuk sedang dengan nilai 9,88 $mg.kg^{-1}$. Kandungan P abu vulkan masih dalam bentuk batuan yang belum lapuk sehingga belum tersedia bagi tanaman. Kandungan K tersedia Abu vulkan sebesar 0,12 $cmol^{+}.kg^{-1}$ atau berharkat rendah, rendahnya K abu vulkan karena belum terlapuk.

Bahan pembenah arang sekam padi mempunyai nilai pH (H_2O) 7,07 dan nilai DHL 0,5 mS/cm. Kandungan C organik sebesar 9,60% setara dengan kandungan bahan organik 11,242%. Nilai KPK arang sekam padi 5,34 $cmol^{+}.kg^{-1.}$ Kandungan N total arang sekam 0,52%, kandungan P total 0,33% dan kandungan K total 0,96%. Arang sekam mempunyai potensi dalam memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, serta dapat pula sebagai sumber unsur hara dan berperan untuk konservasi carbon organik dalam tanah. Pemanfaatan arang sekam ke dalam media abu vulkan dapat meningkatkan ketersediaan kation utama NPK dan kapasitas pertukaran kation (KPK) yang pada akhirnya meningkatkan produktifitas tanaman.

Pupuk organik yang digunakan adalah pupuk kompos sampah kota. Kemasaman pupuk kompos agak alkalis (8,19), tingkat kegaraman sangat rendah, KPK tinggi (22,51 $cmol^{+} Kg^{-1}$), N, P dan K total rendah. Pupuk kompos sampah kota dapat memberikan peran perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah, antara

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

lain struktur tanah, sumber unsur hara bagi tanaman, meningkatkan aktivitas jasad renik, meningkatkan KPK.

Hasil analisis Duncan Multipe Range Test (DMRT) antar perlakuan pada percobaan tahap 2 (penanaman di pot) menunjukkan bahwa sebagian besar pengaruh campuran media berbeda sangat nyata, khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun, berat basah dan berat total. Perlakuan M_{01} adalah 100% abu vulkan tanpa arang sekam dan pupuk kompos tidak dapat menghasilkan, hasil panen masih sama seperti ukuran saat tanam.

Pengaruh faktor M dan K secara tunggal menunjukkan bahwa hasil tanaman tertinggi pada perlakuan M_3 dan kompos K_3, dilihat pengaruh kombinasi antara media dan kompos, dapat dilihat bahwa perlakuan takaran terbaik adalah M_3*K_3 dengan bobot hasil ekonomi 50,38 gram per tanaman. Komposisi takaran M_3K_3 adalah 25% abu vulkan, 25% arang sekam, dan 50% pupuk kompos sampah kota. Hal menarik yang dapat dilihat adalah penambahan komposisi abu vulkan (M_5 menuju M_1) atau penambahan komposisi arang sekam (M_1 menuju M_5) tidak menjamin adanya penambahan hasil terutama pada takaran kompos K_2 (perbandingan media terhadap kompos 2:1) dan K3 (1:1).

Hasil penelitian tahap 2 akhirnya dipilih takaran arang sekam tertinggi M_3 dan kompos K_3. Perlakuan M_4 dan M_5 tidak dilakukan sebagai dasar untuk perlakuan tahap selanjutnya. Penelitian tahap 3 dengan pertlakuan M*K, tahap 4 dengan perlakuan M*K*P, dan tahap 5 kombinasi M*K*R.

Penelitian tahap 3 campuran takaran M dan K diinkubasi tanpa tanaman kemudian dianalisis sifat fisik dan kimia, diperoleh hasil bahwa pengaruh arang sekam secara umum berbeda .sangat nyata terhadap parameter sifat fisik dan kimia campuran media, demikian juga pembenah kompos sampah kota juga sangat nyata, kecuali nilai DHL. Pengaruh pembenah dibanding abu vulkan murni sebagai kontrol dengan kontras orthogonal dapat dinyatakan bahwa semua parameter berbeda sangat nyata dengan kontrol abu vulkan.

Pengaruh pembenah dicampur abu vulkan dibanding abu vulkan murni sebagai kontrol dengan kontras orthogonal dapat dinyatakan bahwa semua parameter berbeda sangat nyata kecuali nilai DHL yang tidak berbeda nyata. Parameter yang beda nyata tetapi meningkat : pH (H_2O) dan (KCl), C organik, bahan organik, KPK, N total, P tersedia, K tersedia, dan pF. Sedangkan yang mengalami penurunan adalah BJ, BV dan KLT (KL-TL).

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Penambahan arang sekam dan kompos dapat meningkatkan pH (H_2O) dari agak masam menjadi netral, sedangkan pH KCl dari masam menjadi netral. Penambahan pembenah dapat meningkatkan daya hantar listrik tetapi tidak berbeda yata. Demikian juga bahan organik meningkat tiga kali dibanding abu vulkan awal. KPK semula berharkat sangat rendah meningkat menjadi rendah, Nitrogen total dari sangat rendah menjadi rendah, sedangkan P dari sedang menjadi tinggi dan K dari rendah menjadi sedang. Ini menunjukkan terjadinya peningkatan kesuburan kimiawi yang semakin baik.

Kombinasi M_1K_1 secara umum mempunyai nilai parameter lebih rendah dari M_2K_2 dan paling tinggi M_3K_3 kecuali berat jenis, berat volume dan kapasitas lengas tersedia. Khusus BJ dan BV makin tinggi takaran arang sekam dan kompos nilai makin turun, yang bermakna makin baik kesuburan fisik makin longgar media tersebut.

Pada penelitian tahap keempat, perlakuan M*K*P penanaman pada sistem pertanaman vertikal menunjukkan bahwa pengaruh campuran media dan pupuk kompos serta populasi tanaman berbeda sangat nyata pada semua parameter yang diamati: pertumbuhan tanaman :jumlah daun, tingggi tanaman, berat segar konsumsi, berat akar dan berat total serta berat kering. Kebutuhan air serta nilai efisiensi pemanfaatan air, pupuk dan lahan.

Hasil analisis *Honest Significant Difference* (HSD) antar perlakuan faktor media menunjukkan bahwa khususnya pertumbuhan tanaman (jumlah daun berat basah, dan berat total. Media yang baik adalah M_3. Sedangkan pada factor kompos yang paling baik adalah K_3, untuk kerapatan kolom terkait hasil per m2 adalah P_1 atau 4 kolom per m^2. Perlakuan yang terbaik pada M_3K_3 dengan takaran abu vulkan 25%, arang sekam 25% dan pupuk kompos 50% dengan hasil berat segar konsumsi 500 $g.kolom^{-1}$.

Kombinasi faktor M*K*P (arang sekam, kompos dan populasi) disimpulkan bahwa makin tinggi dosis *biochar* dan pupuk kompos pertumbuhan tanaman selada keriting makin baik kira-kira dua kali lipat dan dapat dipakai pada sistem pertanaman vertikal. Takaran arang sekam dengan perbandingan terbaik pada M_3 dengan campuran abu vulkan 25% dibanding arang sekam 25%, takaran pupuk kompos K_3 dengan takaran 50%. Kombinasi terbaik produksi bobot hasil ekonomi adalah M_3K_3 dengan berat 556 g/kolom, dan makin turun dengan takaran arang yang lebih rendah, terkecil pada M_1K_1 hanya 385 g/kolom. Efifisiensi penggunaan air tertingggi sebesar 2,1 pada P_3 tidak berbeda dengan P_1, pada takaran arang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

sekam optimum diperoleh sebesar 25% dan pupuk kompos sampah kota optimum sebesar 50% volume.

Hasil penelitian tahap 5 dengan perlakuan kombinasi faktor M*K*R (arang sekam, kompos dan radiasi matahari) disimpulkan bahwa makin tinggi dosis *biochar* dan pupuk kompos pertumbuhan tanaman selada keriting makin baik dan abu vulkan dapat dipakai sebagai media tanam pada sistem pertanaman vertikal.

Hasil pengukuran dan perhitungan intensitas radiasi selama musim tanam (35 hari) berturut-turut sebagai berikut : Musim tanam 1 (R_1) = 400 MJ, R_2 = 269 MJ dan R_3 = 359 MJ. Hasil selada konsumsi kering tertinggi pada musim kedua (R_2) sebesar 47,6 g, R_1 = 43,8 g dan R_3 = 23,4 g. Nilai efisiensi pemanfaatan radiasi matahari tertinggi diperoleh pada musim tanam kedua sebesar 0,17 $g.MJ^{-1}$, berikutnya musim tanam pertama sebesar 0,11 $g.MJ^{-1}$ dan terendah musim tanam ketiga sebesar 0,06 $g.MJ^{-1}$.

Takaran (M_3K_3) abu vulkan sebesar 25% dan arang sekam 25% dan 50% pupuk kompos sampah kota dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia media dan menjadi paling baik dan juga menunjukkan hasil tanaman selada keriting terbaik penanaman pada kolom vertikal menghasilkan 584 g/kolom. M_3R_2 sebesar 645 g/kolom dan K_3R_2 614 g/kolom. Efisiensi penggunaan radiasi matahari pada sistem pertanaman vertikal tertinggi sebesar 0,17g/MJ pada intensitas radiasi 269 MJ (musim tanam Nopember – Desember) bertepatan dengan matahari paling jauh dengan lokasi.

Hasil penanaman pada sistem pertanaman vertikal supaya lebih optimal, disarankan untuk menggunakan campuran media M_3, takaran kompos K_3, radiasi R_2. Peningkatan efisiensi penggunaan air dapat dilakukan dengan meningkatkan hasil tanaman (pembilang) melalui perbaikan kesuburan kimiawi. Sifat fisik menunjukkan perbaikan untuk media tanam, sedangkan sifat kimia khusus Nitrogen masih rendah mengakibatkan takaran tertinggi belum mencapai hasil konsumsi segar ukuran optimal.

Penggunaan kompos sampah kota yang berkadar N rendah mengakibatkan hasil tanaman selada keriting belum dapat optimal, perlu penggunaan pupuk yang berkadar N lebih tinggi untuk mencapai ukuran yang normal. Pada waktu radiasi matahari berlebih dapat dikurangi dengan naungan paranet sesuai dengan keragam radiasi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

EFFICIENCY OF SOLAR RADIATION, WATER, FERTILIZER AND LAND ON VEGETABLES USING VERTICAL CROPPING SYSTEM WITH VOLCANIC ASH AS A MEDIUM

Mulyono Nitisapto

SUMMARY

Various activities of the volcanoes do have both positive and negative impacts on people's lives. One of the negative impacts is the eruption events that cause the volcanic materials released from the volcano and can harm the people and affect the weather conditions and even the climate. Volcanic ash is one of the volcanic materials which contain nutrients that are good for the soil. The benefits given after an eruption brings significant influence to the soil. Based on the existing literature, the eruption of Mount Talang in Padang in 2005 indicated significant effect on soil fertility improvement (Fiantis, 2006).

Volcanic ash from volcanoes can also cover the crops grown by the farmers and make the crops damaged or even die. Other problem of volcanic ash is its quick sedimentation and hardening. When rainfall is high and far beyond the water capacity of the soil surface, it will form a very water-saturated surface. Volcanic ash becomes an important environmental issue because of its considerable amounts during post-eruption and may disrupt the environmental balance. Although volcanic ash itself has the potential to increase soil fertility, its utilization in agriculture is very little and limited. This is inversely proportional to the existence of active volcanoes in Indonesia that release volcanic ash every year.

Volcanic ash covering the topsoil layer will begin the process of new soil formation by weathering. Volcanic ash deposited above the soil experiences chemical weathering with the help of water and organic acids existed in the soil. The weathering process of volcanic ash takes a very long period of time that can reach thousands or even millions of years if it occurs naturally. The weathering result of volcanic ash will be the increase of kationic levels (Ca, Mg, K and Na) in the soil up to 50% from the previous state (Fiantis, 2006). Volcanic ash can be functioning as an ameliorant that can reduce land degradation as well as the nutrients supplier. Nutrient content in volcanic ash includes Fe, Al, Ca, Mg, Mn, S, P, K, Na, Cu, Zn, Ti and Si. It also has a more complete composition than lime containing macro and micro nutrients and with 40% acidity neutralizing power that is equivalent to $CaCO_3$ (Subiksa *et al.*, 1997).

Volcanic ash used in this research was from Mount Kelud which erupted on February 13, 2014 because volcanic ash from Mount. Merapi in 2010 has been

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dissapeared and difficult to find. Mount Kelud is one of the active volcanoes in Indonesia is located in Kediri, East Java with a peak height of 1371 mdpl. It is one of the nine most dangerous mountains in the world. It has strato volcano type with a crater lake. Its activity is indicated by the frequent intensity of the eruption. Since 1900, the eruption interval of the mountain ranged between 15-32 years (Rusbianto, 1992).

Utilization of volcanic ash as planting media has a constraint: it is quickly sedimentized and hardened when exposed to water. Hardened volcanic ash will make the roots of the plant difficult to develop and can cause the plants withered and then died. One of the efforts to improve its physical condition is by utilizing *biochar*. *Biochar* is an ingredient with high carbon content derived from wood biomass as well as residual crop processing products that are heated in a container with little or no air (Lehman and Joseps, 2009). It is also one of the soil amendments that can improve the soil quality.

The potential use of *biochar* in Indonesia is quite large, considering that the raw materials such as charcoal husk, coconut shell, and wood are greatly available. Charcoal making from these materials is well known in Indonesia; however it has not been utilized as a soil amendment. The utilization of *biochar* from agricultural waste has many benefits. In addition to utilizing the agricultural product residues that are difficult to decompose, it can also improve the quality of soil physical properties so that crop production can increase. *Biochar* can improve soil quality and be used as an alternative soil amendment. More specifically, giving *biochar* to the soil potentially increases the C content, water retention and nutrients in the soil. Another advantage of *biochar* is the carbon content being stable and can be stored for thousands of years in the soil (Gani, 2009).

Charcoal husk is a rice by-product and one of industrial wastes. Such waste may cause environmental pollution. Besides being used for soil amendment materials, it also has the potential to improve the composting process so that the compost matures faster. Also, the addition of charcoal husk in the composting process can also increase the nutrients in the compost itself. It lessens the loss of N in the composting process given with the charcoal husk (Theba *et al.*, 2012).

Charcoal husk has a very light specific gravity (0.20 $g.cm^{-3}$). Its physical property is coarse with high air circulation and water capacity that can reduce the influence of diseases, especially those caused by bacteria. Furthermore, Djatmiko (1985 in Purnamasari, 2008) stated that the charcoal husk added into planting

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

media are able to reduce the media weight, very quickly increase the pore space of drainage and slowly decrease the water holding capacity.

Carter *et al.* (2013) conducted a research on the influence of charcoal husk application on the growth of lettuce (*Lactuca sativa*) and Chinese cabbage (*Brassica chinensis*) planted in pots within three crop rotations (cabbage-cabbage-lettuce). The results showed that the use of charcoal husk can increase plant and root biomass, height and number of leaves within all crop rotation compared to treatment without charcoal husk. The highest increase of biomass was found in the addition of charcoal husk in un-nurtured soil. The addition of charcoal husk can increase soil pH and CEC.

Urban waste compost is actually one of organic fertilizers. It comes from organic waste generated from household activities. Organic waste from household comes in large quantities and potential as organic fertilizer for various agricultural activities. Organic waste is generally biodegradable, which can decompose into simpler compounds thanks to soil microorganism's activities (Sulistyawati and Ridwan, 2012). The decomposition of organic waste contains many of the elements needed by plants, so it is very suitable as organic fertilizer. Generally, solid waste from towns and villages contains more than 75% of decomposable material. In general, the most abundant components of waste in some cities in Indonesia are the plant remains that reach 80-90%. The amount of decomposable waste components is potential as source of humus, macro and micro nutrients and soil conditioner (Setiyo, 2007).

This study used the lettuce plant (*Lactuca sativa* L.) which is a widely consumed leaf vegetable. Lettuce is in great demand and favored as salads, side dish and garnish. Besides, it has color, texture and aroma that refresh the appearance of food so as to increase appetite. Lettuce contains many sources of minerals, pro-vitamin A, vitamin C and fiber (Rubatzky and Yamaguchi, 1998). Along with changes in people's lifestyles, including how to select food, it is possible that the need for lettuce will increase.

Utilization of volcanic ash as planting media has to cope with a constraint that it is fast sedimentized and hardened when exposed to water. One of the efforts to improve the physical and chemical properties of volcanic ash is by utilizing *biochar*. Volcanic ash requires additional nutrient intake from fertilizer in which this research used organic fertilizer in the form of city waste compost. This study examined the best and optimum doses combination of volcanic ash, charcoal husk

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

and urban waste compost for curly lettuce growth. Other studies were still limited to volcanic ash as a soil enhancer, while this study observed the volcanic ash as the planting media with additional amendment of *biochar* and compost.

The study was conducted from August 2014 to February 2015 at the Kuningan Greenhouse of Faculty of Agriculture, Gadjah Mada University, Yogyakarta. The analysis of chemical and physical properties was conducted at the General Soil Laboratory and Soil Physics Laboratory, Faculty of Agriculture, Gadjah Mada University, Yogyakarta, from March to December 2015. This research began by preparing the required materials such as the left of volcanic ash derived from Mount Kelud eruption which occurred in February 2014. Compost fertilizer made from litter and urban waste. Charcoal husk production was in Bantul, Yogyakarta.

The objectives of this study were to: (1) utilize volcanic ash that is known as the disruption to the environment to be used as planting media for vegetables, especially curly lettuce; (2) determine the optimum mixture of volcanic ash as planting media, *biochar* and compost for vertical cropping system; (3) determine the utilizing efficiency of solar radiation, water, fertilizer and field for vertical cropping system of curly lettuce. Also, this study consisted of 5 (five) research phases: (1) preliminary study on material characteristics (volcanic ash, *biochar* and urban waste compost); (2) an experiment to identify the combined dosage of volcanic ash, *biochar* and optimum urban waste compost fertilizer in producing lettuce plant in pot system; (3) examination of characteristics of mixed media after incubation without crops; (4) identification of efficiency of water utilization, fertilizer and vegetable crop plantation in vertical cropping system; and (5) assessing the efficiency of radiation utilization for vegetable crops in vertical cropping systems.

Initial material characteristics of volcanic ash were analyzed to test the pH (H_2O); (KCl); EC; C.organic; CEC; Total Ca, -N total; P-available and K-available. Charcoal husk analysis included: pH (H_2O), (KCl); DHL; C.organic; CEC; Total Ca, -N total; P-available and K-available. The analysis of urban waste included: pH (H_2O). (KCl); EC; C.organic; CEC; Total Ca, -N total; P-available and K-available. Soil analysis after the incubation process included: pH (H_2O). (KCl); EC; C.organic; CEC; N total; P-available and K-available.

The experimental design used Completely Randomized Design (CRD) for 2-3-4 experiment with 3 factors. The first factor compared the combination of volcanic ash with charcoal husk and the second factor compared the first factor with

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

the compost. While the 5th experiment with RCBD (Randomized Complete Block Design) as the block was the cropping season or the radiation factor.

The efficiency of solar radiation (Epr) is defined as the amount of produced dry matter per unit of solar radiation energy received by $G.MJ^{-1}$ (Murchie, 2002; Kalangi, 2006). The water use efficiency (Epa) can be formulated as the production of dry matter per unit of water volume ($g.kg^{-1}$). (Sing and Sinha, 1977; Sumaryanto, 2005; Bezerra, 2012). Fertilizer application efficiency (Epp) can be formulated as the production of kg material consumed per kg additional fertilizer (kg/kg) (Witt, 2007). Also, land use efficiency (EPL) can be formulated using the same approach that is the production of materials consumed per unit land area ($kg.m^{-2}$).

The analysis results of media, growth and crop yields were then continued with Analysis of Variance to determine the existence of treatment with significant effect. When the effect was real (F arithmetic> F table) with 5% of real rate, it was then proceed with Duncan Multiple Range Test (DMRT) to identify the treatment with real difference in Phase 2, and HSD Tukey 5% (Honest Significant Deference) for Phase 3-4-5.

The chemical properties of the volcanic ash of Mount Kelud included actual acidity (pH) with slight level acidic (6.31) and potential pH of 5.38 (sour degree). Acidity describes the hydrogen ions existed in volcanic ash that will affect the process in the soil media, especially that the solubility and sedimentation are influenced by soil pH. Thus, the crop growth consequently is affected by the soil acidity. Cation Exchange Capacity is the ability of the soil to absorb or exchange the usual Cation and expressed in $cmol^{+}.kg^{-1}$. CEC of volcanic ash value was 2.74 $cmol^{+}.kg^{-1}$ or considered as very low. This was mainly influenced by the low clay fraction content with no organic matter.

The volcanic ash contained no organic material and N total, because at the time of eruption, the temperature reached 1500 ^{o}C that would burn out the organic material and N. The electrical conductivity (EC) value showed the acidity degree of the soil solution. The result of volcanic ash analysis was EC 0.15 $mS.cm^{-1}$ or in salt-free clearance state. P was available in medium degree and K was available in low degree. The available P content in the volcanic ash was considered in medium degree with value of 9.88 $mg.kg^{-1}$. The content of volcanic ash was still in the form of rock that had not been weathered enough, thus it was not yet available for the plant. K available in the volcanic ash was 0.12 $cmol^{+}.kg^{-1}$ or considered as low degree because the volcanic ash had not been weathered.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

As the amendment material, charcoal charcoal husk had pH value of (H2O) 7.07 and DHL value of 0.5 mS / cm. The content of organic C was 5.71% and equivalent to 11.24% of organic matter content. The CEC value of charcoal charcoal husk was 5.34 $cmol^{+}$. Kg^{-1}. The total N, P and K contents of the charcoal husk were 0.52%, 0.33% and 0.96%, respectively. The charcoal husk was potential to improve the physical, chemical and biological properties of the soil, and could also be the source of nutrients and contribute to the conservation of carbon organic in the soil. The utilization of charcoal into volcanic ash media would increase the availability of main kation of NPK as well as the Cation exchange capacity (CEC) which ultimately would increase the crop productivity.

The organic fertilizer used was the urban waste compost. The compost fertilizer acidity was slightly alkaline (8,19), with very low salinity rate, high CEC (22.51 $cmol^{+}.Kg^{-1}$), and low N, P and K total. Urban waste compost fertilizers could improve the physical, chemical and biological properties of soil, including soil structure, nutrient source for plants, increasing microorganism activity as well as increasing the CEC.

The results of Duncan Multiple Range Test (DMRT) analysis between treatments in Phase 2 (pot planting) showed that most of the influence of media mixture differed significantly, especially in the plant growth (number of leaf, wet weight and total weight). M_{01} treatment consisted of 100% volcanic ash without charcoal husk and compost fertilizer. It could not produce and the yield was still the same size as when planted.

The influence of M and K factors showed that the highest yield was from M_3 and K_3 compost based on the influence of combination between media and compost. It was indicated that the best dose treatment was M_3*K_3 with fresh consumption weight of 50,38 gram per plant. M_3K_3 dosage composition was 25% of volcanic ash, 25% of charcoal husk, and 50% of urban waste compost fertilizer. It was interesting to note that the addition of the volcanic ash composition (M_5 to M_1) or the addition of charcoal husk composition (M_1 to M_5) did not guarantee increasing yield, especially from compost doses of K_2 (media: compost = 2: 1) and K_3 (1: 1).

The Phase 2 of the research finally selected that the highest dose was charcoal M_3 and compost K_3. The M_4 and M_5 treatment was not performed as the basis for subsequent treatment. The phase 3, 4 and 5 of the research consisted of M*K treatment, M*K*P treatment, and M*K*R combination, respectively.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The phase 3 of the research included the mixture with doses of M and K incubated without plants and its physical and chemical properties were then analyzed. The obtained result indicated that the influence of charcoal husk in general was significantly different to the physical and chemical parameters of the media mixture, so was the urban waste compost amendment, except the DHL value. Based on the influence of amendment in compare to pure volcanic ash as the control by using the orthogonal contrast, it could be stated that all parameters were significantly different form the control volcanic ash.

The influence of amendment mixed with volcanic ash was compared to pure volcanic ash as the control based on orthogonal contrast. It could be stated that all of the difference in the parameters were significant except the CEC values that were not significantly different. Significantly different but increasing parameters were pH (H_2O) and (KCl), organic C, organic matter, CEC, N total, available P, available K, and pF. While the decreasing parameters were SG, BD and FC-WP and AWC.

The addition of charcoal husk and compost could increase the pH (H_2O) from slightly acid to neutral, while the pH of KCl was from acid to neutral. The addition of the amendment would increase the electrical conductivity but not significantly different. Likewise, organic matter increased three times in compare to the initial volcanic ash. The initial CEC increased from very low to low degree. Total Nitrogen increased from very low to low degree, while P was from medium to high and K was from low to medium.

The combination of M_1K_1 generally resulted in parameter value that was lower than M_2K_2, with the highest result from M_3K_3 except the specific gravity, volume weight and available moisture capacity. Especially for SG and BD, the higher the dose of charcoal husk, the compost value decreased indicating better physical fertility of the media.

In the phase 4 of the research, M*K*P treatment on vertical cropping system showed that the influence of mixed media and compost fertilizer to the plant population was very significant in all parameters observed: plant growth, number of leaf, plant height, fresh weight of consumption, weight root and total weight and dry weight, water demand and efficiency, fertilizer and land use.

The result of Honest Significant Difference (HSD) analysis between media factor treatments showed that in particular, the plant growth (the number of wet weight leaves, and the total weight) of a proper media was M3, whereas the best

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

compost factor was K_3, and the corresponding column density yield per m^2 was P_1 or 4 columns per m2. The best treatment was from M_3K_3 with 25% of volcanic ash, 25% of charcoal husk and 50% of compost fertilizer with fresh weight obtained of 500 g / column.

It can be concluded that based on the combination of M*K*P factor (charcoal husk, compost and population), the higher dose of *biochar* and compost fertilizer, the better the growth of curly would be. Thus, it was applicable for vertical cropping system. The dose of charcoal husk with best ratio was from M_3 treatment with 25% of volcanic ash mixture and 25% of charcoal husk, and K_3 compost fertilizer dose of 50%. The best combination of economical yield weight was M_3K_3, weighing 556 g/column. It decreased considerably due to lower dose of charcoal. The smallest was from M_1K_1 with only 385 $g.column^{-1}$. The highest efficiency of water use was 2,1 in P_3 and not different from P_1 at optimum dose of 25% of charcoal husk and 50% of urban compost fertilizer.

The result of phase 5 of the research on the combination of M*K*R factor (charcoal husk, compost and solar radiation) concluded that the higher dose of *biochar* and compost fertilizer provided better growth of curly lettuce, indicating that the volcanic ash can be used as planting media for the vertical cropping system.

The measurement and calculation results of radiation intensity during the planting season (35 days) were as follows: Planting season 1 (R_1) = 400 MJ, R_2 = 269 MJ and R_3 = 359 MJ. The highest yield of dry consumption lettuce in the second season (R_2) was 47.6 g, R_1 = 43.8 g and R_3 = 23.4 g. The highest utilization value of solar radiation was obtained from the planting season 2 = 0.17, then season 1 = 0.11 and the lowest was from planting season 3 = 0.06

The (M_3K_3) dose of 25% of volcanic ash (M_3K_3), 25% of charcoal husk and 50% of urban waste compost could improve the physical and chemical properties of the media and became the best dose and indicated the best curly plant crop yields on a vertical cropping column by 584 g/columns with M_3R_2 by 645 g/column and K_3R_2 by 614 g/column. The highest solar radiation efficiency in the vertical cropping system was 0.17g/MJ at radiation intensity of 269 MJ (planting season November - December) which coincided with the farthest distance of sun from the location.

In order to obtain the best optimum result of vertical cropping system, it is recommended to use the 25% charcoal husk media mixture, 50% compost, and 269 MJ of radiation. Increased efficiency of water use could be done by increasing the yield of plants (numerator) through chemical fertility improvement. Physical

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

properties showed improvement of planting media, while the special chemical property of Nitrogen were still low that even the highest doses could not reach optimum size of fresh consumption result.

The use of low Nitrogen urban waste compost resulted in curly lettuce growth that could not be optimum. It is required to use fertilizers with higher Nitrogen levels to achieve normal size. Under the excessive solar radiation condition, it can be reduced by installing paranet shade adjusted to the radiation diversity.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PUSTAKA

Afeng, Z., B. Rongjun, P. Genxing, , C.Liqiang, , H.Qaiser & L. Lianqing. 2012. Effects of *biochar* amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles. Field Crops Research, Elsevier. 127 (2012) :153-160.

Aini, R.Q., Yaya S., dan Muhammad, N.H. 2010. Penerapan bionutrien KPD pada tanaman selada keriting (*Lactuca sativa* var. crispa). Jurnal Sains dan Teknologi Kimia 1: 73-79.

Alloyson, S. 2011. *Biochar* productin for carbon sequestration. A Major Qualifying Project to Fac. WPI. Shanghai Jiao Tong University.

Anonim, 1983. Peningkatan efisiensi pemanfaatan airpada tingkat usahatani. Prosiding Diskusi Panel UGM-DPU, 16-18Maret 1983.

Anonim. 2003. Pupuk organik tingkatkan produksi pertanian. <http://www.pustaka-deptan.go.id/publication/wr276057.pdf>. Diakses Tanggal 1 Juli 2014.

Anonim. 2009. Permentan No.41 Tahun 2009 tentang Pengembangan Kawasan Hortikultura

Anonim. 2010. Pedoman Umum Pengembangan Kawasan Hortikultura. Ditjen Hortikultura. Kementerian Pertanian Jakarta.

Anonim. 2012. How is *biochar* made ?. Sustainable Obtainable Solutions Helena, Montana

Anonim, 2015. Recana Strategis Kementerian Pertanian Tahun 2015 – 2019. Biro Perencanaan, Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian. Pasar Minggu, Jakarta

Ashari. S. 2006. Hortikultura, aspek dan budidaya. Universitas Indonesia Press. Jakarta.

Barrow, C.J. 2012. *Biochar* : Potential for countering land degradation for improving agriculture. Aplied Geography. Elsevier 34(2012) : 21 – 28.

Bestari, S. A., Dewi A., dan Muhammad B. R. 2011. Fungsionalisasi sampah organik pasar tradisional sebagai bahan bakar, pupuk dan pakan ternak bernilai ekonomis. PKM Gagasan Tertulis. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Bezerra, B.G. 2012. Crop evapotranspiration and water use efficiency National Institute of Semi Arid (INSA) Brazil . Irrigation Systems and Practices in Challenging Environments.

Biswass, A.K. 1982. Applying systems analysis developing countries. Ceres 15 (6): 40-42.

Brady, N.C. 1990.The nature and properties of Soil. Mac Millan Publishing Co., New York.

Cahyani, V.R.1996. Pengaruh inokulasi mikorisa vesikular-arbuskular dan perimbangan takaran kapur dengan bahan organik terhadap pertumbuhan tanaman jagung pada tanah Ultisol Kentrong, Tesis. Pasca Sarjana UGM,Yogyakarta.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Chan, K.Y., L. van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomic values of greenwaste *biochar* as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research, 45 : 629-634.

Damanhuri, E., 2006. Konsep rancang bangun dan pengembangan prototipe pengomposan dan daur ulang sampah terpadu skala kawasan RT/RW, INA : TL ITB. Bandung.

Damastuti, A.P. 1996. Pertanian sistem vertikultur. Wacana 3: 1-5.

Delgado, J. A. and R. F. Follett. 2002. Carbon and nutrient cycles. J. Soil and Water Conserv. Vol 57 no. 6: 455-464.

Dewi, W.S. 1996. Pengaruh macam bahan organik dan lama prainkubasinya terhadap status P tanah Andisol. MS. Thesis, UGM,.Yogyakarta.

Fiantis, D., 2006. Laju pelapukan kimia debu vulkanis gunung talang dan pengaruhnya terhadap proses pembentukan mineral liat Non-Kristalin. Universitas Andalas. Padang.

Fiantis, D. , D. Nelson, E.Van Reast, J.Shamshudin, N.P. Qaoku. 2009. Chemical wethering of new pyroclastic depsits from Mt. Merapi (Java), J.Mt Sci (2009) 6 : 240 – 254.

Filiberto, D. M and John L. G. 2013. Practicality of *biochar* additions to enhance soil and crop productivity. Agriculture Journal 3 : 715 – 725.

Fu, W., Li P. Wu, Y. and Tang, J. 2012. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce. Hort Sci. (Pragus). Vol 39.2012.No. 3 : 129-134.

Grieve, A.M. 1988. Water use efficiency of micro irrigated citrus. Proceedings Fourth International Micro Irrigation Congress, Vol. 1. Albury-Wodonga, Australia.

Hadiwiyoto, S., 1983. Penanganan dan Pemanfaatan Sampah, INA : Yayasan Idayu. Jakarta.

Haryanto, E., T. Suhartini, E. Rahayu, dan H. Sunarjono. 2003. Sawi dan Selada (Edisi Revisi). Penebar Swadaya. Jakarta.

Herudjito, D. 1999 Pengaruh bahan humat dari air gambut terhadap sifat-sifat tanah latosol (Oxic Dystropepts). Konggres Nasional VII. HITI. Bandung.

Hipol, L.L.B. and Dionisio-sese, M.L. 2014. Impact of light Variation on the Antioxidant Properties of Red Letutuce. Elect J. Biol. 2014. Vol 10 (2): 28 – 34.

Hoornweg, D. and Bhada-Tata, P. 2012. What a Waste, a global review of solide waste management. Urban Development Series Knowledge Papers. No 15,World Bank.Washington, D.C.

Jen-Hu Chang, 1968. Climate and agriculture, an ecological survey. Aldine Pub. Co. Chicago: 23-35

Kalangi, J.I. 2006. Efisiensi penggunaan radiasi tanaman lobak (Raphanus Sativus L.) pada beberapa kerapatan tanam. Eugenia 12 (2).

Karhu, K. ,T.Mattila, I. Bergström and K. Regina. 2011. *Biochar* addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity – Results from a short-term pilot field study, Agriculture, Ecosystems and Environment, Elsevier. 140 (2011) :309-313.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Kononova, M. M., 1961. Soil organic matter. T. Z.Nowakowski and greenwood (trans.). Pergamon, Oxford.

Lingga, P. dan Marsono. 2007. Petunjuk penggunaan pupuk. Penebar Swadaya. Jakarta.

Lehmann, J. and S. Joseph., 2009. *Biochar* for environmental management sciense and technology. Earthscan in the UK and USA.

Lehmann, J., 2007. Bioenergy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment Vol. 5, Hal: 381—387.

Markus Anda dan Muhrizal Sarwani .2012. Mineralogy, Chemical Composition, and Dissolution of Fresh Ash Eruption: New Potential Source of Nutrients. SSSAJ: Vol. 76 No. 2 March-Apr 2012

McClintock, N. C. and A. M. Diop. 2005. Soil fertility management and compost use in Senegal's Peanut Basin. International Journal of Agriculture Sustainability 3 (2) : 1473 – 1490.

Menzel, S.W.O. 1988. Micro irrigation on a watershed: past, present, and future Proceedings Fourth International Micro Irrigation Congress, Vol. 1. Albury-Wodonga, Australia.

Merit, N. 1990. Drip irrigation management in salad tomato production. The University of Sydney Australia. Thesis.

Murchie, E. 2002. Improving radiation use efficiency in tropical rice.The university of Not tingham. Rice almanac,. Ciat FAO.

Musnamar. 2003. Pupuk organik: cair & padat, pembuatan, aplikasi. Penebar Swadaya. Jakarta.

Nahar Cahyandaru, Ari Swastikawatib & Henny Kusumawati. 2012. Kajian pengaruh abu vulkannik terhadap batu Candi Borobudur. Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur, Vol 6 No.1.

Nasrullah, M. Dradjad & D. Prayitno, 1988. Teknologi produksi pertanian hemat lahan dan air. Makalah Lokakarya Pulang Kandang Alumni Fakultas Pertanian UGM, September 1988,38 h.

Nitisapto, M. 1993. Budidaya sayuran pada sistem pertanian vertikal. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Nurfinayani. 2004. Pemanfaatan berulang larutan nutrisi pada budidaya selada (*Lactuca sativa* L.) dengan Teknologi Hidroponik System Terapung (THST). Departemen Budidaya Pertanian. IPB. Skripsi.

Pan, G., Lin, Z., Li, L., Zhang, A., Zheng, J., Zhang, X., 2011. Perspective on biomass carbon industrialization of organic waste from agriculture and rural areas in China. J. Agric. Sci. Technol. 13, 75–82.

Parfit, R. L. 1980. Chemical properties of varable charge soils In : Theng, B.K.G. ed. Soils wityh variable charge. New Zealand Society of Soil Science. Lower Hutt.pp 167 – 194..

Parthasarathy, M. 1988. High effisiency drip irrigation for the poorest peasants of the third world. Proceedings Fourth International Micro Irrigation Congress, Vol. 1.Albury-Wodonga, Australia

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Partoyo, Joetono, dan Sri Hastuti. 1999. Pengaruh Polisakarida fraksi berat tanah dan asam humat pada pembentukan dan pemantapan agregat regosol. Konggres Nasional VII. HITI. Bandung.

Paul, E.A. and F.E. Clark,1996. Soil Microbiology and Biochemistry.. Acad. Press, 2nd Ed. San Diego.

Priyadarsini K. & Prabhune, R. N. 2009. *Biochar* Carbon Reduction, Sustainable Agricultur and Soil Management. Project Reference Number : ARCP 2009-12NSY Karve, Final Report to APN.

Rest, H.M. , 1983. Hydroponic Food Production. Woodbridge Press Pub. Co. Santa Barbara.

Retnaningtyas, E., Soenarso, Wahyunindyawati, dan Handoko. 2000. Pengkajian rakitan teknologi penanaman terong, sawi daging, dan kalian secara semi hidroponik. Prosiding seminar hasil penelitian/pengkajian BPTP Karangploso, Karangploso.

Rubatzky, V.E. and Yamaguchi, M. 1998. World vegetables: principles, production, and nutritive values, Second Edition (Sayuran Dunia: Prinsip, Produksi, dan Gizi, alih bahasa: Catur Herison) jilid 2. ITB, Bandung.

Sander, D.C., E.A. Estes, T.R.Kousler, W.J. Lamont and J.M. Davis.1988. Economic of Drip and Plastik for muskmelon, pepper and tomatoes. Proc Fourth Inter Micro Irr Conggres, Vol I. Albury-Wodonga, Australia.

Scholes, M.C., Swift, O.W., Heal, P.A. Sanchez, JSI., Ingram and R. Dudal, 1994. Soil fertility research in response to demand for sustainability. In The biological managemant of tropical soil fertility (Eds Woomer, Pl. and Swift, MJ.) John Wiley & Sons. New York.

Seta, A.K. 1987. Konservasi sumberdaya tanah. Kalam Mulia. Jakarta.

Setiadi, B. 1995. Aspek Agronomi Budidaya Kedelai di Lahan Gambut. Suatu Kajian Tanggap Tanaman Terhadap Amelioran. Disertasi Fakultas Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

Setiwan, L. dan Anas D.S. 2007. Optimasi konsentrasi larutan hara pada budidaya selada (*Lactuca sativa* var. Grand Rapids) dengan teknologi hidroponik sistem terapung. Prosiding seminar nasional hortikultura, Surakarta.

Setiyo, Y. 2007. Pengemangan model simulasi proses pengomposan sampah organik. Kanisius. Yogyakarta.

Simon Shockley, Saron Sohi, Stuart Haszeldine, David Manning and Ondrey Masek. 2009. *Biochar* : reducing and removing CO_2 while improving soils, A Significant and Sustainable Response to Climate Change. UK *Biochar* Research Centre.

Sing, N.P. and Sinha, A. K. 1977. Water use efficiency in crop productin. In : Water requirement and irrigation management of crop in India. Indian Agric Res Ins. New Delhi. 286-327.

Sinha, A. K. 1977. Soil - water relationship. Dalam : Water requirement and Irrigation management of crop in India. Indian Agric Res Ins. New Delhi. 9-56.

Soemeinaboedhy, I. N. dan R. Sri Tejowulan, R.S..2007. Pemanfaatan berbagai macam arang sekam sebagai sumber unsur hara P. dan K. serta sebagai pembenah tanah. Agroteksos. Vol 17. No. 2.: 114-122.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Stevenson, F.J., Alanah Fitch. 1997. Kimia pengkomplekan ion logam dengan organik larutan tanah. In Interaksi Mineral Tanah dengan Bahan Organik Dan Mikrobia. (Eds Huang P.M. and Schnitzer, M.) (Transl. Didiek Hadjar Goenadi), pp. 41-76. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Stevenson, F.J. 1982. Humus chemistry. genesm compostion, reactions. John Wiley and Sons, New York.

Sulistyawati, E dan R. Nugraha. 2012. Efektivitas kompos sampah perkotaan sebagai pupuk organik dalam meningkatan produktivitas dan menurunkan biaya produksi budidaya padi. Sekolah Ilmu dan teknologi Hayati. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Sumaryanto. 2005. Peningkatan efisiensi penggunaan air irigasi melalui penerapan iuran irigasi berbasis nilai ekonomi air irigasiI. Forum Penelitian Agro-Ekonomi, Vol 24 No2. h 77-91.

Suntoro. 2003. Peranan bahan organik tanah terhadap kesuburan tanah dan upaya pengelolaannya. Pidato Pengukuhan Guru Besar UNS Surakarta. Sebelas Maret University Press, Surakarta.

Suriadikarta, D.A., Abdullah Abbas Id., Sutono, Dedi Erfandi, Edi Santoso, A. Kasno. 2011. Identifikasi sifat kimia abu vulkan, tanah dan air di lokasi dampak letusan Gunung Merapi. Balai Penelitian Tanah, Bogor

Susila, A.D. dan Koerniawati, Y. 2004. Pengaruh volume dan jenis media tanam pada pertumbuhan dan hasil tanaman selada dalam teknologi hidroponik system terapung. Bul. Agron. 32: 16-21.

Sutanto, H. 2003. Kegaraan budidaya sayuran vertikultur pada lahan perkotaan. Laporan tahunan BPTP Jawa Timur.

Sutton, B.G. dan N. Merit. 1993. Maintenance of lettuce root zone at field capacity gives best yield with drip irrigation. Scientia Horticulturae. 56: 1-11.

Tejasuwarno, 1999. Pengaruh pupuk kandang terhadap hasil wortel dan sifat fisik tanah. Konggres Nasional VII. HITI. Bandung.

Tian, G., L. Brussard, B.T., Kang and M.J. Swift. Soil fauna-mediated decomposition ofplant residues under contreined environmental and residue quality condition. In Driven by Nature Plant Litter Quality and Decomposition, Department of Biological Sciences. (Eds Cadisch, G. and Giller, K.E.), pp. 125-134. WeyCollege, University of London, UK.

Tisdale, S.L., and Nelson, W.L. (1975) Soil fertility and fertilizers. Third Edition. Mac Millan Pub. Co. Inc. New York.

Tim Teknis Pembangunan Sanitasi (TTPS). 2010. Buku Reverensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi.

Utami, S.N.H., Darmanto & Rahmad Jayadi. 2012. Vertical Gardening For Vegetables. International Symposium on Sustainable Vegetable Production in Southeast Asia. ISHS Acta Horticulturae 958.

Weiguo F, Pingping L, Yanyou W and Juanjuan T.2012. Effects of different light intensities on anti-oxidative enzyme activity, quality and biomass in lettuce.Hort. Sci. Vol 39 2012. No 3 : 129 – 134.

Werdhany, W. I. 2012. Teknologi hemat lahan sistem vertikultur. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. Yogyakarta

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Wicaksono, A. 2008. Makalah IBM Dasar. <http://aamhabank.blogspot.com /2008/06/makalah-ibm-dasar.html>. Diakses tanggal 20 April 2014.

Williams, C. N., J. O. U. and W. T. H. Peregrine. 1993. Produksi sayuran di daerah tropika. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Wiskandar, 2002. Pemanfaatan pupuk kandang untuk memperbaiki sifat fisik tanah dilahan kritis yang telah diteras. Konggres Nasional VII.

Witt, C., R.J. Buresh, S. Peng, V. Balasubramanian dan A. Dobermann. 2007. Padi: Panduan praktis pengolahan hara. Efisiensi Penggunaan Pupuk,Informasi Ringkas Bank Pengetahuan Padi Indonesia,2008.

Yuan. 2010. Teknik budidaya tanaman secara vertikultur untuk memanfaatkan lahan sempit yang tidak produktif guna memenuhi kebutuhan sehari-hari. <http://yuan.blog.uns.ac.id/2010/06/28/ngampuzz-entry/>. Diakses tanggal 20 April 2014.

Zuraida. 1999. Penggunaan abu volkan sebagai amelioran pada tanah gambut dan pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah dan pertumbuhan jagung. Thesis dalam Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 1. Alat dan bahan penelitian



Keterangan:
1. Botol tandon air siraman + tetes
2. Kolom vertikal 6 inchi, 12 lubang
3. Penyangga besi
4. Botol tandon air atusan



Keterangan :
1. Abu vulkan
2. Arang sekam
3. Pupuk sampah kota
4. Selada keriting.

Global Review of Solid Waste Manag

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 2. Foto pembibitan tanaman selada keriting



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 3. Foto penataan rangkaian irigasi tetes dengan botol plastik bekas



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 4. Foto penanaman selada keriting pada kolom vertikal



UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 5. Foto hasil selada keriting pada kolom vertikal antar perlakuan pada kombinasi media (M), kompos (K) dan populasi (P)

R1 (Tanam I)



M1*K1, K2, K3*P1



M2*K1, K2, K3*P1



M3*K1, K2, K3*P1



M1*K1, K2, K3*P2



M2*K1, K2, K3*P2



M3*K1, K2, K3*P2



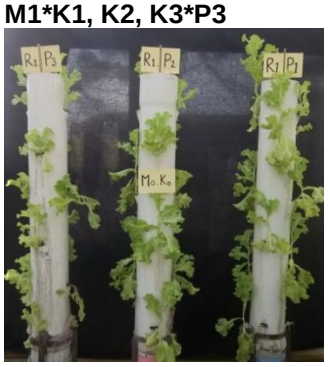
M1*K1, K2, K3*P3



M2*K1, K2, K3*P3



M3*K1, K2, K3*P3



M0*K0,P3-2-1



M0*K1,2,3

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 6. Foto hasil selada keriting pada kolom vertikal antar perlakuan pada kombinasi media (M), kompos (K) dan radiasi (R)

R1 (Tanam I)



M1*K1, K2, K3*P2



M2*K1, K2, K3*P2



M3*K1, K2, K3*P2

R2 (Tanam II)



M1*K1, K2, K3*P1



M2*K1, K2, K3*P1



M3*K1, K2, K3*P1

R3 (Tanam III)



M1*K1, K2, K3*P1



M2*K1, K2, K3*P1



M3*K1, K2, K3*P1

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 7. Konversi data radiasi matahari

$\mu E.m^{-2}.s^{-1}$	500	1000	1500	2000	2500	3000
$W.m^{-2}$	117,5	235,0	352,5	470,0	587,5	705,0
Cal $cm^{-2}.min^{-1}$	0,17	0,34	0,51	0,67	0,84	1,01

1 Einstein = 1 mol kuanta 1 foton = 1 kuanta cahaya atau radiasi 1 $\mu E.m^{-2}.s^{-1}$ = 0,235 $W.m^{-2}$ 1 $cal.cm^{-2}.min^{-1}$ = 1 langley = 697,8 $W.m^{-2}$	1 $J.m^{-2}.s^{-1}$ = 1 $W.m^{-2}$ Konversi berikut hanyalah suatu perkiraan 10.000 foot-candle = 350 $W.m^{-2}$ 1 foot-candle = 10,76 lux

Dikutip dari Woodward & Sheeby (1983)

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 8. Perbandingan analisis ekonomi Sistem Pertanaman Vertikal dan Konvensional

Perbandingan hasil usaha tani pertanaman vertikal dengan konvensional:

Sistem Pertanamman Vertikal, 100m^2, P_1 = 4 kolom/m^2, jumlah kolom 400 kolom, konvensional 100 $m^{2,}$, efektif daoat ditanami 70 m^2 jumlah tanaman : 16 tanaman.m^{-2} , jumlah tanaman 100 m^2 = 1120 tanaman.

I. USAHA TANI PERTANAMAN VERTIKAL

A. Biaya Sistem Pertanaman Vertikal :

1) Biaya tetap

a) Pralon : 400 x Rp 155.000,- = Rp 62.800.000,-
Umur produksi 40 thn, biaya per tahun = Rp 1.550.000,-

b) Dudukan semen 400 a 20.000 = Rp 8.000.000,-
Biaya per tahun : = Rp 200.000,-

Biaya 1 = Rp 1.750.000,-

2) Biaya tidak tetap

a) Bibit sekali tanam : 400 x 14 x Rp 200,- = Rp 1.120.000,-
Bibit setahun : 7 x Rp 1.120.000,- = Rp 7.840.000,-

b) Pupuk organik dan arang sekam :: 400 x Rp 15.000,-
Biaya per tahun: 2 x Rp 6.000.000,- = Rp12.000.000,-

c) Tenaga kerja : 14 HOK x 7 x Rp 65.000,- = Rp 6.370.000,-

d) Bunga kredit dll. = Rp 9.500.000,-

Biaya 2 = Rp35.810.000,-

Total Biaya (1 + 2) = Rp37.460.000,-

B. Penjualan , Produksi : 400 x 0,6 kg x Rp 25.000,- x 7 panen = Rp42.000.000,-

C. Pendapatan : Rp 42.000.000,- - Rp 37.460.000,- = Rp 5.540.000,-

D. BCR = $\frac{42.000.000,-}{37.460.000,-}$ = 1,25

E. BEP : $\frac{BT}{1 - \frac{BTT}{TB}} = \frac{1.750.000}{1 - \frac{35.810.000}{37.460.000}}$ = Rp35.000.000,-

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

F. Kapan mulai menguntungkan

Tahun pertama, pendapatan : (Rp 72,800.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp66.610.000,-)

Tahun kedua, pendapatan : (Rp 66.610.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp56.420.000,-)

Tahun ketiga, pendapatan : (Rp 52.420.000.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp46.230.000,-)

Tahun keempat, pendapatan : (Rp42.230.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp36.040.000,-)

Tahun kelima, pendapoatan : (Rp 32.040.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp25.850.000,-)

Tahun kenam, pendapoatan : (Rp 21.850.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp15.660.000,-)

Tahun ke tujuh, pendapoatan : (Rp 15.660.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- =(Rp 5.470.000,-)

Tahun ke delapan, pendapatan : (Rp 5.470.000,- + Rp 35.810.000,-)
+Rp 42.000.000,- = Rp 720.000,-

Catatan : Kalau ditambah pupuk urea 1 g pertanaman menambah biaya Rp 56.000 per tahun, tetapi hasilnya penjualan menjadi : 400 x 1,25 kg x Rp 25.000.-- x 7 = Rp 87.500.000,-
(mulai menguntungkan tahun kedua)

II. Usaha Sistem Pertanian Konvensional

B. Biaya Sistem Pertanian Konvensional :

1) Biaya tidak tetap
a) Bibit sekali tanam : 70 m2 x 16 x Rp 200,- = Rp 224.000,-
Bibit setahun : 7 x Rp224.000,- = Rp 1.568.000,-
b) Pupuk organik : 70 x Rp 10.000,- = Rp 70.000,-
Biaya per tahun: 2 x Rp 70.000,- = Rp 140.000,-
c) Tenaga kerja : 10 HOK x Rp 65.000,- x 7 = Rp 4.550.000,-
d) Bunga kredit dll. = Rp 550.000,-
Biaya Total = Rp 6.808.000,-
2). Penjualan , Produksi : 70 x 16x 0,05 kg x Rp 25.000,- = R1.400.000,-
Penjualan setahun = Rp 1.400.000,- x 7 panen = Rp 9.800.000,-
3) Pendapatan : Rp 9.800.000,- - Rp 6.808.000,- = Rp2.992.000,-

Catatan : Kalau ditambah pupuk urea 1 g pertanaman menambah biaya Rp 19.600 per tahun, tetapi hasilnya penjualan menjadi : 1.120 x 0,09 kg x Rp 25.000.-- x 7 = Rp 17.840.000,-
Pendapatan Rp 17.840.000,- - Rp 6.828.000,- = Rp 11.012.000,-

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 9. Analisis sidik ragam penanaman pada pot (Percobaan 2)

Anova 1 faktor

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: juda (Jumlah Daun)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	23.24444444	1.66031746	1.27	0.2835
m	4	9.91111111	2.47777778	1.89	0.1381
k	2	7.51111111	3.75555556	2.86	0.0727
m*k	8	5.82222222	0.72777778	0.56	0.8054
Error	30	39.33333333	1.31111111		
Corrected Total	44	62.57777778			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	juda Mean
0.371449	11.65762	1.145038	9.822222

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: btot (Berat segar total)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	1947.599258	139.114233	3.69	0.0013
m	4	877.6093911	219.4023478	5.82	0.0014
k	2	697.9852844	348.9926422	9.25	0.0007
m*k	8	372.0045822	46.5005728	1.23	0.3147
Error	30	1131.825667	37.727522		
Corrected Total	44	3079.424924			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	btot Mean
0.632456	14.20741	6.142273	43.23289

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: bkon (Berat segar konsumsi)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	1563.432787	111.673770	3.60	0.0016
m	4	686.4577200	171.6144300	5.53	0.0019
k	2	524.4300133	262.2150067	8.44	0.0012
m*k	8	352.5450533	44.0681317	1.42	0.2290
Error	30	931.494733	31.049824		
Corrected Total	44	2494.927520			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	bkon Mean
0.626645	15.02572	5.572237	37.08467

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: baka (Bobot akar segar)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	14	67.4052578	4.8146613	3.72	0.0012
m	4	19.55105778	4.88776444	3.78	0.0132
k	2	22.94723111	11.47361556	8.87	0.0009
m*k	8	24.90696889	3.11337111	2.41	0.0388
Error	30	38.8070000	1.2935667		
Corrected Total	44	106.2122578			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	baka Mean
0.634628	18.49886	1.137351	6.148222

Anova 2 faktor

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: juda (jumlah daun)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	110.3148148	6.4891068	5.65	<.0001
Error	36	41.3333333	1.1481481		
Corrected Total	53	151.6481481			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	juda Mean
0.727439	11.50336	1.071517	9.314815

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: berat segar total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	9663.36290	568.43311	17.66	<.0001
Error	36	1159.04560	32.19571		
Corrected Total	53	10822.40850			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	btot Mean
0.892903	14.89504	5.674126	38.09407

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: berat segar konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	7864.071037	462.592414	17.57	<.0001
Error	36	947.571133	26.321420		
Corrected Total	53	8811.642170			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	bkon Mean
0.892464	15.81066	5.130441	32.44926

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: Bobot akar segar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	17	142.3989481	8.3764087	6.36	<.0001
Error	36	47.3882000	1.3163389		
Corrected Total	53	189.7871481			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	baka Mean
0.750309	20.32517	1.147318	5.644815

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 10. Analisis sidik ragam karakteristik campuran media tanpa tanaman (Percobaan 3)

Anova 1 faktor

Dependent Variable: pH (H_2O)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	0.45958519	0.22979259	46.83	<.0001
K	2	0.59967407	0.29983704	61.10	<.0001
M*K	4	0.40174815	0.10043704	20.47	<.0001
Model	8	1.46100741	0.18262593	37.21	<.0001
Error	18	0.08833333	0.00490741		
Corrected Total	26	1.54934074			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pHH_2O Mean
0.942987	1.009192	0.070053	6.941481

Dependent Variable: pH(KCl)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	0.72498519	0.36249259	29.69	<.0001
K	2	1.54471852	0.77235926	63.25	<.0001
M*K	4	0.85370370	0.21342593	17.48	<.0001
Model	8	3.12340741	0.39042593	31.97	<.0001
Error	18	0.21980000	0.01221111		
Correted Total	26	3.34320741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pHKCl Mean
0.934255	1.658756	0.110504	6.661852

Dependent Variable: Daya Hantar Listrik (DHL)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	0.00109630	0.00013704	0.97	0.4862
M	2	0.00027407	0.00013704	0.97	0.3967
K	2	0.00022963	0.00011481	0.82	0.4580
M*K	4	0.00059259	0.00014815	1.05	0.4081
Error	18	0.00253333	0.00014074		
Corrected Total	26	0.00362963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	DHL Mean
0.302041	32.68493	0.011863	0.036296

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: C. Org

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	0.49689630	0.24844815	3.73	0.0442
K	2	4.62058519	2.31029259	34.66	<.0001
M*K	4	0.05837037	0.01459259	0.22	0.9244
Model	8	5.17585185	0.64698148	9.71	<.0001
Error	18	1.19993333	0.06666296		
Corrected Total	26	6.37578519			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	COrg Mean
0.811798	9.256641	0.258192	2.789259

Dependent Variable: Bahan Organik

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	1.50296296	0.75148148	3.76	0.0433
K	2	13.77067407	6.88533704	34.42	<.0001
M*K	4	0.17683704	0.04420926	0.22	0.9232
Model	8	15.45047407	1.93130926	9.66	<.0001
Error	18	3.60053333	0.20002963		
Corrected Total	26	19.05100741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BO Mean
0.811006	9.301850	0.447247	4.808148

Dependent Variable: Kapasitas Penhukaran Kation

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	63.9264889	31.9632444	22.39	<.0001
K	2	262.0430222	131.0215111	91.76	<.0001
M*K	4	23.1075556	5.7768889	4.05	0.0164
Model	8	349.0770667	43.6346333	30.56	<.0001
Error	18	25.7015333	1.4278630		
Corrected Total		26	374.7786000		

R-Square	Coeff Var	Root MSE	KPK Mean
0.931422	9.567111	1.194932	12.49000

Dependent Variable: N total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	0.01754074	0.00877037	51.48	<.0001
K	2	0.02071852	0.01035926	60.80	<.0001
M*K	4	0.00050370	0.00012593	0.74	0.5775
Model	8	0.03876296	0.00484537	28.44	<.0001
Error	18	0.00306667	0.00017037		
Corrected Total	26	0.04182963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N Mean
0.926687	11.22357	0.013053	0.116296

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: P tersedia

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	607.512674	303.756337	5.43	0.0143
K	2	1363.424274	681.712137	12.18	0.0005
M*K	4	95.144348	23.786087	0.43	0.7885
Model	8	2066.081296	258.260162	4.62	0.0034
Error	18	1007.114933	55.950830		
Corrected Total	26	3073.196230			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	P Mean
0.672291	19.06405	7.480029	39.23630

Dependent Variable: pF 0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	856.460556	428.230278	90.39	<.0001
K	2	1247.178689	623.589344	131.63	<.0001
M*K	4	148.756489	37.189122	7.85	0.0008
Model	8	2252.395733	281.549467	59.43	<.0001
Error	18	85.275333	4.737519		
Corrected Total	26	2337.671067			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF0 Mean
0.963521	3.125729	2.176584	69.63444

Dependent Variable: pF2,0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	96.5605630	48.2802815	19.75	<.0001
K	2	384.3997630	192.1998815	78.61	<.0001
M*K	4	62.8545481	15.7136370	6.43	0.0021
Model	8	543.8148741	67.9768593	27.80	<.0001
Error	18	44.0100000	2.4450000		
Corrected Total	26	587.8248741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF2 Mean
0.925131	3.340074	1.563650	46.81481

Dependent Variable: pF2,54

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	3.0351630	1.5175815	1.20	0.3232
K	2	130.8451852	65.4225926	51.87	<.0001
M*K	4	13.3507259	3.3376815	2.65	0.0674
Model	8	147.2310741	18.4038843	14.59	<.0001
Error	18	22.7012000	1.2611778		
Corrected Total	26	169.9322741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF254 Mean
0.866410	3.676636	1.123022	30.54481

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: pF4,2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	1.9059852	0.9529926	0.48	0.6282
K	2	207.4084963	103.7042481	51.93	<.0001
M*K	4	6.5520370	1.6380093	0.82	0.5291
Model	8	215.8665185	26.9833148	13.51	<.0001
Error	18	35.9472000	1.9970667		
Corrected Total	26	251.8137185			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF42 Mean
0.857247	11.70099	1.413176	12.07741

Dependent Variable: Berat Jenis (BJ)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	0.39878519	0.19939259	280.40	<.0001
K	2	0.03069630	0.01534815	21.58	<.0001
M*K	4	0.00641481	0.00160370	2.26	0.1034
Model	8	0.43589630	0.05448704	76.62	<.0001
Error	18	0.01280000	0.00071111		
Corrected Total	26	0.44869630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BJ Mean
0.971473	1.360801	0.026667	1.959630

Dependent Variable: Berat Volume

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	0.03669630	0.00458704	3.62	0.0111
M	2	0.03116296	0.01558148	12.30	0.0004
K	2	0.00067407	0.00033704	0.27	0.7693
M*K	4	0.00485926	0.00121481	0.96	0.4536
Error	18	0.02280000	0.00126667		
Corrected Total	26	0.05949630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BV Mean
0.616783	4.286071	0.035590	0.830370

The GLM Procedure

Dependent Variable: KL -TL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	37.29305185	4.66163148	2.17	0.0823
M	2	0.58934074	0.29467037	0.14	0.8728
K	2	11.05360741	5.52680370	2.57	0.1042
M*K	4	25.65010370	6.41252593	2.98	0.0472
Error	18	38.69126667	2.14951481		
Corrected Total	26	75.98431852			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	QR Mean
0.490799	7.938972	1.466122	18.46741

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure
Dependent Variable: Kapasitas Lengas Tersedia (KLT)

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	30.45606667	3.80700833	3.59	0.0116
M	2	14.02006667	7.01003333	6.60	0.0071
K	2	7.31726667	3.65863333	3.45	0.0541
M*K	4	9.11873333	2.27968333	2.15	0.1167
Error	18	19.11020000	1.06167778		
Corrected Total	26	49.56626667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TU Mean
0.614451	6.730583	1.030377	15.30889

The GLM Procedure

Kontras Orthogonal

Dependent Variable: pHH_2O

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr >
Treatment	8	1.46100741	0.18262593	37.21	<.0001
Model	8	1.46100741	0.18262593	37.21	<.0001
Error	18	0.08833333	0.00490741		
Corrected Total	26	1.54934074			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pHH_2O Mean
0.942987	1.009192	0.070053	6.941481

The GLM Procedure

Dependent Variable: pHKCl

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	8	3.12340741	0.39042593	31.97	<.0001
Model	8	3.12340741	0.39042593	31.97	<.0001
Error	18	0.21980000	0.01221111		
Corrected Total	26	3.34320741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pHKCl Mean
0.934255	1.658756	0.110504	6.661852

The GLM Procedure

Dependent Variable: DHL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	8	0.00109630	0.00013704	0.97	0.4862
Model	8	0.00109630	0.00013704	0.97	0.4862
Error	18	0.00253333	0.00014074		
Corrected Total	26	0.00362963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	DHL Mean
0.302041	32.68493	0.011863	0.036296

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: C. Organik

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	5.17585185	0.64698148	9.71	<.0001
Treatment	8	5.17585185	0.64698148	9.71	<.0001
Error	18	1.19993333	0.06666296		
Corrected Total	26	6.37578519			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	COrg Mean
0.811798	9.256641	0.258192	2.789259

The GLM Procedure

Dependent Variable: Bahan Organik

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Treatment	8	15.45047407	1.93130926	9.66	<.0001
Model	8	15.45047407	1.93130926	9.66	<.0001
Error	18	3.60053333	0.20002963		
Corrected	26	19.05100741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BO Mean
0.811006	9.301850	0.447247	4.808148

The GLM Procedure

Dependent Variable: KPK

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	349.0770667	43.6346333	30.56	<.0001
Treatment	8	349.0770667	43.6346333	30.56	<.0001
Error	18	25.7015333	1.4278630		
Corrected Total	26	374.7786000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	KPK Mean
0.931422	9.567111	1.194932	12.49000

The GLM Procedure

Dependent Variable: N

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	0.03876296	0.00484537	28.44	<.0001
Treatment	8	0.03876296	0.00484537	28.44	<.0001
Error	18	0.00306667	0.00017037		
Corrected	26	0.04182963			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N Mean
0.926687	11.22357	0.013053	0.116296

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: P

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	2066.081296	258.260162	4.62	0.0034
Treatment	8	2066.081296	258.260162	4.62	0.0034
Error	18	1007.114933	55.950830		
Corrected Total	26	3073.196230			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	P Mean
0.672291	19.06405	7.480029	39.23630

The GLM Procedure

Dependent Variable: K ters

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	3.88409630	0.48551204	127.02	<.0001
Treatment	8	3.88409630	0.48551204	127.02	<.0001
Error	18	0.06880000	0.00382222		
Corrected Total	26	3.95289630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Kal Mean
0.982595	4.013588	0.061824	1.540370

The GLM Procedure

Dependent Variable: pF0

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	2252.395733	281.549467	59.43	<.0001
Treatment	8	2252.395733	281.549467	59.43	<.0001
Error	18	85.275333	4.737519		
Corrected Total	26	2337.671067			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF0 Mean
0.963521	3.125729	2.176584	69.63444

The GLM Procedure

Dependent Variable: pF2

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	543.8148741	67.9768593	27.80	<.0001
Treatment	8	543.8148741	67.9768593	27.80	<.0001
Error	18	44.0100000	2.4450000		
Corrected Total	26	587.8248741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF2 Mean
0.925131	3.340074	1.563650	46.81481

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: pF254

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	147.2310741	18.4038843	14.59	<.0001
Treatment	8	147.2310741	18.4038843	14.59	<.0001
Error	18	22.7012000	1.2611778		
Corrected Total	26	169.9322741			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF254 Mean
0.866410	3.676636	1.123022	30.54481

The GLM Procedure

Dependent Variable: pF42

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	215.8665185	26.9833148	13.51	<.0001
Treatment	8	215.8665185	26.9833148	13.51	<.0001
Error	18	35.9472000	1.9970667		
Corrected Total	26	251.8137185			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	pF42 Mean
0.857247	11.70099	1.413176	12.07741

The GLM Procedure

Dependent Variable: BJ

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	0.43589630	0.05448704	76.62	<.0001
Treatment	8	0.43589630	0.05448704	76.62	<.0001
Error	18	0.01280000	0.00071111		
Corrected Total	26	0.44869630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BJ Mean
0.971473	1.360801	0.026667	1.959630

The GLM Procedure

Dependent Variable: BV

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	0.03669630	0.00458704	3.62	0.0111
Treatment	8	0.03669630	0.00458704	3.62	0.0111
Error	18	0.02280000	0.00126667		
Corrected Total	26	0.05949630			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BV Mean
0.616783	4.286071	0.035590	0.830370

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: KL - TL

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	37.29305185	4.66163148	2.17	0.0823
Treatment	8	37.29305185	4.66163148	2.17	0.0823
Error	18	38.69126667	2.14951481		
Corrected Total	26	75.98431852			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	QR Mean
0.490799	7.938972	1.466122	18.46741

The GLM Procedure

Dependent Variable: KLT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	8	30.45606667	3.80700833	3.59	0.0116
Treatment	8	37.29305185	4.66163148	2.17	0.0823
Error	18	19.11020000	1.06167778		
Corrected Total	26	49.56626667			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TU Mean
0.614451	6.730583	1.030377	15.30889

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 11. Analisis sidik ragam parameter perlakuan antar kombinasi abu vulkan, *biochar*, kompos dan populasi tanaman pada sistem pertanaman vertikal (Percobaan 4)

Anova 1 Faktor

Dependent Variable: Berat Segar Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	44239.6640	22119.8320	9.58	0.0003
K	2	104904.8328	52452.4164	22.71	<.0001
P	2	16677.9247	8338.9623	3.61	0.0337
M*K	4	23220.8268	5805.2067	2.51	0.0521
M*P	4	10401.0760	2600.2690	1.13	0.3540
K*P	4	33407.8393	8351.9598	3.62	0.0110
M*K*P	8	28495.9536	3561.9942	1.54	0.1645
Model	26	261348.1172	10051.8507	4.35	<.0001
Error	54	124696.4028	2309.1926		
Corrected	80	386044.5200			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_konsumsi Mean
0.676990	9.861608	48.05406	487.2842

Dependent Variable: Berat Segar_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	185.1562963	92.5781481	5.86	0.0050
K	2	57.4022222	28.7011111	1.82	0.1726
P	2	328.2096296	164.1048148	10.38	0.0002
M*K	4	8.0859259	2.0214815	0.13	0.9717
M*P	4	94.7185185	23.6796296	1.50	0.2158
K*P	4	146.7259259	36.6814815	2.32	0.0685
M*K*P	8	255.9770370	31.9971296	2.02	0.0607
Model	26	1076.275556	41.395214	2.62	0.0014
Error	54	853.726667	15.809753		
Corrected	80	1930.002222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_akar Mean
0.557655	17.68341	3.976148	22.48519

Dependent Variable: Berat Segar_Total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	50093.3034	25046.6517	10.00	0.0002
K	2	109684.3573	54842.1787	21.90	<.0001
P	2	18868.7582	9434.3791	3.77	0.0294
M*K	4	23937.9854	5984.4963	2.39	0.0621
M*P	4	11336.9416	2834.2354	1.13	0.3513
K*P	4	36684.3305	9171.0826	3.66	0.0104
M*K*P	8	30184.9990	3773.1249	1.51	0.1767
Model	26	280790.6755	10799.6414	4.31	<.0001
Error	54	135224.3328	2504.1543		
Corrected Total	80	416015.0083			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_total Mean
0.674953	9.816503	50.04153	509.7694

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: Total_Air_Lindian

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	6769942.54	3384971.27	5.44	0.0070
K	2	5741436.77	2870718.38	4.62	0.0141
P	2	3269165.14	1634582.57	2.63	0.0814
M*K	4	16635077.83	4158769.46	6.69	0.0002
M*P	4	2469760.79	617440.20	0.99	0.4193
K*P	4	1553235.90	388308.98	0.62	0.6470
M*K*P	8	10965082.40	1370635.30	2.20	0.041
Model	26	47403701.36	1823219.28	2.93	0.0004
Error	54	33575992.00	621777.63		
Corrected Total	80	80979693.36			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Total_Air_Lindian Mean
0.585378	31.53352	788.5288	2500.605

Dependent Variable: Kebutuhan_Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	6769942.54	3384971.27	5.44	0.0070
K	2	5741436.77	2870718.38	4.62	0.0141
P	2	3269165.14	1634582.57	2.63	0.0814
M*K	4	16635077.83	4158769.46	6.69	0.0002
M*P	4	2469760.79	617440.20	0.99	0.4193
K*P	4	1553235.90	388308.98	0.62	0.6470
M*K*P	8	10965082.40	1370635.30	2.20	0.0413
Model	26	47403701.36	1823219.28	2.93	0.0004
Error	54	33575992.00	621777.63		
Corrected Total	80	80979693.36			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keb_Air Mean
0.585378	3.520313	788.5288	22399.40

Dependent Variable: Berat Kering Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	1531.546669	765.773335	6.28	0.0035
K	2	1278.858121	639.429060	5.25	0.0083
P	2	3278.805484	1639.402742	13.45	<.0001
M*K	4	324.057598	81.014399	0.66	0.6191
M*P	4	472.901568	118.225392	0.97	0.4314
K*P	4	59.603449	14.900862	0.12	0.9739
M*K*P	8	778.428521	97.303565	0.80	0.6064
Model	26	7724.20141	297.08467	2.44	0.0029
Error	54	6579.90580	121.85011		
Corrected Total	80	14304.10721			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_konsumsi Mean
0.539999	27.06499	11.03857	40.78543

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: Berat Kering_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	26.12362222	13.06181111	6.99	0.0020
K	2	0.07309630	0.03654815	0.02	0.9806
P	2	3.63268889	1.81634444	0.97	0.3849
M*K	4	2.88170370	0.72042593	0.39	0.8181
M*P	4	6.69688889	1.67422222	0.90	0.4729
K*P	4	3.73585926	0.93396481	0.50	0.7360
M*K*P	8	16.84422963	2.10552870	1.13	0.3606
Model	26	59.9880889	2.3072342	1.23	0.2524
Error	54	100.9114000	1.8687296		
Corrected Total	80	160.8994889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_akar Mean
0.372830	36.64555	1.367015	3.730370

The GLM Procedure

Dependent Variable: Berat Kering_Total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	1904.220230	952.110115	6.93	0.0021
K	2	1282.048496	641.024248	4.67	0.0135
P	2	3462.887474	1731.443737	12.60	<.0001
M*K	4	361.779630	90.444907	0.66	0.6237
M*P	4	490.938252	122.734563	0.89	0.4744
K*P	4	40.844163	10.211041	0.07	0.9897
M*K*P	8	941.086978	117.635872	0.86	0.5586
Model	26	8483.80522	326.30020	2.37	0.0037
Error	54	7419.93700	137.40624		
Corrected Total	80	15903.74222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_total Mean
0.533447	26.34057	11.72204	44.50185

Dependent Variable: Tinggi Tanaman

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	146.6868667	73.3434333	17.28	<.0001
K	2	255.7070519	127.8535259	30.12	<.0001
P	2	134.4454741	67.2227370	15.84	<.0001
M*K	4	26.6863259	6.6715815	1.57	0.1951
M*P	4	64.8715481	16.2178870	3.82	0.0083
K*P	4	35.8168741	8.9542185	2.11	0.0922
M*K*P	8	101.6882815	12.7110352	2.99	0.0075
Model	26	765.9024222	29.4577855	6.94	<.0001
Error	54	229.2292667	4.2449864		
Corrected Total	80	995.1316889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TT Mean
0.769649	7.494959	2.060336	27.48963

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: Jumlah Daun

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	14.61728395	7.30864198	21.14	<.0001
K	2	15.58024691	7.79012346	22.54	<.0001
P	2	19.65432099	9.82716049	28.43	<.0001
M*K	4	1.97530864	0.49382716	1.43	0.2371
M*P	4	7.90123457	1.97530864	5.71	0.0007
K*P	4	3.16049383	0.79012346	2.29	0.0719
M*K*P	8	7.72839506	0.96604938	2.79	0.0115
Model	26	70.61728395	2.71604938	7.86	<.0001
Error	54	18.66666667	0.34567901		
Corrected Total	80	89.28395062			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	JD Mean
0.790929	5.028883	0.587945	11.69136

Dependent Variable: Efisisensi_Kebutuhan Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	3.16548336	1.58274168	6.83	0.0023
K	2	2.64618121	1.32309060	5.71	0.0057
P	2	7.34629640	3.67314820	15.84	<.0001
M*K	4	0.79266486	0.19816622	0.85	0.4972
M*P	4	0.83836457	0.20959114	0.90	0.4683
K*P	4	0.15533605	0.03883401	0.17	0.9540
M*K*P	8	1.36159610	0.17019951	0.73	0.6611
Model	26	16.30592254	0.62715087	2.70	0.0010
Error	54	12.52248000	0.23189778		
Corrected Total	80	28.82840254			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_KA Mean
0.565620	26.43357	0.481558	1.821765

Dependent Variable: Efisiensi_Penggunaan Lahan

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	462415.43	231207.71	9.73	0.0002
K	2	882128.95	441064.48	18.57	<.0001
P	2	13966470.78	6983235.39	293.99	<.0001
M*K	4	221693.11	55423.28	2.33	0.0673
M*P	4	170950.35	42737.59	1.80	0.1424
K*P	4	291199.58	72799.89	3.06	0.0239
M*K*P	8	281649.97	35206.25	1.48	0.1855
Model	26	16276508.18	626019.55	26.36	<.0001
Error	54	1282662.96	23753.02		
Corrected Total	80	17559171.14			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_Lahan Mean
0.926952	10.49757	154.1201	1468.150

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: Efisiensi Penggunaan_Pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
M	2	0.00126854	0.00063427	7.70	0.0011
K	2	0.01891143	0.00945572	114.74	<.0001
P	2	0.00027647	0.00013823	1.68	0.1964
M*K	4	0.00109894	0.00027473	3.33	0.0164
M*P	4	0.00045546	0.00011386	1.38	0.2525
K*P	4	0.00066479	0.00016620	2.02	0.1051
M*K*P	8	0.00090662	0.00011333	1.38	0.2284
Model	26	0.02358225	0.00090701	11.01	<.0001
Error	54	0.00445000	0.00008241		
Corrected Total	80	0.02803225			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_pupu Mean
0.841254	12.02266	0.009078	0.075506

Anova 2 Faktor :

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_trbus

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	232852.1635	12936.2313	5.24	<.0001
MK	8	172365.3236	21545.6654	8.72	<.0001
MP	6	27079.0007	4513.1668	1.83	0.1084
KP	4	33407.8393	8351.9598	3.38	0.0145
Error	62	153192.3564	2470.8445		
Corrected Total	80	386044.5200			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_trbus Mean
0.603174	10.20094	49.70759	487.2842

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	820.298519	45.572140	2.55	0.0034
MK	8	250.6444444	31.3305556	1.75	0.1045
MP	6	422.9281481	70.4880247	3.94	0.0021
KP	4	146.7259259	36.6814815	2.05	0.0984
Error	62	1109.703704	17.898447		
Corrected Total	80	1930.002222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_akar Mean
0.425025	18.81530	4.230656	22.48519

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	250605.6764	13922.5376	5.22	<.0001
MK	8	183715.6461	22964.4558	8.61	<.0001
MP	6	30205.6998	5034.2833	1.89	0.0972
KP	4	36684.3305	9171.0826	3.44	0.0133
Error	62	165409.3318	2667.8924		
Corrected Total	80	416015.0083			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_total Mean
0.602396	10.13236	51.65165	509.7694

The GLM Procedure

Dependent Variable: Total_Air_Lindian

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	36438618.96	2024367.72	2.82	0.0013
MK	8	29146457.14	3643307.14	5.07	<.0001
MP	6	5738925.93	956487.65	1.33	0.2569
KP	4	1553235.90	388308.98	0.54	0.7065
Error	62	44541074.40	718404.43		
Corrected Total	80	80979693.36			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Total_Air_Lindian Mean
0.449972	33.89529	847.5874	2500.605

The GLM Procedure

Dependent Variable: Keb_Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	36438618.96	2024367.72	2.82	0.0013
MK	8	29146457.14	3643307.14	5.07	<.0001
MP	6	5738925.93	956487.65	1.33	0.2569
KP	4	1553235.90	388308.98	0.54	0.7065
Error	62	44541074.40	718404.43		
Corrected Total	80	80979693.36			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keb_Air Mean
0.449972	3.783975	847.5874	22399.40

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_trubus

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	6945.77289	385.87627	3.25	0.0003
MK	8	3134.462388	391.807798	3.30	0.0033
MP	6	3751.707052	625.284509	5.27	0.0002
KP	4	59.603449	14.900862	0.13	0.9727
Error	62	7358.33432	118.68281		
Corrected Total	80	14304.10721			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_trubus Mean
0.485579	26.71092	10.89416	40.78543

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	43.1438593	2.3968811	1.26	0.2443
MK	8	29.07842222	3.63480278	1.91	0.0737
MP	6	10.32957778	1.72159630	0.91	0.4963
KP	4	3.73585926	0.93396481	0.49	0.7418
Error	62	117.7556296	1.8992843		
Corrected Total	80	160.8994889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_akar Mean
0.268142	36.94393	1.378145	3.730370

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	7542.71824	419.03990	3.11	0.0005
MK	8	3548.048356	443.506044	3.29	0.0034
MP	6	3953.825726	658.970954	4.89	0.0004
KP	4	40.844163	10.211041	0.08	0.9894
Error	62	8361.02398	134.85523		
Corrected Total	80	15903.74222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_total Mean
0.474273	26.09491	11.61272	44.50185

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: TT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	664.2141407	36.9007856	6.91	<.0001
MK	8	429.0802444	53.6350306	10.05	<.0001
MP	6	199.3170222	33.2195037	6.22	<.0001
KP	4	35.8168741	8.9542185	1.68	0.1665
Error	62	330.9175481	5.3373798		
Corrected Total	80	995.1316889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TT Mean
0.667464	8.404177	2.310277	27.48963

The GLM Procedure

Dependent Variable: JD

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	62.88888889	3.49382716	8.21	<.0001
MK	8	32.17283951	4.02160494	9.45	<.0001
MP	6	27.55555556	4.59259259	10.79	<.0001
KP	4	3.16049383	0.79012346	1.86	0.1295
Error	62	26.39506173	0.42572680		
Corrected Total	80	89.28395062			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	JD Mean
0.704369	5.580852	0.652477	11.69136

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efss_KA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	14.94432644	0.83024036	3.71	<.0001
MK	8	6.60432943	0.82554118	3.69	0.0014
MP	6	8.18466096	1.36411016	6.09	<.0001
KP	4	0.15533605	0.03883401	0.17	0.9512
Error	62	13.88407610	0.22393671		
Corrected Total	80	28.82840254			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_KA Mean
0.518389	25.97588	0.473220	1.821765

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure
Dependent Variable: Efss_Lahan

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	15994858.20	888603.23	35.22	<.0001
MK	8	1566237.49	195779.69	7.76	<.0001
MP	6	14137421.13	2356236.86	93.39	<.0001
KP	4	291199.58	72799.89	2.89	0.0295
Error	62	1564312.94	25230.85		
Corrected	80	17559171.14			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_Lahan Mean
0.910912	10.81921	158.8422	1468.150

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efss_pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	18	0.02267563	0.00125976	14.58	<.0001
MK	8	0.02127891	0.00265986	30.79	<.0001
MP	6	0.00073193	0.00012199	1.41	0.2244
KP	4	0.00066479	0.00016620	1.92	0.1177
Error	62	0.00535662	0.00008640		
Corrected Total	80	0.02803225			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_pupu Mean
0.808912	12.31025	0.009295	0.075506

Anova 3 faktor (MKP)

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_trbus

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	261348.1172	10051.8507	4.35	<.0001
Treatment	26	261348.1172	10051.8507	4.35	<.0001
Error	54	124696.4028	2309.1926		
Corrected Total	80	386044.5200			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_trbus Mean
0.676990	9.861608	48.05406	487.2842

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	1076.275556	41.395214	2.62	0.0014
Treatment	26	1076.275556	41.395214	2.62	0.0014
Error	54	853.726667	15.809753		
Corrected Total	80	1930.002222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_akar Mean
0.557655	17.68341	3.976148	22.48519

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	280790.6755	10799.6414	4.31	<.0001
Treatment	26	280790.6755	10799.6414	4.31	<.0001
Error	54	135224.3328	2504.1543		
Corrected Total	80	416015.0083			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_total Mean
0.674953	9.816503	50.04153	509.7694

The GLM Procedure

Dependent Variable: Total_Air_Lindian

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	47403701.36	1823219.28	2.93	0.0004
Treatment	26	47403701.36	1823219.28	2.93	0.0004
Error	54	33575992.00	621777.63		
Corrected Total	80	80979693.36			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Total_Air_Lindian Mean
0.585378	31.53352	788.5288	2500.605

The GLM Procedure

Dependent Variable: Keb_Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	47403701.36	1823219.28	2.93	0.0004
Treatment	26	47403701.36	1823219.28	2.93	0.0004
Error	54	33575992.00	621777.63		
Corrected Total	80	80979693.36			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keb_Air Mean
0.585378	3.520313	788.5288	22399.40

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_trubus

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	7724.20141	297.08467	2.44	0.0029
Error	54	6579.90580	121.85011		
Corrected Total	80	14304.10721			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_trubus Mean
0.539999	27.06499	11.03857	40.78543

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	59.9880889	2.3072342	1.23	0.2524
Treatment	26	59.98808889	2.30723419	1.23	0.2524
Error	54	100.9114000	1.8687296		
Corrected Total	80	160.8994889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_akar Mean
0.372830	36.64555	1.367015	3.730370

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	8483.80522	326.30020	2.37	0.0037
Treatment	26	8483.805222	326.300201	2.37	0.0037
Error	54	7419.93700	137.40624		
Corrected Total	80	15903.74222			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_total Mean
0.533447	26.34057	11.72204	44.50185

Dependent Variable: TT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	765.9024222	29.4577855	6.94	<.0001
Treatment	26	765.9024222	29.4577855	6.94	<.0001
Error	54	229.2292667	4.2449864		
Corrected Total	80	995.1316889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TT Mean
0.769649	7.494959	2.060336	27.48963

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: JD

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	70.61728395	2.71604938	7.86	<.0001
Treatment	26	70.61728395	2.71604938	7.86	<.0001
Error	54	18.66666667	0.34567901		
Corrected Total	80	89.28395062			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	JD Mean
0.790929	5.028883	0.587945	11.69136

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efss_KA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	16.30592254	0.62715087	2.70	0.0010
Treatment	26	16.30592254	0.62715087	2.70	0.0010
Error	54	12.52248000	0.23189778		
Corrected Total	80	28.82840254			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_KA Mean
0.565620	26.43357	0.481558	1.821765

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efss_Lahan

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	16276508.18	626019.55	26.36	<.0001
Treatment	26	16276508.18	626019.55	26.36	<.0001
Error	54	1282662.96	23753.02		
Corrected Total	80	17559171.14			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_Lahan Mean
0.926952	10.49757	154.1201	1468.150

The GLM Procedure

Dependent Variable: Brt_pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	315170569.2	12121945.0	Infty	<.0001
Error	54	0.0	0.0		
Corrected Total	80	315170569.2			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Brt_pupuk Mean
1.000000	0	0	6849.573

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efss_pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	26	0.02358225	0.00090701	11.01	<.0001
Treatment	26	0.02358225	0.00090701	11.01	<.0001
Error	54	0.00445000	0.00008241		
Corrected Total	80	0.02803225			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efss_pupu Mean
0.841254	12.02266	0.009078	0.075506

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Lampiran 12. Analisis sidik ragam parameter perlakuan antar kombinasi abu vulkan, *biochar*, kompos pada perlakuan radiasi yang berbeda (Percobaan 5).

Anova 1 faktor

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	818818.211	29243.508	3.09	0.0002
Block	2	83250.7523	41625.3762	4.40	0.0172
M	2	190170.2193	95085.1097	10.05	0.0002
K	2	122879.6957	61439.8479	6.49	0.0030
R	2	149446.5765	74723.2882	7.90	0.0010
M*K	4	60338.7879	15084.6970	1.59	0.1897
M*R	4	60788.7622	15197.1906	1.61	0.1866
K*R	4	26854.9709	6713.7427	0.71	0.5891
M*K*R	8	125088.4462	15636.0558	1.65	0.1328
Error	52	491977.251	9461.101		
Corrected Total	80	1310795.462			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Konsumsi Mean
.624673	20.00882	97.26819	486.1265

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	2310.297153	82.510613	4.03	<.0001
Block	2	270.6704099	135.3352049	6.61	0.0028
M	2	504.6660025	252.3330012	12.32	<.0001
K	2	144.4616395	72.2308198	3.53	0.0366
R	2	761.6128099	380.8064049	18.59	<.0001
M*K	4	167.5995235	41.8998809	2.05	0.1015
M*R	4	295.9867086	73.9966772	3.61	0.0113
K*R	4	67.5896938	16.8974235	0.82	0.5153
M*K*R	8	97.7103654	12.2137957	0.60	0.7765
Error	52	1065.063590	20.481992		
Corrected Total	80	3375.360743			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Akar Mean
0.684459	22.77897	4.525703	19.86790

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	887453.447	31694.766	3.18	0.0002
Block	2	91308.9471	45654.4735	4.58	0.0147
M	2	205977.2273	102988.6137	10.33	0.0002
K	2	130299.3227	65149.6614	6.53	0.0029
R	2	171540.0022	85770.0011	8.60	0.0006
M*K	4	66711.2588	16677.8147	1.67	0.1704
M*R	4	69258.6633	17314.6658	1.74	0.1560
K*R	4	26129.0462	6532.2616	0.66	0.6259
M*K*R	8	126228.9796	15778.6225	1.58	0.1529
Error	52	518510.692	9971.359		
Corrected Total	80	1405964.139			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Total Mean
0.631206	19.73475	99.85669	505.9943

The GLM Procedure

Dependent Variable: Tot_Air_terlindi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	701814776.9	25064813.5	27.23	<.0001
Block	2	171267.9	85633.9	0.09	0.9113
M	2	2843452.9	1421726.5	1.54	0.2230
K	2	7283602.2	3641801.1	3.96	0.0252
R	2	655430652.8	327715326.4	356.03	<.0001
M*K	4	2411691.4	602922.8	0.66	0.6260
M*R	4	6241972.6	1560493.2	1.70	0.1651
K*R	4	2880245.5	720061.4	0.78	0.5419
M*K*R	8	24551891.5	3068986.4	3.33	0.0038
Error	52	47864161.5	920464.6		
Corrected	80	749678938.3			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Tot_Air_terlindi Mean
0.936154	14.68860	959.4085	6531.6546

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Keb_Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	1403957110	50141325	54.47	<.0001
Block	2	171268	85634	0.09	0.9113
M	2	2843453	1421726	1.54	0.2230
K	2	7283602	3641801	3.96	0.0252
R	2	1357572986	678786493	737.44	<.0001
M*K	4	2411691	602923	0.66	0.6260
M*R	4	6241973	1560493	1.70	0.1651
K*R	4	2880246	720061	0.78	0.5419
M*K*R	8	24551892	3068986	3.33	0.0038
Error	52	47864161	920465		
Corrected Total	80	1451821272			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keb_Air Mean
0.967032	5.778985	959.4085	16601.68

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	9587.92225	342.42579	6.10	<.0001
Block	2	768.335830	384.167915	6.84	0.0023
M	2	1094.227341	547.113670	9.74	0.0003
K	2	385.030319	192.515159	3.43	0.0399
R	2	6251.883822	3125.941911	55.67	<.0001
M*K	4	155.409519	38.852380	0.69	0.6009
M*R	4	152.007637	38.001909	0.68	0.6111
K*R	4	79.170926	19.792731	0.35	0.8411
M*K*R	8	701.856859	87.732107	1.56	0.1591
Error	52	2919.91237	56.15216		
Corrected Total	80	12507.83462			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Konsumsi Mean
0.766553	23.66969	7.493475	31.65852

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	72.0816519	2.5743447	3.24	0.0001
Block	2	3.74556296	1.87278148	2.36	0.1046
M	2	9.81642222	4.90821111	6.18	0.0039
K	2	0.55102963	0.27551481	0.35	0.7084
R	2	42.00351852	21.00175926	26.45	<.0001
M*K	4	5.49845926	1.37461481	1.73	0.1571
M*R	4	4.48885926	1.12221481	1.41	0.2425
K*R	4	0.29674074	0.07418519	0.09	0.9841
M*K*R	8	5.68105926	0.71013241	0.89	0.5279
Error	52	41.2859037	0.7939597		
Corrected Total	80	113.3675556			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Akar Mean
0.635823	32.83050	0.891044	2.714074

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Totar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	11229.04487	401.03732	6.17	<.0001
Block	2	887.724719	443.862359	6.82	0.0023
M	2	1324.215163	662.107581	10.18	0.0002
K	2	404.579652	202.289826	3.11	0.0530
R	2	7332.341696	3666.170848	56.36	<.0001
M*K	4	224.590830	56.147707	0.86	0.4923
M*R	4	141.610830	35.402707	0.54	0.7039
K*R	4	92.664896	23.166224	0.36	0.8386
M*K*R	8	821.317089	102.664636	1.58	0.1542
Error	52	3382.39321	65.04602		
Corrected Total	80	14611.43809			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Totar Mean
0.768511	23.52233	8.065111	34.28704

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: TT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	2341.089049	83.610323	3.11	0.0002
Block	2	10.228928	5.114464	0.19	0.8271
M	2	98.634143	49.317072	1.84	0.1695
K	2	156.857454	78.428727	2.92	0.0628
R	2	1380.187158	690.093579	25.70	<.0001
M*K	4	146.585812	36.646453	1.36	0.2588
M*R	4	67.257086	16.814272	0.63	0.6459
K*R	4	46.431842	11.607960	0.43	0.7846
M*K*R	8	434.906625	54.363328	2.02	0.0614
Error	52	1396.152872	26.849094		
Corrected Total	80	3737.241921			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TT Mean
0.626422	16.51298	5.181611	31.37901

The GLM Procedure

Dependent Variable: Jum_Daun

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	174.3751185	6.2276828	5.06	<.0001
Block	2	1.7323185	0.8661593	0.70	0.4994
M	2	4.2912519	2.1456259	1.74	0.1850
K	2	12.4848296	6.2424148	5.07	0.0097
R	2	120.1988667	60.0994333	48.83	<.0001
M*K	4	12.3952963	3.0988241	2.52	0.0523
M*R	4	5.1205259	1.2801315	1.04	0.3955
K*R	4	4.0827704	1.0206926	0.83	0.5126
M*K*R	8	14.0692593	1.7586574	1.43	0.2068
Error	52	64.0004815	1.2307785		
Corrected Total	80	238.3756000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Jum_Daun Mean
0.731514	8.944407	1.109405	12.40333

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: N_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	12.94255556	0.46223413	17.22	<.0001
Block	2	0.17775556	0.08887778	3.31	0.0443
M	2	1.18006667	0.59003333	21.99	<.0001
K	2	1.73802222	0.86901111	32.38	<.0001
R	2	6.32678519	3.16339259	117.88	<.0001
M*K	4	0.15588889	0.03897222	1.45	0.2302
M*R	4	0.82790370	0.20697593	7.71	<.0001
K*R	4	1.95285926	0.48821481	18.19	<.0001
M*K*R	8	0.58327407	0.07290926	2.72	0.0140
Error	52	1.39544444	0.02683547		
Corrected Total	80	14.33800000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N_Konsumsi Mean
0.902675	13.90885	0.163815	1.177778

The GLM Procedure

Dependent Variable: N_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	4.70760494	0.16812875	7.36	<.0001
Block	2	0.22804691	0.11402346	4.99	0.0104
M	2	0.86253580	0.43126790	18.89	<.0001
K	2	0.39803210	0.19901605	8.72	0.0005
R	2	1.64463951	0.82231975	36.02	<.0001
M*K	4	0.09643457	0.02410864	1.06	0.3876
M*R	4	0.33907160	0.08476790	3.71	0.0099
K*R	4	0.86881975	0.21720494	9.51	<.0001
M*K*R	8	0.27002469	0.03375309	1.48	0.1878
Error	52	1.18708642	0.02282858		
Corrected Total	80	5.89469136			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N_Akar Mean
0.798618	24.43281	0.151091	0.618395

The GLM Procedure

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Dependent Variable: Efisien_KA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	10.64041975	0.38001499	2.41	0.0030
Block	2	2.49844691	1.24922346	7.93	0.0010
M	2	3.19094321	1.59547160	10.13	0.0002
K	2	1.17043210	0.58521605	3.72	0.0310
R	2	1.12747654	0.56373827	3.58	0.0349
M*K	4	0.41775309	0.10443827	0.66	0.6204
M*R	4	0.41659753	0.10414938	0.66	0.6216
K*R	4	0.10233086	0.02558272	0.16	0.9564
M*K*R	8	1.71643951	0.21455494	1.36	0.2349
Error	52	8.18888642	0.15747858		
Corrected Total	80	18.82930617			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_KA Mean
0.565099	21.02406	0.396836	1.887531

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Lahan

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	13.06183457	0.46649409	3.09	0.0002
Block	2	1.32660988	0.66330494	4.39	0.0173
M	2	3.04160988	1.52080494	10.06	0.0002
K	2	1.95815062	0.97907531	6.48	0.0031
R	2	2.38377284	1.19188642	7.89	0.0010
M*K	4	0.96110864	0.24027716	1.59	0.1909
M*R	4	0.96935309	0.24233827	1.60	0.1874
K*R	4	0.42963457	0.10740864	0.71	0.5884
M*K*R	8	1.99159506	0.24894938	1.65	0.1343
Error	52	7.85999012	0.15115366		
Corrected Total	80	20.92182469			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Lahan Mean
0.624316	19.98957	0.388785	1.944938

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	0.03558272	0.00127081	4.92	<.0001
Block	2	0.00189877	0.00094938	3.67	0.0322
M	2	0.00520247	0.00260123	10.07	0.0002
K	2	0.01803210	0.00901605	34.90	<.0001
R	2	0.00349877	0.00174938	6.77	0.0024
M*K	4	0.00189383	0.00047346	1.83	0.1366
M*R	4	0.00156049	0.00039012	1.51	0.2128
K*R	4	0.00033086	0.00008272	0.32	0.8632
M*K*R	8	0.00316543	0.00039568	1.53	0.1692
Error	52	0.01343457	0.00025836		
Corrected Total	80	0.04901728			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Pupuk Mean
0.725922	21.34349	0.016073	0.075309

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Rad_Basah

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	18.23864444	0.65138016	5.87	<.0001
Block	2	1.16162222	0.58081111	5.24	0.0085
M	2	1.98787407	0.99393704	8.96	0.0005
K	2	1.29942963	0.64971481	5.86	0.0051
R	2	10.35768889	5.17884444	46.69	<.0001
M*K	4	0.70282963	0.17570741	1.58	0.1923
M*R	4	0.93599259	0.23399815	2.11	0.0928
K*R	4	0.48059259	0.12014815	1.08	0.3744
M*K*R	8	1.31261481	0.16407685	1.48	0.1875
Error	52	5.76724444	0.11090855		
Corrected Total	80	24.00588889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Rad_Basah Mean
0.759757	22.25691	0.333029	1.496296

UNIVERSITAS GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Rad_Kering

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	0.06258272	0.00223510	4.02	<.0001
Block	2	0.01047654	0.00523827	9.42	0.0003
M	2	0.01207654	0.00603827	10.86	0.0001
K	2	0.00514321	0.00257160	4.62	0.0142
R	2	0.02429877	0.01214938	21.84	<.0001
M*K	4	0.00250864	0.00062716	1.13	0.3537
M*R	4	0.00304198	0.00076049	1.37	0.2580
K*R	4	0.00086420	0.00021605	0.39	0.8160
M*K*R	8	0.00417284	0.00052160	0.94	0.4940
Error	52	0.02892346	0.00055622		
Corrected Total	80	0.09150617			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Rad_Kering Mean
0.683918	25.50508	0.023584	0.092469

Anova 2 Faktor

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	693729.765	34686.488	3.37	0.0001
Block	2	83250.7523	41625.3762	4.05	0.0224
MK	8	373388.7030	46673.5879	4.54	0.0002
MR	6	210235.3387	35039.2231	3.41	0.0059
KR	4	26854.9709	6713.7427	0.65	0.6272
Error	60	617065.697	10284.428		
Corrected Total	80	1310795.462			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Konsumsi Mean
.529243	20.86127	101.4122	486.1265

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	2212.586788	110.629339	5.71	<.0001
Block	2	270.670410	135.335205	6.98	0.0019
MK	8	816.727165	102.090896	5.27	<.0001
MR	6	1057.599519	176.266586	9.10	<.0001
KR	4	67.589694	16.897423	0.87	0.4862
Error	60	1162.773956	19.379566		
Corrected Total	80	3375.360743			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Akar Mean
0.655511	22.15746	4.402223	19.86790

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Total

Source	DF	Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	761224.468	38061.223	3.54	<.0001
Block	2	91308.9471	45654.4735	4.25	0.0188
MK	8	402987.8088	50373.4761	4.69	0.0002
MR	6	240798.6655	40133.1109	3.73	0.0032
KR	4	26129.0462	6532.2616	0.61	0.6585
Error	60	644739.671	10745.661		
Corrected Total	80	1405964.139			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Total Mean
0.541425	20.48665	103.6613	505.9943

The GLM Procedure

Dependent Variable: Tot_Air_terlindi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	677262885.4	33863144.3	28.06	<.0001
Block	2	171267.9	85633.9	0.07	0.9316
MK	8	12538746.5	1567343.3	1.30	0.2617
MR	6	661672625.4	110278770.9	91.37	<.0001
KR	4	2880245.5	720061.4	0.60	0.6665
Error	60	72416053.0	1206934.2		
Corrected Total	80	749678938.3			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Tot_Air_terlindi Mean
0.903404	16.81971	1098.606	6531.654

The GLM Procedure

Dependent Variable: Keb_Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	1379405219	68970261	57.15	<.0001
Block	2	171268	85634	0.07	0.9316
MK	8	12538747	1567343	1.30	0.2617
MR	6	1363814959	227302493	188.33	<.0001
KR	4	2880246	720061	0.60	0.6665
Error	60	72416053	1206934		
Corrected Total	80	1451821272			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keb_Air Mean
0.950121	6.617437	1098.606	16601.68

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	8886.06539	444.30327	7.36	<.0001
Block	2	768.335830	384.167915	6.36	0.0031
MK	8	1634.667178	204.333397	3.39	0.0029
MR	6	6403.891459	1067.315243	17.68	<.0001
KR	4	79.170926	19.792731	0.33	0.8582
Error	60	3621.76923	60.36282		
Corrected Total	80	12507.83462			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Konsumsi Mean
0.710440	24.54111	7.769351	31.65852

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	66.4005926	3.3200296	4.24	<.0001
Block	2	3.74556296	1.87278148	2.39	0.1001
MK	8	15.86591111	1.98323889	2.53	0.0191
MR	6	46.49237778	7.74872963	9.90	<.0001
KR	4	0.29674074	0.07418519	0.09	0.9838
Error	60	46.9669630	0.7827827		
Corrected Total	80	113.3675556			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Akar Mean
0.585711	32.59860	0.884750	2.714074

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Totar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	10407.72779	520.38639	7.43	<.0001
Block	2	887.724719	443.862359	6.34	0.0032
MK	8	1953.385644	244.173206	3.49	0.0023
MR	6	7473.952526	1245.658754	17.78	<.0001
KR	4	92.664896	23.166224	0.33	0.8563
Error	60	4203.71030	70.06184		
Corrected Total	80	14611.43809			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Totar Mean
0.712300	24.41242	8.370295	34.28704

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: TT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	1906.182425	95.309121	3.12	0.0003
Block	2	10.228928	5.114464	0.17	0.8461
MK	8	402.077410	50.259676	1.65	0.1307
MR	6	1447.444244	241.240707	7.90	<.0001
KR	4	46.431842	11.607960	0.38	0.8218
Error	60	1831.059496	30.517658		
Corrected Total	80	3737.241921			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TT Mean
0.510051	17.60501	5.524279	31.37901

The GLM Procedure

Dependent Variable: Jum_Daun

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	160.3058593	8.0152930	6.16	<.0001
Block	2	1.7323185	0.8661593	0.67	0.5177
MK	8	29.1713778	3.6464222	2.80	0.0105
MR	6	125.3193926	20.8865654	16.05	<.0001
KR	4	4.0827704	1.0206926	0.78	0.5398
Error	60	78.0697407	1.3011623		
Corrected	80	238.3756000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Jum_Daun Mean
0.672493	9.196601	1.140685	12.40333

The GLM Procedure

Dependent Variable: N_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	12.35928148	0.61796407	18.74	<.0001
Block	2	0.17775556	0.08887778	2.70	0.0757
MK	8	3.07397778	0.38424722	11.65	<.0001
MR	6	7.15468889	1.19244815	36.16	<.0001
KR	4	1.95285926	0.48821481	14.80	<.0001
Error	60	1.97871852	0.03297864		
Corrected Total	80	14.33800000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N_Konsumsi Mean
0.861995	15.41889	0.181600	1.177778

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: N_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	4.43758025	0.22187901	9.14	<.0001
Block	2	0.22804691	0.11402346	4.70	0.0128
MK	8	1.35700247	0.16962531	6.98	<.0001
MR	6	1.98371111	0.33061852	13.61	<.0001
KR	4	0.86881975	0.21720494	8.94	<.0001
Error	60	1.45711111	0.02428519		
Corrected Total	80	5.89469136			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N_Akar Mean
0.752810	25.20024	0.155837	0.618395

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_KA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	8.92398025	0.44619901	2.70	0.0016
Block	2	2.49844691	1.24922346	7.57	0.0012
MK	8	4.77912840	0.59739105	3.62	0.0017
MR	6	1.54407407	0.25734568	1.56	0.1750
KR	4	0.10233086	0.02558272	0.15	0.9600
Error	60	9.90532593	0.16508877		
Corrected Total	80	18.82930617			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_KA Mean
0.473941	21.52607	0.406311	1.887531

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Lahan

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	11.07023951	0.55351198	3.37	0.0001
Block	2	1.32660988	0.66330494	4.04	0.0226
MK	8	5.96086914	0.74510864	4.54	0.0002
MR	6	3.35312593	0.55885432	3.40	0.0059
KR	4	0.42963457	0.10740864	0.65	0.6262
Error	60	9.85158519	0.16419309		
Corrected Total	80	20.92182469			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Lahan Mean
0.529124	20.83395	0.405207	1.944938

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	0.03241728	0.00162086	5.86	<.0001
Block	2	0.00189877	0.00094938	3.43	0.0388
MK	8	0.02512840	0.00314105	11.35	<.0001
MR	6	0.00505926	0.00084321	3.05	0.0114
KR	4	0.00033086	0.00008272	0.30	0.8775
Error	60	0.01660000	0.00027667		
Corrected Total	80	0.04901728			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Pupuk Mean
0.661344	22.08684	0.016633	0.075309

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Rad_Basah

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	16.92602963	0.84630148	7.17	<.0001
Block	2	1.16162222	0.58081111	4.92	0.0105
MK	8	3.99013333	0.49876667	4.23	0.0005
MR	6	11.29368148	1.88228025	15.95	<.0001
KR	4	0.48059259	0.12014815	1.02	0.4053
Error	60	7.07985926	0.11799765		
Corrected Total	80	24.00588889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Rad_Basah Mean
0.705078	22.95721	0.343508	1.496296

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Rad_Kering

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	20	0.05840988	0.00292049	5.29	<.0001
Block	2	0.01047654	0.00523827	9.50	0.0003
MK	8	0.01972840	0.00246605	4.47	0.0003
MR	6	0.02734074	0.00455679	8.26	<.0001
KR	4	0.00086420	0.00021605	0.39	0.8138
Error	60	0.03309630	0.00055160		
Corrected Total	80	0.09150617			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Rad_Kering Mean
0.638316	25.39904	0.023486	0.092469

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Anova 3 Faktor

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	818818.211	29243.508	3.09	0.0002
Block	2	83250.7523	41625.3762	4.40	0.0172
Treatment	26	735567.4589	28291.0561	2.99	0.0004
Error	52	491977.251	9461.101		
Corrected Total	80	1310795.462			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Konsumsi Mean
0.624673	20.00882	97.26819	486.1265

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	2310.297153	82.510613	4.03	<.0001
Block	2	270.670410	135.335205	6.61	0.0028
Treatment	26	2039.626743	78.447182	3.83	<.0001
Error	52	1065.063590	20.481992		
Corrected Total	80	3375.360743			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Akar Mean
0.684459	22.77897	4.525703	19.86790

The GLM Procedure

Dependent Variable: BS_Total

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	887453.447	31694.766	3.18	0.0002
Block	2	91308.9471	45654.4735	4.58	0.0147
Treatment	26	796144.5001	30620.9423	3.07	0.0003
Error	52	518510.692	9971.359		
Corrected Total	80	1405964.139			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BS_Total Mean
0.631206	19.73475	99.85669	505.9943

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Tot_Air_terlindi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	701814776.9	25064813.5	27.23	<.0001
Block	2	171267.9	85633.9	0.09	0.9113
Treatment	26	701643509.0	26986288.8	29.32	<.0001
Error	52	47864161.5	920464.6		
Corrected Total	80	749678938.3			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Tot_Air_terlindi Mean
0.936154	14.68860	959.4085	6531.654

The GLM Procedure

Dependent Variable: Keb_Air

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	1403957110	50141325	54.47	<.0001
Block	2	171268	85634	0.09	0.9113
Treatment	26	1403785842	53991763	58.66	<.0001
Error	52	47864161	920465		
Corrected	80	1451821272			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Keb_Air Mean
0.967032	5.778985	959.4085	16601.68

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	9587.92225	342.42579	6.10	<.0001
Block	2	768.335830	384.167915	6.84	0.0023
Treatment	26	8819.586422	339.214862	6.04	<.0001
Error	52	2919.91237	56.15216		
Corrected Total	80	12507.83462			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Konsumsi Mean
0.766553	23.66969	7.493475	31.65852

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	72.0816519	2.5743447	3.24	0.0001
Block	2	3.74556296	1.87278148	2.36	0.1046
Treatment	26	68.33608889	2.62831111	3.31	0.0001
Error	52	41.2859037	0.7939597		
Corrected Total	80	113.3675556			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Akar Mean
0.635823	32.83050	0.891044	2.714074

The GLM Procedure

Dependent Variable: BK_Totar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	11229.04487	401.03732	6.17	<.0001
Block	2	887.72472	443.86236	6.82	0.0023
Treatment	26	10341.32016	397.74308	6.11	<.0001
Error	52	3382.39321	65.04602		
Corrected Total	80	14611.43809			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	BK_Totar Mean
0.768511	23.52233	8.065111	34.28704

The GLM Procedure

Dependent Variable: TT

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	2341.089049	83.610323	3.11	0.0002
Block	2	10.228928	5.114464	0.19	0.8271
Treatment	26	2330.860121	89.648466	3.34	0.0001
Error	52	1396.152872	26.849094		
Corrected Total	80	3737.241921			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	TT Mean
0.626422	16.51298	5.181611	31.37901

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Jum_Daun

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	174.3751185	6.2276828	5.06	<.0001
Block	2	1.7323185	0.8661593	0.70	0.4994
Treatment	26	172.6428000	6.6401077	5.40	<.0001
Error	52	64.0004815	1.2307785		
Corrected	80	238.3756000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Jum_Daun Mean
0.731514	8.944407	1.109405	12.40333

The GLM Procedure

Dependent Variable: N_Konsumsi

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	12.94255556	0.46223413	17.22	<.0001
Block	2	0.17775556	0.08887778	3.31	0.0443
Treatment	26	12.76480000	0.49095385	18.29	<.0001
Error	52	1.39544444	0.02683547		
Corrected Total	80	14.33800000			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N_Konsumsi Mean
0.902675	13.90885	0.163815	1.177778

The GLM Procedure

Dependent Variable: N_Akar

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	4.70760494	0.16812875	7.36	<.0001
Block	2	0.22804691	0.11402346	4.99	0.0104
Treatment	26	4.47955802	0.17229069	7.55	<.0001
Error	52	1.18708642	0.02282858		
Corrected Total	80	5.89469136			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	N_Akar Mean
0.798618	24.43281	0.151091	0.618395

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_KA

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	10.64041975	0.38001499	2.41	0.0030
Block	2	2.49844691	1.24922346	7.93	0.0010
Treatment	26	8.14197284	0.31315280	1.99	0.0175
Error	52	8.18888642	0.15747858		
Corrected Total	80	18.82930617			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_KA Mean
0.565099	21.02406	0.396836	1.887531

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Lahan

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	13.06183457	0.46649409	3.09	0.0002
Block	2	1.32660988	0.66330494	4.39	0.0173
Treatment	26	11.73522469	0.45135480	2.99	0.0004
Error	52	7.85999012	0.15115366		
Corrected Total	80	20.92182469			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Lahan Mean
0.624316	19.98957	0.388785	1.944938

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Pupuk

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	0.03558272	0.00127081	4.92	<.0001
Block	2	0.00189877	0.00094938	3.67	0.0322
Treatment	26	0.03368395	0.00129554	5.01	<.0001
Error	52	0.01343457	0.00025836		
Corrected Total	80	0.04901728			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Pupuk Mean
0.725922	21.34349	0.016073	0.075309

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI MATAHARI, AIR, PUPUK DAN LAHAN PADA TANAMAN SAYURAN SISTEM PERTANAMAN VERTIKAL BERMEDIA ABU VULKAN
MULYONO NITISAPTO, Prof. Dr. Ir. Azwar Maas, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2018 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Rad_Basah

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	18.23864444	0.65138016	5.87	<.0001
Block	2	1.16162222	0.58081111	5.24	0.0085
Treatment	26	17.07702222	0.65680855	5.92	<.0001
Block	2	1.16162222	0.58081111	5.24	0.0085
Treatment	26	17.07702222	0.65680855	5.92	<.0001
Error	52	5.76724444	0.11090855		
Corrected Total	80	24.00588889			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Rad_Basah Mean
0.759757	22.25691	0.333029	1.496296

The GLM Procedure

Dependent Variable: Efisien_Rad_Kering

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	28	0.06258272	0.00223510	4.02	<.0001
Block	2	0.01047654	0.00523827	9.42	0.0003
Treatment	26	0.05210617	0.00200408	3.60	<.0001
Error	52	0.02892346	0.00055622		
Corrected Total	80	0.09150617			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	Efisien_Rad_Kering Mean
0.683918	25.50508	0.023584	0.092469