

PENGARUH KOMPOS GRANULAR DAN PUPUK ANORGANIK TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK TANAH ULTISOL DAN HASIL TANAMAN JAGUNG (*ZEA MAYS L.*)

Andi Adriani Wahditiya ^{1)*}, Nur Tasmiah Sirajuddin ²⁾

^{1)*} Universitas Pattimura, email: andiadrianiwahditiya@gmail.com

²⁾ Universitas Pattimura, email: nurtasmiahs@gmail.com

* Penulis Korespondensi: E-mail: andiadrianiwahditiya@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi dampak kombinasi kompos granular dan pupuk anorganik terhadap sifat-sifat tanah Ultisol serta pertumbuhan jagung. Desain eksperimen menggunakan blok acak dengan tiga ulangan. Perlakuan terdiri dari variasi aplikasi kompos dan pupuk anorganik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi setengah dosis rekomendasi pupuk anorganik dan 12 ton ha⁻¹ kompos granular secara signifikan memperbaiki sifat fisik tanah, seperti persentase porositas tanah berat, pori-pori drainase cepat, pori-pori drainase lambat, dan pori air yang tidak tersedia. Selama pengamatan pertumbuhan dan hasil panen jagung, terungkap bahwa penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan tidak memberikan peningkatan hasil yang signifikan. Namun, kombinasi tersebut menghasilkan hasil panen biji jagung kering tertinggi, meningkatkan sebesar 35% dibandingkan dengan aplikasi pupuk anorganik tunggal. Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan kombinasi kompos granular dan pupuk anorganik memiliki dampak positif terhadap sifat-sifat tanah dan hasil pertumbuhan jagung, serta mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik dan meningkatkan efisiensi penggunaannya dalam meningkatkan hasil tanaman. Disarankan untuk menerapkan kombinasi ini dalam praktik pertanian untuk meningkatkan produktivitas lahan serta keberlanjutan sistem pertanian.

Kata kunci: *Kompos Granular, Pupuk Anorganik, Tanah Ultisol, Tanaman Jagung.*

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi global telah menyebabkan berkurangnya jumlah lahan pertanian yang subur, dengan banyak daerah tersebut beralih fungsi menjadi zona residensial untuk menampung permintaan hunian yang meningkat. Trend ini menimbulkan tantangan signifikan bagi kemajuan pertanian terkini, terutama dalam hal ketersediaan lahan. Di Indonesia, terdapat banyak lahan marginal yang terutama terdiri dari tanah Ultisol, yang memiliki potensi yang menjanjikan untuk pengembangan pertanian di masa depan. Ultisol adalah jenis tanah yang dominan di

wilayah Maluku, mencakup sekitar 47,72% dari total luas lahan, sehingga menawarkan peluang besar untuk ekspansi pertanian. Tanah Ultisol di Indonesia memiliki ciri khas seperti status nutrisi yang bervariasi, mulai dari rendah hingga tinggi, serta tingkat pH tanah yang asam hingga netral. Selain itu, tanah ini memiliki kandungan bahan organik yang rendah hingga sedang, dengan kandungan nitrogen (N) dan fosfor (P) yang bervariasi dari rendah hingga tinggi, dan tingkat kalium (K) yang berkisar dari sangat rendah hingga sedang. Selain itu, kapasitas pertukaran kation (CEC) tanah ini berkisar dari rendah hingga tinggi. Untuk mengatasi tantangan ini dan meningkatkan kualitas tanah, pengenalan bahan organik merupakan

solusi yang layak, dengan tujuan untuk memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah asam serta lahan marginal, sehingga meningkatkan produktivitas untuk tujuan pertanian.

Pertumbuhan tanaman sangat bergantung pada keberadaan bahan organik, yang dapat diperoleh dari berbagai sumber termasuk pupuk kandang, hijauan, kompos sisa tanaman, kompos domestik, dan kompos limbah industri. Kompos, khususnya, menunjukkan kapasitas untuk meningkatkan sifat fisik tanah, menyediakan nutrisi penting bagi vigor tanaman, dan mendukung proses meristematis dan fisiologis yang sangat penting untuk perkembangan tanaman. Selain itu, kompos juga berkontribusi pada peningkatan kesehatan tanah, status karbon organik, dan ketersediaan nutrisi seperti nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan sulfur (S). Namun, penambahan bahan organik memerlukan pertimbangan yang cermat terkait jenis, jumlah, dan metode aplikasinya. Studi telah menunjukkan bahwa kompos kapas gin hancur (CGCC) memiliki potensi untuk meningkatkan komponen fisik dan biologis tanah, sehingga berdampak positif pada kualitas produksi gandum, sedangkan lumpur tinja (SS) dapat berdampak negatif pada status biologis tanah dan pertumbuhan gandum.

Sagu, sebuah tanaman yang berasal dari keluarga palma, memiliki area budidaya yang signifikan di Indonesia, diperkirakan mencapai sekitar 7.000.000 ha, yang menyumbang sekitar 51,3% dari total luas area penanaman sagu global. Hasil utama dari tanaman sagu adalah pati, sedangkan produk sampingan atau limbah umumnya digunakan sebagai pakan ternak, kompos jamur dalam media penanaman, atau sebagai bahan baku dalam industri kayu lapis. Limbah inti sagu, yang dikenal secara lokal sebagai "sagu ela" di Maluku, dapat berkontribusi pada peningkatan kesuburan

tanah. Meskipun memiliki potensi tersebut, limbah inti sagu masih kurang dimanfaatkan, terutama di Indonesia bagian timur, terutama di wilayah Maluku.

Jagung (*Zea mays* L.) merupakan komoditas pertanian penting yang menjadi sumber pangan vital bagi manusia dan ternak. Permintaan jagung telah mengalami peningkatan substansial dalam beberapa tahun terakhir, didorong oleh kebutuhan industri makanan yang beragam. Di Indonesia, produktivitas jagung mengalami tren peningkatan, dengan produksi mencapai 11.162.813 ton pada tahun 2004, menandai peningkatan sebesar 2,93% dibandingkan tahun 2003 (10.886.442 ton). Pada tahun 2009, produksi jagung nasional melonjak menjadi 17,63 juta ton. Data dari Dinas Pertanian Provinsi Maluku menunjukkan peningkatan produksi jagung yang stabil dari tahun 2001 hingga 2005, dengan luas panen meningkat dari 4.754 ha menjadi 6.089 ha, dan mencapai hasil panen sebesar 23,33 kw ha-1 pada tahun 2009. Terutama di Maluku Utara, khususnya di kota Ambon, produksi jagung mencapai 13.990 ton, meskipun tetap menjadi yang terendah dibandingkan dengan wilayah lain di provinsi Maluku. Budidaya jagung memungkinkan pada tanah lempung dan tanah lempung berlapis dengan drainase yang memadai dan rentang pH 5,0 - 8,0, tetapi rentan terhadap salinitas. Untuk meningkatkan produksi jagung, penting untuk mengatasi kondisi tanah melalui aplikasi pupuk, yang dapat membantu mengoptimalkan tingkat kelembaban tanah, meningkatkan porositas, aerasi tanah, retensi air tanah, dan ketersediaan nutrisi. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dampak kompos granular sagu ela dan pupuk anorganik dalam memperbaiki karakteristik fisik tanah dan mempromosikan pertumbuhan tanaman jagung di Inceptisol.

METODE PENELITIAN

Pada bulan Mei 2022, eksperimen dilaksanakan di kebun percobaan Telaga Kodok, dengan analisis laboratorium dilakukan di Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, serta BALITAN Bogor. Penelitian ini menggunakan beragam peralatan dan materi, termasuk granulator untuk menghasilkan granul pupuk organik, jenis tanah Ultisol, limbah pucuk sagu, pupuk kandang, gula, daun *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, larutan kultur EM-4, varietas jagung kuning Srikandi Kuning, urea, kalium klorida (KCl), SP-36, dan pestisida Furadan 3G.

Desain eksperimental yang digunakan adalah desain blok acak dengan tiga kali ulangan. Perlakuan terdiri dari variasi aplikasi pupuk sebagai berikut: (1) tanpa pupuk (KGS1), (2) kompos granular pada dosis 8 ton/ha (KGS2), (3) dosis anjuran pupuk anorganik (KGS3), (4) kombinasi pupuk anorganik dan kompos granular pada dosis 8 ton/ha (KGS4), (5) setengah dosis anjuran pupuk anorganik dengan kompos granular pada dosis 8 ton/ha (KGS5), (6) dua kali lipat dosis anjuran pupuk anorganik dengan kompos granular pada dosis 8 ton/ha (KGS6), (7) setengah dosis anjuran pupuk anorganik dengan kompos granular pada dosis 12 ton/ha (KGS7), dan (8) dua kali lipat dosis anjuran pupuk anorganik dengan kompos granular pada dosis 4 ton/ha (KGS8). Aplikasi kompos granular dari limbah pucuk sagu yang telah diperkaya dilakukan dalam dua tahap: 50% saat penanaman dan 50% pada 30 hari setelah penanaman. Pupuk N, P, dan K diberikan tiga kali: 50% pada 10 hari setelah penanaman, 30% pada 30 hari setelah penanaman, dan 20% pada 40 hari setelah penanaman.

Studi ini mengamati berbagai parameter, termasuk karakteristik fisik

tanah serta pertumbuhan dan hasil panen jagung. Karakteristik fisik tanah Ultisol dievaluasi melalui berbagai metode, termasuk kepadatan massa tanah menggunakan metode silinder, kepadatan partikel tanah menggunakan metode piknometer, porositas tanah, drainase pori cepat (makro-pori), drainase pori lambat (meso-pori), dan air pori yang tersedia (mikro-pori). Pengukuran pertumbuhan dan hasil panen tanaman mencakup tinggi tanaman dan berat jagung kering yang dihasilkan. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak GENSTAT versi 12 untuk Windows, dengan mempertimbangkan keragaman. Analisis varians (ANOVA) dilakukan sesuai dengan desain eksperimen, dengan uji jarak berganda Duncan (DMRT) digunakan untuk menentukan perbedaan signifikan pada tingkat kepercayaan 5%. Selain itu, analisis korelasi dan regresi digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara perlakuan dan variabel yang diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Kimia Pupuk Granular yang Diperkaya

Analisis awal terhadap komposisi nutrisi dari limbah batang sagu menunjukkan pH yang sedikit alkalin (pH H₂O 7.8 dan pH KCl 7.8). Hal ini menandakan bahwa integrasi kompos ini ke dalam tanah dapat memberikan kontribusi pada peningkatan pH, yang berpotensi untuk menetralkan efek keasaman yang sering terjadi akibat penggunaan pupuk anorganik. Kompos tersebut mengandung bahan organik yang signifikan, sekitar 26.85%, dan juga memiliki konsentrasi nutrisi yang cukup, dengan kandungan N, P, dan K masing-masing sebesar 1.56%, 1.03%, dan 0.69%, disertai dengan kelembaban berkisar antara 12-15%. Analisis perbandingan dengan kotoran sapi dan ayam menunjukkan bahwa kompos limbah batang

sagu memiliki tingkat N dan P yang lebih tinggi, meskipun tingkat K-nya lebih rendah dibandingkan dengan kotoran ayam dan lebih tinggi daripada kotoran sapi. Rasio C/N kompos sebesar 10 menunjukkan kualitas yang baik dan dekomposisi yang cepat, yang menghasilkan suplai nutrisi yang efisien. Pemperkayaan nutrisi dengan menambahkan NPK bertujuan untuk meningkatkan kandungan N, P, dan K, menghasilkan N = 2.44%, P = 1.03%, dan K = 0.88%, masing-masing.

Analisis Awal

Analisis awal karakteristik fisik dan komposisi kimia tanah Ultisol sebelum eksperimen diuraikan dalam Tabel 1. Temuan menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi, dengan pH sebesar 5.6. Komposisi tanah secara dominan adalah lempung, dengan proporsi lebih sedikit dari fraksi silt dan pasir, mengklasifikasikannya sebagai tekstur lempung. Kehadiran tekstur lempung berkontribusi pada porositas sedang, dengan pori-pori drainase cepat yang mendominasi, diikuti oleh keterbatasan ketersediaan air pori, drainase pori yang lambat, dan dominasi mikropori, yang menghambat penetrasi air ke dalam tanah.

Tabel 1: Beberapa Karakteristik Fisik dan Kimia Tanah Inceptisol Sebelum Eksperimen

No.	Physical characteristics of the soil (depth of 0-20 cm)	The result of analysis
1	Tektur : - Sand (%) - Dust (%) - Clay (%)	17 41 45
2	Volume weight (g cm ⁻³)	1,21
3	Typical weight of soil (g cm ⁻³)	2.11
4	Soil Porosity (% volume)	4.44

5	Pore spread: - Fast pore drainage (% volume) - Slow pore drainage (% volume) - Available water pore (% volume) - Unavailable pore water (% volume)	33.13 5.49 8.36 8.3
6	pF 2 concentration of water (cm ³ .cm ⁻³)	0,47
7	DMR (cm)	2.1
8	Soil pH	5.6

Kondisi tanah yang diamati dapat menghambat pertumbuhan tanaman karena perkembangan akar yang terhambat, ditandai oleh akar yang pendek, lebih tebal, kaku, rentan patah, dan bengkok di ujungnya. Hal ini menghambat penyerapan air dan nutrisi, menyebabkan stres air pada tanaman dan potensi kekurangan nutrisi. Menurut Radjaguguk (1983), Ultisols menimbulkan tantangan seperti kapasitas fiksasi P yang tinggi, berkontribusi pada keadaan tidak Bergeraknya unsur dan toksisitas aluminium dalam tanah mineral asam dengan pH di bawah 5, di mana oksida dan hidroksida aluminium dan besi (seskuoksida) menunjukkan penyerapan P yang tinggi. Untuk mengatasi masalah tersebut, bahan organik seperti kompos dapat dimanfaatkan. Penelitian menunjukkan bahwa kompos dan sisa-sisa tanaman secara efektif dapat mengelat aluminium tanah, mengurangi toksisitas aluminium pada tanaman. Selain itu, penerapan kompos granular dapat meningkatkan sifat fisik tanah dengan meningkatkan pertukaran oksigen, karbon dioksida, nitrogen, dan uap air yang difasilitasi oleh mikroba tanah, sehingga meningkatkan kelembaban dan porositas tanah. Bahan organik membantu dalam agregasi tanah, mempromosikan sirkulasi udara dan air yang lebih baik, memfasilitasi penetrasi akar yang lebih dalam dan lebih luas, dan meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Penambahan kompos menciptakan lingkungan yang optimal bagi

mikroba tanah, meningkatkan karakteristik tanah seperti agregasi, kerapatan volume, kerapatan partikel, dan porositas. Akibatnya, kerapatan volume tanah menurun, berdampak positif pada porositas tanah dan agregasi.

Analisis kompos granular limbah pati sagu mengungkapkan tingkat karbon organik yang tinggi (30,16%) dan total nitrogen (2,43%). Temuan ini menunjukkan bahwa kompos tersebut berpotensi meningkatkan agregasi tanah, sehingga mempengaruhi karakteristik fisik Inceptisols. Hasil analisis varians yang berkaitan dengan parameter tanah Inceptisol, termasuk karakteristik fisik tanah dan hasil jagung, disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh dosis perlakuan kompos granular limbah pati sagu dan pupuk fosfat terhadap karakteristik fisik Ultisol, dan produksi Jagung

Treatments	Bulk Density (g cm ⁻³)	Particle density (g cm ⁻³)	Porosity (%)	Macropore (%)	Mesopore (%)	Micropore (%)	Dry weight yield (ton ha ⁻¹)
KGS1	1.21 a	2.11 f	4.44 g	33.13 a	5.50 g	8.36 d	3.6 2 h
KGS2	1.11 b	2.12 ef	4.58 f	31.48 b	5.99 f	8.41 d	4.1 6 g
KGS3	0.99 c	2.13 e	4.77 e	30.34 c	7.09 e	9.34 c	4.2 4 f
KGS4	0.99 c	2.20 d	5.48 d	29.47 d	7.34 d	9.43 c	4.4 7 e
KGS5	0.98 d	2.22 d	6.28 c	28.55 e	8.12 c	9.79 c	5.0 2 d
KGS6	0.94 d	2.24 c	6.44 b	27.05 f	8.18 b	11.03 b	6.5 3 c
KGS7	0.81 e	2.31 a	7.78 a	23.55 h	8.84 a	11.63 a	7.8 6 a
KGS8	0.91 d	2.26 b	6.47 b	26.56 g	8.21 b	11.26 ab	6.9 6 b

Deskripsi: Angka yang diikuti oleh notasi huruf yang sama dalam kolom yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat 5% dari uji DMRT.

Kepadatan Massa Tanah (g.cm-3)

Analisis varians pada parameter kepadatan massa tanah mengungkapkan penurunan signifikan dalam kepadatan massa tanah dengan penambahan kompos limbah batang

sagu dan pupuk anorganik (Tabel 2). Kepadatan massa tanah terendah diamati pada Ultisol yang diolah dengan kombinasi dosis peningkatan pupuk anorganik dan kompos (KGS8) sebesar 4 ton ha⁻¹, mencapai 0,81 g cm⁻³, berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Sebaliknya, kepadatan massa tanah tertinggi tercatat pada perlakuan kontrol (KGS1) sebesar 1,21 g cm⁻³, berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa aplikasi kompos dapat menurunkan kepadatan massa tanah. Materi organik dalam kompos limbah batang sagu berfungsi untuk mengikat partikel tanah, membentuk pola yang jelas, sebuah fenomena yang didukung oleh De Fretes et al. (1996). Hal ini sejalan dengan pendapat Hillel bahwa bahan organik, yang ditandai dengan kepadatan massa rendah, dapat mengurangi kepadatan massa tanah ketika diinkorporasi ke dalam tanah. Selain itu, kompos meningkatkan retensi air tanah, merangsang aktivitas biologis tanah, memecah matriks tanah, dan meningkatkan stabilitas agregat tanah, yang mengakibatkan penurunan kepadatan massa. Penurunan kepadatan massa berasal dari penambahan bahan organik dengan kepadatan partikel yang lebih rendah, yang ketika digabungkan dengan fraksi mineral tanah, meningkatkan agregasi dan porositas tanah. Namun, laju penurunan kepadatan massa akibat aplikasi material organik bergantung pada faktor-faktor seperti tingkat aplikasi kompos, jenis tanah, dan pemadatan tanah, seperti yang dicatat oleh Mandal et al. (2013).

Kepadatan Partikel Tanah (g cm-3)

Analisis variasi terhadap parameter kepadatan partikel tanah menghasilkan peningkatan yang signifikan dengan penggunaan kombinasi kompos limbah batang sagu dan pupuk anorganik (Tabel 2). Kepadatan partikel tanah mencapai titik terendah pada perlakuan kontrol (KGS1) sebesar 2,11 g cm-

3, meskipun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan perlakuan KGS2. Namun, perlakuan yang menggunakan kombinasi setengah dosis pupuk anorganik yang direkomendasikan dan 12 ton ha-1 kompos limbah batang sugu (KGS7) menunjukkan kepadatan partikel tanah tertinggi sebesar 2,31 g cm⁻³, yang berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Temuan ini berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya yang mencatat penurunan baik dalam kepadatan massa tanah maupun kepadatan partikel tanah dengan penambahan 30 dan 60 ton ha-1 pupuk kandang. Perubahan kepadatan partikel tanah dipengaruhi oleh partikel padat yang ada dalam tanah, yang memiliki afinitas yang berbeda tergantung pada jenis tanah dan tingkat pelapukan, sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk mengalami perubahan. Peningkatan kepadatan partikel tanah dengan penambahan bahan organik seperti humus merupakan tujuan yang diinginkan dalam upaya meningkatkan struktur tanah.

Porositas Tanah (%)

Analisis variasi terhadap parameter porositas tanah menunjukkan peningkatan yang signifikan dengan penerapan kombinasi kompos limbah batang sugu dan pupuk anorganik (Tabel 2). Porositas tanah mencapai nilai terendah pada perlakuan kontrol (KGS1) sebesar 4,44%, yang berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Sementara itu, porositas tanah tertinggi tercatat pada perlakuan yang menggunakan kombinasi setengah dosis pupuk anorganik yang direkomendasikan dan 12 ton ha-1 kompos limbah batang sugu (KGS7) sebesar 7,78%, yang juga berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan dampak positif dari penambahan pupuk kandang terhadap porositas tanah. Peningkatan

porositas tanah disebabkan oleh material organik yang merangsang pembentukan agregat tanah, mengakibatkan penurunan kepadatan massa tanah dan peningkatan agregasi serta porositas tanah. Penelitian Mandal et al. (2013) juga menyatakan bahwa material organik dapat bertindak sebagai agen pengikat antara partikel tanah, yang meningkatkan baik agregasi tanah maupun porositasnya.

Makroporositas Tanah (Ø 30-296 µm)

Analisis varians untuk parameter makroporositas tanah mengungkapkan penurunan signifikan dengan penambahan kompos limbah batang sugu dan pupuk anorganik (Tabel 2). Makroporositas tanah terendah diamati pada perlakuan kombinasi setengah dosis pupuk anorganik dengan 12 ton ha-1 kompos limbah batang sugu (KGS7), mengukur 23,55% dan berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Sebaliknya, perlakuan kontrol (KGS1) menunjukkan makroporositas tanah tertinggi sebesar 33,13%, berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Studi sebelumnya juga mencatat bahwa penambahan material organik, seperti pupuk kandang babi dan lumpur tinja, dapat mengurangi makroporositas tanah. Namun, temuan yang bertentangan menyarankan bahwa penambahan kompos dan pupuk nitrogen mungkin tidak berdampak signifikan pada volume makroporositas tanah. Dekomposisi bahan tumbuhan menjadi kompos dapat meningkatkan agregasi tanah, porositas, dan kelimpahan makroporositas tanah, yang pada akhirnya meningkatkan laju infiltrasi tanah. Penurunan makroporositas tanah terkait dengan peningkatan ketersediaan oksigen, nitrogen, dan uap air untuk respirasi akar, sejalan dengan peningkatan keseluruhan permeabilitas tanah dan penetrasi akar yang difasilitasi oleh penggabungan material organik. Silahooy (1999) mengusulkan bahwa pemberian 40 ton/ha limbah batang

sagu dalam berbagai metode dapat meningkatkan makroporositas tanah, mikroporositas tanah, porositas total tanah, sambil mengurangi mesoporositas tanah dan kepadatan massa tanah. Selain itu, penambahan kompos dapat meningkatkan konduktivitas air, memastikan sumber makanan bagi organisme tanah yang berkontribusi pada pembentukan makroporositas tanah.

Porositas Tanah Meso (\varnothing 8,6 μm hingga 30 μm)

Analisis varians untuk parameter mesoporositas tanah menunjukkan peningkatan signifikan dengan penerapan kompos limbah batang sagu dan pupuk organik (Tabel 2). Kandungan meso-porositas tanah terendah diamati pada perlakuan kontrol (KGS1) sebesar 5,49%, berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya, sementara kandungan meso-porositas tanah tertinggi tercatat pada perlakuan kombinasi setengah dosis pupuk anorganik dengan 12 ton ha⁻¹ kompos limbah batang sagu (KGS7) sebesar 8,84%, berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Studi sebelumnya telah menyarankan bahwa sementara penambahan bahan organik seperti pupuk kandang babi dan lumpur tinja dapat mengurangi makroporositas, mereka dapat meningkatkan mesopores. Menurut Widiyanto et al. (2004), karakteristik fisik lapisan tanah atas sangat penting untuk porositas tanah, yang mendukung pertumbuhan tanaman. Menggabungkan bahan organik ke dalam tanah dapat menurunkan kepadatan massa, meningkatkan makro-porositas dan mesoporositas tanah, dan meningkatkan konduktivitas hidrolis tanah. Peningkatan meso-porositas tanah akibat penerapan kompos dapat meningkatkan agregasi dan stabilitas tanah, difasilitasi oleh organisme tanah.

Porositas Tanah Mikro (\varnothing 0,2 - 8,6 μm)

Analisis varians untuk parameter mikroporositas tanah mengungkapkan peningkatan signifikan dengan penerapan perlakuan kompos limbah batang sagu dan pupuk anorganik (Tabel 2). Kandungan mikroporositas tanah terendah diamati pada perlakuan kontrol (KGS1) sebesar 8,36%, meskipun tidak berbeda secara signifikan dari perlakuan KGS2. Sebaliknya, kandungan mikroporositas tanah tertinggi tercatat pada perlakuan kombinasi setengah dosis pupuk anorganik dengan 12 ton ha⁻¹ kompos limbah batang sagu (KGS7) sebesar 11,63%, juga tidak berbeda secara signifikan dari perlakuan KGS8. Penambahan bahan organik ke dalam tanah dapat meningkatkan baik makroporositas maupun mikroporositas. Penerapan kompos dapat mengurangi kepadatan massa tanah sambil meningkatkan kandungan mikroporositas, terbukti dengan peningkatan kapasitas air tanah. Selain itu, penggabungan kompos dapat meningkatkan kapasitas lapangan dan kapasitas penahanan air yang tersedia (AWC pada 1,8 - 4,2 pF). Ketersediaan air pori yang meningkat yang difasilitasi oleh karbon organik tinggi dari kompos limbah batang sagu mengisi celah antara agregat makro, domain lempung kristalin, dan fraksi debu dan pasir, membentuk mikropori. Fenomena ini, ditambah peran bahan organik dalam agregasi tanah, berkontribusi pada peningkatan pembentukan mikropori.

Tinggi Tanaman (cm)

Analisis variasi terhadap parameter tinggi tanaman menunjukkan peningkatan yang signifikan dengan penerapan kombinasi kompos limbah batang sagu dan pupuk anorganik (Tabel 3). Tanaman mencapai tinggi terendah pada perlakuan kontrol (KGS1) sebesar 164,59 cm, meskipun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Di sisi lain, tinggi tanaman tertinggi tercatat

pada perlakuan yang menggunakan kombinasi setengah dosis pupuk anorganik dengan 12 ton ha⁻¹ kompos limbah batang sagu (KGS7) sebesar 249,18 cm, yang berbeda secara signifikan dari perlakuan lainnya. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan korelasi positif yang kuat antara tinggi tanaman jagung dan pemberian pupuk kandang sapi bersama dengan pupuk anorganik. Analisis variasi untuk parameter tinggi tanaman tidak mengungkapkan pengaruh yang signifikan pada pertumbuhan awal jagung. Namun, pengaruh parameter tinggi tanaman menjadi lebih nyata pada periode setelah 30 hari tanam (DAP) (Tabel 3). Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan kompos organik, seperti pupuk kandang, dapat meningkatkan berbagai parameter pertumbuhan vegetatif jagung, termasuk tinggi tanaman, diameter batang, jumlah daun, dan luas daun, bahkan dalam waktu secepat empat minggu setelah aplikasi.

Tabel 3. Efek penerapan pupuk anorganik dan kompos limbah batang sagu yang diperkaya terhadap tinggi tanaman jagung

Treatments	Average plant height (cm)				
	15 DAP	30 DAP	45 DAP	60 DAP	75 DAP
KGS 1	16.43	27.33 e	55.35 g	135.22g	164.59 d
KGS 2	15.84	28.31 d	56.73 f	137.68 f	202.04 c
KGS 3	16.75	30.09 c	59.49 e	140.65 e	222.63 b
KGS 4	16.22	30.27 c	60.76 c	143.35 d	209.14 cb
KGS 5	15.93	30.49 c	62.09 c	144.71 c	222.57 b
KGS 6	17.26	31.49 b	63.44 b	145.33 c	223.49 b
KGS 7	17.29	32.65 a	64.65 a	148.22 a	249.18 a
KGS 8	17.96	32.08 ab	63.70 b	146.55 b	223.92 b
JND 5%	tn				

Deskripsi: Angka yang diikuti oleh notasi huruf yang sama dalam kolom yang sama tidak berbeda secara signifikan pada tingkat 5% dari DMRT. tn = tidak nyata

Selama fase awal pertumbuhan tanaman, ketersediaan nutrisi dari pupuk anorganik cenderung lebih tinggi. Observasi dalam penelitian ini mengindikasikan bahwa tanaman jagung yang diberi perlakuan kompos (KGS2) pada awalnya menunjukkan pertumbuhan yang lebih lambat dibandingkan dengan tanaman yang hanya diberi pupuk anorganik atau kombinasi antara kompos dan anorganik. Studi oleh Arisha et al. (2003) menyatakan bahwa meskipun pupuk anorganik dapat mempercepat pertumbuhan awal tanaman jagung, pupuk organik mendorong pertumbuhan pada tahap-tahap berikutnya. Pupuk organik merangsang aktivitas berbagai mikroorganisme tanah yang menghasilkan fitohormon, yang pada gilirannya mempromosikan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketersediaan nutrisi. Mikroorganisme tanah ini juga membutuhkan nitrogen untuk pertumbuhan dan reproduksi mereka.

Namun, menjelang akhir periode pengamatan, tanaman yang hanya diberi perlakuan kompos mengalami peningkatan tinggi tanaman yang tertinggal dibandingkan dengan tanaman yang hanya diberi pupuk anorganik atau kombinasi dari keduanya. Pasokan nutrisi dari perlakuan kompos sangat bergantung pada kandungan nutrisi tanah dan menurun seiring dengan meningkatnya kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Analisis laboratorium menunjukkan bahwa kompos yang berasal dari limbah sagu mengandung tingkat nitrogen, fosfor, dan kalium yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandang ayam. Selain itu, kompos granular yang diperkaya dengan beragam bahan meningkatkan tingkat NPK menjadi 3,9%, 1,6%, dan 1,9%, masing-masing, dibandingkan dengan kompos biasa yang berasal dari sampah, dengan rasio C/N 10. Rasio C/N 10 menandakan kompos berkualitas tinggi yang terurai dengan cepat, menyediakan nutrisi penting untuk

pertumbuhan tanaman. Ketersediaan fosfor yang memadai sangat penting sepanjang siklus hidup tanaman, terutama selama pengisian biji jagung. Parameter pertumbuhan dan hasil jagung yang meningkat pada perlakuan seperti KGS7 disebabkan oleh penyerapan fosfor selama fase pertumbuhan. Penyerapan fosfor dalam fase vegetatif mempromosikan perkembangan optimal organ vegetatif, memfasilitasi penyerapan unsur-unsur penting lainnya selama fase reproduksi. Selain itu, fosfor berkontribusi pada peningkatan kandungan protein dalam buah atau biji dan membantu dalam produksi biji.

Hasil berat kering jagung (ton per hektar)

Hasil dari eksperimen lapangan menunjukkan dampak yang signifikan dari kombinasi kompos granular limbah sagu dan pupuk anorganik terhadap hasil berat kering jagung yang sudah dikupas (lihat Tabel 2). Hasil tertinggi diamati pada perlakuan yang menggabungkan setengah dosis rekomendasi pupuk anorganik dengan 12 ton ha⁻¹ kompos granular (KGS7), menghasilkan 7,86 ton ha⁻¹ jagung yang sudah dikupas. Penambahan kompos limbah sagu berkontribusi pada peningkatan ketersediaan fosfor di tanah melalui proses dekomposisi, yang pada gilirannya meningkatkan tinggi tanaman dan hasil biji jagung. Korelasi positif antara penggunaan pupuk kandang dan hasil biji jagung telah didukung oleh studi sebelumnya. Sebagai contoh, penerapan kompos dari kotoran sapi telah terbukti meningkatkan hasil biji jagung, dengan batas optimal aplikasi sekitar 18 ton ha⁻¹. Pengenalan kompos granular dari limbah sagu memicu proses dekomposisi yang menghasilkan asam organik, yang kemudian mengurangi aktivitas aluminium, besi, dan mangan di tanah yang bersifat asam seperti Ultisol. Akibatnya, fosfor, dalam berbagai bentuk ionnya, menjadi lebih tersedia untuk diserap oleh tanaman, yang difasilitasi oleh

peningkatan pH tanah. Proses ini juga dapat melibatkan mineralisasi fosfor dalam kompos, didorong oleh mikroorganisme tanah. Selain itu, bahan organik dari kompos limbah sagu dapat meningkatkan retensi air tanah dan mengurangi kerapatan tanah, memfasilitasi penetrasi akar dan serapan nutrisi. Proses kimia dan biologis di rizosfer memainkan peran penting dalam mobilisasi dan serapan nutrisi, yang pada akhirnya memengaruhi produktivitas tanaman. Peningkatan retensi air tanah meningkatkan kadar kelembaban tanah, sehingga memudahkan difusi ion fosfat ke akar tanaman. Demikian pula, aplikasi bersama pupuk fosfor anorganik dengan kompos limbah sagu dapat meningkatkan serapan fosfor tanaman karena ketersediaan fosfor tanah yang meningkat. Hal ini menyebabkan hasil biji jagung yang lebih besar. Selain itu, penambahan pupuk organik merangsang pertumbuhan tanaman dan hasil biji, mengingat respons jagung yang menguntungkan terhadap pupuk organik. Kompos yang diperkaya dengan bahan organik yang cukup menciptakan lingkungan optimal untuk aktivitas mikroba tanah, meningkatkan sifat fisik tanah seperti kerapatan, porositas, dan karakteristik drainase. Selain itu, pengayaan NPK dalam kompos mempercepat ketersediaan nutrisi, mempromosikan hasil biji jagung yang lebih tinggi per tanaman.

Dalam mengevaluasi hasil biji jagung kering yang dipanen per hektar, terdapat perbedaan yang signifikan antara dosis perlakuan yang diamati (lihat Tabel 2). Penerapan kompos granular tunggal (KGS2) menghasilkan biji jagung kering (t ha⁻¹) yang setara dengan perlakuan pupuk anorganik (KGS3), menandakan bahwa kandungan nutrisi yang kaya dari kompos yang diperkaya mampu memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman. Kombinasi antara pupuk anorganik dan kompos granular menghasilkan peningkatan hasil sebesar 35-48% dibandingkan dengan

penggunaan pupuk anorganik atau kompos tunggal. Studi ini menyarankan bahwa kombinasi tersebut memberikan hasil yang lebih menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman jagung dibandingkan dengan penggunaan kompos tunggal, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan dengan efek pupuk anorganik tunggal, sesuai dengan temuan penelitian sebelumnya mengenai pertumbuhan bawang. Sinergi antara pupuk anorganik dan kompos organik dapat memastikan pasokan nutrisi yang berkelanjutan selama periode pertumbuhan tanaman, mengurangi risiko kekurangan nutrisi. Pupuk anorganik dapat memberikan nutrisi penting dengan cepat saat diperlukan, sementara kompos, yang kaya akan bahan organik, meningkatkan sirkulasi udara, porositas, kepadatan massa, dan retensi air tanah. Dari perspektif kimia tanah, bahan organik dapat meningkatkan muatan negatif tanah, yang pada gilirannya meningkatkan Kapasitas Tukar Kation (CEC), sedangkan bahan organik biologis mempromosikan pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme tanah. Kompos yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis kompos yang terdiversifikasi, yang diperkaya dengan nutrisi NPK, sehingga tidak hanya berperan sebagai sumber bahan organik tanah tetapi juga menyediakan nutrisi yang siap diserap oleh tanaman. Dengan demikian, penerapannya dalam budidaya jagung menghasilkan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan pupuk anorganik tunggal.

Berdasarkan penemuan ini, penggunaan pupuk anorganik secara berlebihan, seperti yang terlihat pada dosis dua kali lipat dari rekomendasi (KGS2 dan KGS8), tidak memberikan peningkatan yang signifikan dalam berat kering jagung yang dipanen (lihat Tabel 2). Hal ini menandakan bahwa melampaui dosis yang direkomendasikan dari pupuk anorganik tidak secara signifikan meningkatkan pertumbuhan dan hasil

jagung. Sebaliknya, mengurangi dosis pupuk anorganik yang optimal menjadi setengahnya dan menggantinya dengan 8 ton ha⁻¹ kompos granular (KGS5) dan 12,7 ton ha⁻¹ (KGS7) menghasilkan hasil yang sebanding dengan perlakuan yang menggunakan kompos yang sama yang dikombinasikan dengan dosis pupuk anorganik yang optimal dan dua kali lipat. Mengurangi dosis pupuk anorganik menjadi setengahnya dan melengkapi dengan 8 ton ha⁻¹ kompos granular (KGS5) dan 12,7 ton ha⁻¹ (KGS7) secara berturut-turut meningkatkan karakteristik fisik tanah, termasuk volume tanah, kepadatan, porositas, dan drainase, yang pada gilirannya menghasilkan peningkatan produksi jagung sebesar 6% dan 35% dibandingkan dengan penggunaan pupuk anorganik saja (KGS3).

Kompos yang kaya akan bahan organik menciptakan lingkungan yang optimal bagi kehidupan dan aktivitas mikroorganisme tanah, yang meningkatkan agregasi tanah, kepadatan massa, kepadatan partikel, dan porositas. Penambahan kompos mengurangi kepadatan massa tanah, yang memiliki dampak positif pada porositas dan agregasi tanah [28], [29]. Porositas tanah memainkan peran penting dalam pembentukan struktur tanah, retensi kelembaban, pengkayaan nutrisi, dan pemeliharaan keragaman mikroba, sementara stabilitas agregat tanah mendukung perkecambahan benih, perkembangan akar, dan pertumbuhan tanaman [58]. Peningkatan porositas tanah berkontribusi pada peningkatan kandungan air tanah [28], yang pada gilirannya memenuhi kebutuhan air tanaman. Hal ini sejalan dengan pandangan sebelumnya bahwa material organik meningkatkan kapasitas retensi air tanah, yang mendukung proses respirasi, evaporasi, dan fotosintesis [37]. Penurunan kepadatan massa tanah dan peningkatan kelembaban tanah mempromosikan pertumbuhan akar, memfasilitasi penyerapan nutrisi, dan pada

akhirnya meningkatkan hasil tanaman [32], [38].

KESIMPULAN

Kombinasi kompos granular limbah umbi sagu dan pupuk anorganik secara signifikan mengubah karakteristik fisik tanah, terutama mengurangi kepadatan massa tanah (0,81 g cm⁻³), meningkatkan kepadatan partikel tanah (2,31 g cm⁻³), dan meningkatkan porositas tanah (7,8%). Selain itu, kombinasi ini memengaruhi volume makroporositas tanah (23,55%), mesoporositas (8,84%), dan mikroporositas (11,64%). Pertumbuhan tanaman, yang diukur dengan tinggi tanaman, mencapai 249,17 cm, dengan hasil produksi jagung mencapai 7,86 ton ha⁻¹. Menggabungkan kompos granular dengan pupuk anorganik meningkatkan hasil tanaman sebesar 35-48% dibandingkan dengan penggunaan masing-masing secara terpisah. Sebaliknya, pemberian pupuk anorganik secara berlebihan tidak meningkatkan secara signifikan produksi biji jagung kering yang dipanen. Di antara perlakuan, KGS7, yang melibatkan kombinasi dosis ½ pupuk anorganik dan 12 ton ha⁻¹ kompos granular limbah umbi sagu, menghasilkan produksi jagung dan tinggi tanaman tertinggi. Pendekatan ini menjanjikan untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk anorganik, sehingga meningkatkan efikasi pupuk untuk perbaikan tanah dan budidaya jagung sambil mengurangi degradasi Ultisol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur yang tulus kepada Allah Yang Maha Kuasa atas petunjuk dan dukungan-Nya selama penyelesaian karya ini. Penulis juga mengucapkan penghargaan yang tulus kepada berbagai individu dan institusi yang bantuan dan dorongannya sangat berharga. Terima kasih khusus disampaikan kepada Rektor dan dosen-dosen Universitas Pattimura dan Universitas Brawijaya, Direktur Program Pascasarjana dan tim, serta Dekan dan staf Fakultas Pertanian di kedua universitas tersebut. Terima kasih juga

disampaikan kepada promotor, co-promotor, dan Kepala Laboratorium Kimia, Fisika Tanah, dan Biologi Tanah di Universitas Brawijaya, Malang, beserta semua kontributor lain yang telah membantu dalam analisis dan penulisan jurnal ini. Penulis berdoa semoga Allah terus memberkati dan memberikan rahmat-Nya kepada semua yang telah menunjukkan kebaikan dan ketulusan selama usaha ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Soemarno, Prinsip-prinsip pengelolaan sumberdaya alam dan lingkungan (Program Pascasarjana Universitas Brawijaya Malang, 2002).
- K. Hairiah, Widiyanto; S.R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S.M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, M. van Noordwijk, and G. Cadish, Pengelolaan tanah masam secara biologi (International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, 2000).
- A.N. Susanto dan M.P.Sirappa, Karakteristik dan Ketersediaan Data Sumber Daya Lahan Pulau-Pulau Kecil Untuk Perencanaan Pembangunan Pertanian di Maluku, *Jurnal Litbang Pertanian*, 26(2), 2007, 41-53.
- Syafruddin, M. Rauf, R.Y. Arvan and M. Akil, Requirements for N, P, and K Fertilizers on Inceptisol Haplusteps Soil, *Indonesian Journal of Agriculture*, 2(1), 2009, 77-84.
- I. Celik, I. Ortas, and S. Kilic. Effects of Compost, Mycorrhiza, Manure and Fertilizer on Some Physical Properties of a Chromoxerert Soil, *Soil Tillage Res.* 78, 2004, 59- 67.
- M. Tejada, and J.L. Gonzalez, Application of Different Organic Wastes on Soil Properties and Wheat Yield. *Agronomy Journal*, 99, 2007, 1597-1606.
- M. Premsekhar and V.Rajashree, Influence of

- Organic Manures on Growth, Yield and Quality of Okra, *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 3(1), 2009, 6-8.
- A. Efthimiadou, D. Bilalis, A. Karkanis and B. Froud-Williams. Combined Organic/Inorganic Fertilization Enhance Soil Quality and Increased Yield, Photosynthesis and Sustainability of Sweet Maize Crop. *Australian Journal of Crop Science*, 4(9), 2010, 722- 729.
- W. Farhad, M.F. Saleem, M.A. Cheema, H.Z.Khan and H.M. Hammad. Influence of Poultry Manure on the Yield and Quality of Spring Maize, *Crop & Environment*, 2(1), 2011, 6-10.
- M. Zafar, M.K. Abbasi, A. Khaliq and Z.-ur-Rehman. Effect of Combining Organic Materials With Inorganic Phosphorus Sources on Growth, Yield, Energy Content and Phosphorus Uptake in Maize at Rawalakot Azad Jammu and Kashmir, Pakistan, *Archives of Applied Science Research*, 3(2), 2011, 199-212.
- A.O. Akongwubel, U.B. Ewa, A. Prince, O. Jude, A. Martins, O. Simon and O. Nicholas. Evaluation of Agronomic Performance of Maize (*Zea mays* L.) under Different Rates of Poultry Manure Application in an Ultisol of Obubra, Cross River State, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 2(4), 2012, 138-144.
- A. Efthimiadou, D. Bilalis, A. Karkanis, B. Froud-Williams. Combined Organic/Inorganic Fertilization Enhance Soil Quality and Increased Yield, Photosynthesis and Sustainability of Sweet Maize Crop. *Australian Journal of Crop Science*, 4(9), 2010, 722-729
- A.R. Barzegar, A. Yousefi and A. Daryashenas. The Effect of Addition of Different Amounts and Types of Organic Materials on Soil Physical Properties and Yield of Wheat. *Plant Soil*, 247, 2002, 295–301.
- G. Singh, S.K. Jalota and Y. Singh. Manuring and Residue Management Effects on Physical Properties of a Soil Under the Rice Wheat System in Punjab, India. *Soil Till. Res.*, 94, 2007, 229–238.
- J.B. Alfons and A.A. Rivaie. Sagu Mendukung Ketahanan Pangan Dalam Menghadapi Dampak Perubahan Iklim. *Perspektif*, 10 (2), 2011, 81-91.
- D.S. Awg-Adeni, S. Abd-Aziz, K. Bujang and M.A.Hassan. Bioconversion of Sago Residue Into Value Added Products. *African Journal of Biotechnology*, 9(14), 2011. 2016-2021.
- M. La Habi, Z. Kusuma dan Widiyanto. Kajian Cara Pemberian dan Dosis Ela Sagu Terhadap Erosi Tanah, Limpasan Permukaan Serta Pertumbuhan dan Hasil Jagung di Ultisol. MSc. Thesis, University of Brawijaya Malang, 2007.
- M.A.A. Kumar, S.K.Gali and N.S. Hebsur. Effect of Different Levels of NPK on Growth and Yield Parameters of Sweet Corn. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 20(1), 2007, 41-43.
- S.A. Ibrahim and H. Kandil, Growth, Yield and Chemical Constituents of Corn (*Zea Maize* L.) As Affected by Nitrogen and Phosphors Fertilization under Different Irrigation Intervals. *Journal of Applied Sciences Research*, 3(10), 2007. 1112-1120.
- L.S. Ayeni, E.O.Adeleye and J.O. Adejumo, Comparative Effect of Organic, Organomineral and Mineral Fertilizers on Soil Properties, Nutrient Uptake, Growth and Yield of Maize

- (Zea Mays). *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science*, 2(11), 2012, 493-497.
- BPS. *Statistik Indonesia 2008*. Badan Pusat Statistik (BPS), Jakarta, 2009.
- Badan Pusat Statistik Maluku Utara. *Maluku Utara Dalam Angka*. Ternate, 2010.
- M.A. Khan, M. Abid, N. Hussain and M.U.Masood, Effect of Phosphorous Levels on Growth and Yield of Maize (*Zea mays* L.) Cultivars under Saline Conditions. *International Journal of Agriculture & Biology*, 7(3), 2005, 511–514.
- B. Radjaguguk, Masalah pengapuran tanah mineral masam di Indonesia. *Bull:18. Fakultas Pertanian UGM. Yogyakarta*, 1983.
- P.A. Sanchez, *Properties and management of soils in the tropics*. John Wiley and Sons, Inc, New York, 1992.
- T. Notohadiprawiro, *Budidaya Organik: Suatu Sistem Pengusahaan Lahan Bagi Keberhasilan Program Transmigrasi Pola Pertanian Lahan Kering*, Ilmu Tanah UGM-Yogyakarta. 2006.
- S. Winarso, *Kesuburan tanah: Dasar kesehatan dan kualitas tanah*. Gaya Media, Yogyakarta, 2005.
- D. Fischer, B. Glaser, Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. *Management of Organic Waste*, 167-198, 2012.
- M. Mandal, R.S. Chandran and J.C. Sencindiver, Amending Subsoil with Composted Poultry Litter-I: Effects on Soil Physical and Chemical Properties. *Agronomy*, 3, 2013, 657-669.
- M.R. Bahremand, M. Afyuni, M.A. Hajabbasi and Y. Rezainjad, Short and Mid-Term Effects of Organic Fertilizers on Some Soil Physical Properties. *J. Agric. Natur. Resour. Sci. Technol.*, 6(4), 2003, 125-134.
- D.C. Edmeades, The Long-Term Effects of Manures and Fertilizers on Soil Productivity and Quality. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*, 66, 2003, 165–180.
- A. Rasoulzadeh and A.Yaghoubi, Effect of Cattle Manure on Soil Physical Properties on a Sandy Clay Loam Soil in North-West Iran. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8(2), 2010. 976-979.
- G. Civeira, Influence of Municipal Solid Waste Compost on Soil Properties and Plant Reestablishment in Peri-Urban Environments. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(3), 2010, 446-453.
- M.A. Abbas, S.D.M. Elamin and E.A.M. Elamin, Contribution of Chicken Manure on Soil Chemical and Physical Properties Compared With Urea + Superphosphate Fertilizers, *Journal of Science and Technology*, 12(4), 2011, 9-16.
- P.L. De Fretes, R.W. Zobel and V.A. Sneder, A Method for Studying the Effect of Soil Aggregate Size and Density. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 60, 1996, 288-290.
- D. Hillel, *Introduction To Soil Physics*. Terjemahan: Pengantar Fisika Tanah. Penerjemah: Susanto.R.H & R. N. Hamidawati. Mitra Gama Widya, 1996.
- H.M.R. Javed, M.S.I. Zamir, A. Tanveer and M. Yaseen, Soil Physical Properties and Spring Maize Yield as Influenced by Different Tillage Practices and Integrated Use of Poultry Manure With Synthetic Fertilizers, *J. Agric. Res.*, 51(3), 2013, 277-287.
- D.I. Akanni, S.O. Ojeniyi and M.A. Awodun, Soil Properties, Growth Yield and Nutrient Content of Maize, Pepper and Amaranthus as Influenced by Organic and Organomineral Fertilizer, *Journal of Agricultural Science and*

- Technology, 4(1), 2011, 1074-1078.
- T.M. Agbede, S.O. Ojeniyi and A.J. Adeyemo. Effect of Poultry Manure on Soil Physical and Chemical Properties, Growth and Grain Yield of Sorghum in Southwest, Nigeria, *Am.-Eurasian J. Sustain. Agric.*, 2(1), 2008.72-77.
- J.E. Okon, E.O. Mbong, G.J. Ebukanson and O.H. Uneh, Influence of Nutrient Amendments of Soil Quality on Germination, Growth and Yield Components of Two Varieties of Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) Sown at University of Uyo Botanical Garden, Uyo, Akwa Ibom State. *E3 Journal of Environmental Research and Management*, 4(3), 2013, 0209-0213.
- T. Głab and K. Gondek, Effect of Organic Amendments on Morphometric Properties of Macropores in Stagnic Gleysol Soil, *Polish J. of Environ. Stud.*, 17(2), 2008. 209-214.
- T. Głab, T. Zaleski, E. Erhart and W. Hart, Effect of Biowaste Compost and Nitrogen Fertilization on Macroporosity and Biopores of Molli-gleyic Fluvisol Soil, *Int. Agrophysics*, 22, 2008, 303-311.
- FAO (Food and Agriculture Organization). The Importance of Soil Organic Matter, Key to Drought-Resistant Soil and Sustained Food and Production. *FAO Soil Bulletin no. 80*. Rome. 2005.
- C.H. Silahooy, Beberapa Sifat Fisik Tanah, Kehilangan Air Oleh Aliran Permukaan, dan Vertikal, Erosi Tanah, dan Hasil Jagung (*Zea mays*. L) Pada Tipic Paleudults yang Diberi Ela Sagu Beberapa Dosis dan Cara Pemberiannya. MSc. Tesis Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Bandung, 1999.
- Widianto, H. Noveras, D. Suprayogo, P. Purnomosidhi, M.Van Noordwijk, Konversi Hutan Menjadi Lahan Pertanian: "Apakah Fungsi Hidrologis Hutan Dapat Digantikan Agroforestri Berbasis Kopi?", *Agrivita*, 26(1), 2004, 47-52.
- C.S. Wortmann and C.A. Shapiro, The Effects of Manure Application on Soil Aggregation. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 80, 2007, 173- 180.
- B. Liu, M.L. Gumpertz, S. Hu and J.B.Ristaino, Long-Term Effects of Organic and Synthetic Soil Fertility Amendments on Soil Microbial Communities and the Development of Southern Blight, *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2007, 2302-2316.
- A.M. Thompson, A.C. Paul, N.J. Balster, Physical and Hydraulic Properties of Engineered Soil Media for Bioretention Basins, *Transaction of the ASABE*, 51(2), 2008, 499-514.
- S. Adamu and B.O. Leye, Performance of Maize (*Zea mays* L.) as Influenced by Complementary Use of Organic and Inorganic Fertilizers. *International Journal of Science and Nature*, 3(4), 2012,753-757.
- H.M.E. Arisha, A.A. Gad and S.E. Younes, Response of Some Pepper Cultivars to Organic and Mineral Nitrogen Fertilizer Under Sandy Soil Conditions, *Zagazig Journal Agriculture Research*, 30, 2003, 1875-1899.
- B.A. Ouda and A.Y. Mahadeen, Effect of Fertilizers on Growth, Yield, Yield Components, Quality and Certain Nutrient Contents in Broccoli (*Brassica oleracea*). *International Journal of Agriculture and Biology*, 10(6), 2008. 627-632.
- La Habi, M., Z. Kusuma, S. Prijono, B. Prasetyo. Ketersediaan Fosfat, Serapan Fosfat dan Hasil Tanaman Jagung Akibat Pemberian Pupuk

- Organik Granul Ela Sagu Dengan Pupuk Fosfat Pada Inceptisol. Plumula; Berkala Ilmiah Agroteknologi, 1(2), 2012. 144-155.
- Hardjowigeno, S. Ilmu Tanah. Penerbit Akademika Pressindo-Jakarta, 2003.
- S. Minardi, S. Suntoro, Syekhfani, E. Handayanto. Penggunaan Macam Bahan Organik dengan Kandungan Total Asam Humat dan Asam Fulvat Berbeda dan Pupuk P Terhadap Ketersediaan dan Serapan P Pada Tanaman Jagung Manis. Agrivita, 29, 2007, 131- 137.
- P. Hinsinger, A.G. Bengough, D. Vetterlein, I.M. Young. Rhizosphere: Biophysics, Biogeochemistry, and Ecological Relevance. Plant Soil, 321, 2009, 117–152.
- F. Zhang, J. Shen, J. Zhang, Y. Zuo, L. Li, X. Chen. Rhizosphere Processes and Management for Improving Nutrient Use Efficiency and Crop Productivity: Implications for China. Adv. Agron., 107, 2010, 1–32.
- L. Abbey, R.A.L. Kanton. Fertilizer Type, But Not Time of Cessation Of Irrigation, Affect Onion Development and Yield in a Semi Arid Region. Journal of Vegetable Crop Production, 9(2), 2004, 41-48.
- J.T. Li, X.L.Zhong, F. Wang, Q.G. Zhao. Effect of Poultry Litter and Livestock Manure on Soil Physical and Biological Indicators in a Rice-Wheat Rotation System. Plant Soil Environ., 57(8), 2011, 351–356.