

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Abu Vulkanik

Abu vulkanik yang telah dianalisis diketahui memiliki pH, unsur hara fosfor (P) dan kalium (K), kehalusan dan kadar air yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis abu vulkanik

Parameter	satuan	Nilai	Standar Mutu*	Kriteria*
pH	-	8,34	-	Basa
P-total	%	5,18	-	Tinggi
K-total	%	13,35	-	Tinggi
Kehalusan	%	98	Min. 80	Memenuhi
Kadar air	%	1,00	Maks. 5	Memenuhi

*)Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk (2023)

Abu vulkanik yang digunakan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai pH 8,34 tergolong basah, kandungan P-total sebesar 5,18 % dan kandungan K-total sebesar 13,35 % dengan kriteria tinggi. Karakteristik material yang dimiliki abu vulkanik yaitu secara fisik memiliki tingkat kehalusan 98% serta kadar air sebesar 1,00%, yang sudah memenuhi standar mutu balai pengujian standar instrumen tanah dan pupuk (2023).

Sifat basa pada pH abu vulkanik ini dipengaruhi oleh kandungan mineral karbonat, oksida, dan silikat yang berasal dari material letusan gunung api. Abu vulkanik memiliki kemampuan meningkatkan pH tanah yang awalnya masam. Menurut Sutono *et al.* (2017), peningkatan pH tanah oleh abu vulkanik erat kaitannya dengan pelepasan kation-kation basa dari pelapukan mineral abu vulkanik, kation-kation tersebut dapat menetralkan ion H⁺ dalam tanah sehingga mengurangi kemasaman pada tanah. Abu vulkanik yang digunakan dalam penelitian ini mengandung mineral yang dibutuhkan tanaman, selain itu kandungan mineral abu vulkanik dapat meningkatkan pH pada tanah yang masam.

Kandungan P dan K yang terdapat dalam abu vulkanik disebabkan oleh banyaknya mineral-mineral primer yang dapat membentuk P dan K. Menurut Sukarman *et al.* (2020), material vulkanik gunung berapi umumnya banyak mengandung mineral primer yang berpotensi menjadi sumber hara bagi tanaman. Mineral primer yang melapuk memiliki nilai hara bagi tanaman sangat dipengaruhi

oleh komposisi kation-anion penyusunnya. Mineral primer yang mudah lapuk biasanya ditandai dengan tingginya kandungan logam alkali dan alkali tanah seperti K, Na, Ca dan Mg. Kandungan P yang tinggi secara alamiah berasal dari pelapukan mineral induk dan bahan organik (Sihaloho, 2021). Unsur K terbentuk dari pelapukan batuan dan mineral yang mengandung kalium-kalium yang akan melapuk sehingga melepaskan ion-ion kalium.

Tekstur abu vulkanik yang halus yang mudah tersebar di dalam tanah, hal ini dapat mempercepat proses pelapukan dan pelepasan unsur hara. Semakin halus partikel abu vulkanik, semakin cepat proses reaksi kimia dan pelapukan di tanah berlangsung. Kadar air yang rendah pada abu vulkanik menandakan bahwa kondisi abu vulkanik yang kering dan mudah diaplikasikan, Selain itu juga mudah disimpan. Kadar air yang rendah juga dapat mencegah terjadinya penggumpalan serta memudahkan pencampuran dengan bahan lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa abu vulkanik tidak mengalami proses hidrasi berlebih yang dapat mempengaruhi kualitas fisik maupun kimianya.

B. Analisis Pupuk Kandang Kambing

Pupuk kandang kambing yang telah dianalisis dalam penelitian ini memiliki variabel diantaranya yaitu pH, kandungan unsur hara nitrogen (N), fosfor (P), kalium (K), dan C-organik serta rasio C/N yang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis pupuk kandang kambing

Parameter	Satuan	Nilai	Standar Mutu*	Kriteria*
pH	-	7,01	6-7	Memenuhi
N+P+K	%	1,66+ 1,09+ 2,80= 5,55	>2	Memenuhi
C-organik	%	8,04	>15	Tidak memenuhi
C/N	-	4,48	<25	Memenuhi

*)Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk (2023)

Pupuk kandang kambing memiliki pH 7,0, dengan standar mutu 6-7, sehingga pH termasuk kriteria netral. Hasil analisis pupuk kandang kambing diketahui bahwa nilai N 1,66%, P 1,09% dan K 2,80%, kandungan N+P+K total pada pupuk kandang kambing adalah 5,55% dan sudah melebihi standar mutu yaitu >2%, sehingga sudah memenuhi kriteria. Kandungan C-organik sebesar 8,04%

dengan kriteria belum memenuhi standar mutu karena masih berada dibawah standar $>15\%$. Rasio C/N pupuk kandang kambing adalah 4,48, sudah memenuhi kriteria standar mutu karena berada dalam batas standar <25 .

Pupuk kandang kambing yang telah mengalami proses pelapukan cenderung mendekati pH netral, karena asam organik yang terbentuk pada tahap awal pelapukan telah ternetralkan selama fase pematangan. pH netral merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara dan aktivitas mikroorganisme. pH netral pada bahan organik dapat mendukung kondisi lingkungan yang sehat dan seimbang serta mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan optimal. Menurut Hartati *et al.* (2022), menyatakan bahwa pupuk kandang kambing merupakan salah satu pupuk kandang yang tersedia dan memiliki kandungan hara yang tinggi, sehingga memiliki kemampuan yang baik untuk meningkatkan kesuburan tanah. Pupuk kandang kambing mengandung berbagai unsur hara di perlukan oleh tanaman seperti N, P dan K. kandungan unsur hara pupuk kandang kambing mengandung unsur K yang lebih tinggi dari pupuk kandang lainnya (Simanungkalit *et al.*, 2006). Kandungan N dalam pupuk kandang kambing menjadi sumber utama untuk pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif tanaman, sedangkan P sangat penting dalam pembentukan energi seluler serta kalium yang berfungsi untuk meningkatkan daya tanaman dan regulasi air (Wardhana *et al.*, 2016).

Kadar C-organik yang terdapat dalam pupuk kandang kambing mempengaruhi kemampuannya dalam memperbaiki sifat tanah. Meskipun C-organik kurang dari standar, Pupuk kandang kambing masih dapat berperan dalam memperbaiki aktivitas mikroorganisme tanah serta meningkatkan kandungan organik dan humus, sehingga mampu memperbaiki tingkat kesuburan tanah (Yunanda *et al.*, 2022). Pupuk kandang kambing mengandung bahan-bahan organik yang dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman melalui proses penguraian secara bertahap, dengan melepaskan bahan organik sederhana yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Pupuk kandang kambing mengandung sedikit air sehingga mudah diuraikan (Setiawan *et al.*, 2019). Pupuk kandang kambing berfungsi untuk memperbaiki sifat fisik tanah, seperti aerasi tanah, struktur pori, serta meningkatkan kemampuan tanah dalam mengikat unsur hara. Kandungan bahan organik yang

terdapat dalam pupuk kandang kambing juga dapat berperan memperbaiki aktivitas biologi tanah.

Nilai rasio C/N bahan organik merupakan faktor penting dalam pengomposan. Karbon digunakan sebagai sumber energi dan nitrogen sebagai sumber nutrisi untuk pembentukan sel-sel tubuh mikroorganisme selama proses pengomposan. Waktu pengomposan berpengaruh terhadap perubahan rasio C/N (Trivana dan Pradhana. 2017). Menurut yuniarti *et al.* (2012), menyatakan ketika kandungan C-organik menurun dan kandungan N meningkat maka rasio C/N mengalami penurunan. Bahan organik yang sudah menjadi pupuk dapat digunakan apabila rasio C/N < 20.

C. Hasil Analisis Tanah Awal dan Setelah Inkubasi

Analisis tanah awal dan setelah inkubasi terdapat pH, N-total, P-tersedia, K-tersedia, dan C-organik yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil analisis tanah awal dan setelah inkubasi

Perlakuan	Hasil analisis tanah awal dan setelah inkubasi*				
	pH	N-total (%)	P-tersedia (ppm)	K-tersedia (cmol/g)	C-organik (%)
Tanah Awal	4,57 M	0,09 SR	5,1 R	0,34 R	0,81 SR
V0P1	5,05 M	0,14 R	14,36 S	0,50 S	1,75 R
V0P2	5,15 M	0,14 R	14,69 S	0,51 S	1,87 R
V0P3	5,29 M	0,14 R	14,55 S	0,49 S	1,87 R
V1P0	5,97 AM	0,28 S	14,26 S	0,49 S	2,79 S
V1P1	5,23 M	0,30 S	17,01 T	0,51 S	3,16 S
V1P2	5,25 M	0,31 S	17,65 T	0,54 S	3,23 S
V1P3	5,30 M	0,31 S	18,36 T	0,59 S	3,34 S
V2P0	6,00 AM	0,32 S	19,38 T	0,61 T	3,48 S
V2P1	6,10 N	0,33 S	19,52 T	0,62 T	3,55 S
V2P2	6,31 N	0,33 S	19,69 T	0,62 T	3,59 S
V2P3	6,38 N	0,47 S	19,95 T	0,65 T	3,68 S
V3P0	6,40 N	0,45 S	20,62 ST	0,68 T	3,71 T
V3P1	6,60 N	0,45 S	21,32 ST	0,70 T	3,77 T
V3P2	6,82 N	0,44 S	21,32 ST	0,73 T	3,81 T
V3P3	6,97 N	0,48 S	24,49 ST	0,76 T	3,92 T

*)kriteria Berdasarkan Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, (2023)

V: Abu vulkanik; P: Pupuk kandang kambing; SR: sangat rendah; R:rendah; S: sedang; T: tinggi; ST: sangat tinggi; M: masam; AM: agak masam; N:netral.

Analisis tanah awal yang digunakan dalam penelitian ini memiliki pH dengan nilai 4,57 berkriteria masam, kandungan N-total sebesar 0,09% dengan

kriteria sangat rendah, kandungan P-tersedia 5,1 ppm dengan kriteria rendah dan kandungan K-tersedia 0,34 cmol/g berkriteria rendah, serta kandungan C-organik 0,81% berkriteria sangat rendah. Setelah inkubasi dengan diberi perlakuan abu vulkanik dan pupuk kandang kambing, terdapat peningkatan, pH meningkat menjadi 6,96 dengan kriteria netral terdapat pada perlakuan V3P3, kandungan N-total meningkat menjadi 0,48% dengan kriteria sedang, kandungan P-tersedia meningkat menjadi 24,49 ppm dengan kriteria sangat tinggi, dan K-tersedia meningkat menjadi 0,76 cmol/g dengan kriteria tinggi, serta kandungan C-organik meningkat menjadi 3,92% berkriteria tinggi.

Analisis pH tanah awal menunjukkan bahwa tanah bersifat masam. Faktor yang mempengaruhi kemasaman tanah disebabkan oleh berbagai faktor seperti, bahan induk tanah, bahan organik, hidrolisis aluminium, reaksi oksidasi terhadap mineral tertentu dan pencucian basa-basa (Syahputra *et al.*, 2015). Tanah dengan pH yang masam dapat mempengaruhi kandungan unsur makro yang terdapat dalam tanah. Faktor yang mempengaruhi kemasaman tanah disebabkan oleh berbagai faktor seperti, bahan induk tanah, bahan organik, hidrolisis aluminium, reaksi oksidasi terhadap mineral tertentu dan pencucian basa-basa (Syahputra *et al.*, 2015).

Kandungan N yang sangat rendah di dalam tanah disebabkan karena terserapnya oleh tanaman, penguapan atau melalui pencucian (Hasibuan dan Afrianti. 2020). Kandungan P rendah yang terdapat di dalam tanah dipengaruhi oleh bahan induk yang tersedia dan penyerapan oleh unsur lainnya. Hal ini didukung oleh Lubis *et al.* (2023), kekurangan P pada Ultisol disebabkan rendahnya kandungan P dari bahan induk, selain itu rendahnya P juga disebabkan terikatnya oleh mineral. Kandungan K yang rendah dapat disebabkan oleh terbawa air ataupun terserap oleh tanaman, selain itu rendahnya K juga dapat disebabkan oleh pH tanah. Anindita *et al.* (2024), menyatakan bahwa rendahnya K disebabkan oleh pelapukan tanah yang mengakibatkan tanah miskin K, penurunan K dapat terjadi karena unsur K yang mudah terlarut, terbawa air dan terserap tanaman serta K yang rendah juga disebabkan oleh pH tanah.

Hasil analisis C-organik tanah awal pada Ultisol yang digunakan termasuk dalam kategori sangat rendah. C-organik yang rendah dalam tanah menunjukkan keterbatasan bahan organik, sehingga kemampuan menyediakan unsur hara,

memperbaiki struktur tanah dan aktivitas mikroorganisme menjadi rendah. Aryani *et al.* (2019), menyatakan bahan organik yang rendah menyebabkan perkembangan tanaman yang kurang baik. Penambahan bahan organik lainnya dapat meningkatkan ketersediaan C-organik di dalam tanah.

Analisis setelah inkubasi pada Tabel 4, pemberian perlakuan abu vulkanik dan pupuk kandang kambing diketahui bahwa ada peningkatan terhadap unsur hara yang terdapat pada media tanam. pH tanah berkisar antara 5,23 hingga 6,97, meningkat seiring kenaikan dosis abu vulkanik dan pupuk kandang kambing, hal ini menunjukkan efek perlakuan yang menstabilkan pH tanah menuju kondisi netral hingga sedikit asam ringan. Menurut Azizah *et al.* (2019), abu vulkanik memiliki sifat basa dan mengandung kation basa seperti Ca, Mg, K dan Na yang dapat menetralkan ion H^+ yang menyebabkan tanah menjadi masam, sehingga menurunkan kemasaman dan meningkatkan pH. Tampubolon (2017), menyatakan bahwa pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang mampu meningkatkan pH tanah, memperbaiki sifat kimia tanah dan menciptakan kondisi pertumbuhan yang optimal.

Kandungan N-total meningkat dari 0,09% hingga 0,48%. N sebagai unsur makro esensial berperan penting dalam pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif. Peningkatan N ini sejalan dengan pemberian pupuk kandang yang dikenal sebagai sumber N organik yang dapat dilepaskan secara bertahap selama proses mineralisasi dalam tanah (Juliawati dan Puryani, 2022). Kandungan P-tersedia dan K-tersedia juga menunjukkan adanya peningkatan pada perlakuan yang lebih tinggi, dengan P dari 5,1 ppm hingga 24,49 ppm dan K dari 0,34 hingga 0,76 cmol/g. P sangat terkait dengan pembentukan akar dan metabolisme energi tanaman, sedangkan K berperan dalam regulasi tekanan osmotik dan fotosintesis. Menurut Azizah *et al.* (2019), salah satu unsur yang berperan dalam peningkatan P adalah Si, selain itu Si juga berperan untuk hara tanaman. Abu vulkanik mengandung mineral penting seperti P dan K. Pemanfaatan unsur hara yang terkandung dalam mineral primer abu vulkanik dapat terjadi melalui proses pelarutan mineral ke dalam zat padat berupa asam organik dan air, kecepatan pelarutan mineral dapat dipengaruhi oleh keberadaan ion H, hal tersebut akan mempengaruhi kecepatan sebuah unsur dalam mineral dapat tersedia bagi tanaman.

Hal ini didukung oleh Barus *et al.* (2018), pelapukan abu vulkanik memerlukan air dan asam asam organik yang diperoleh dari pupuk organik di dalam tanah sehingga dapat mempercepat proses pelapukan mineral primer.

Karbon organik (C-organik) menunjukkan peningkatan dengan takaran pada perlakuan tertinggi yaitu 3,92%, yang menunjukkan perbaikan sifat fisik dan biologis tanah. Abu vulkanik berperan dalam peningkatan kandungan bahan organik di dalam tanah, partikel-partikel abu vulkanik memperbaiki struktur tanah dengan cara meningkatkan aerasi dan drainase, sehingga mendukung aktivitas mikroorganisme tanah dalam menguraikan bahan organik. Peningkatan yang terjadi menunjukkan pengaruh positif pemberian bahan organik pupuk kandang dan abu vulkanik selama inkubasi.

D. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

1. Tinggi Bibit (cm)

Rata-rata tinggi bibit tanaman aren pada umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Tinggi bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing

Abu Vulkanik (g/polybag)	Tinggi Bibit (cm)
0	39,93
50	38,81
75	41,11
100	42,62
Pupuk Kandang Kambing (g/polybag)	
0	41,01
250	41,82
300	38,92
350	40,73

KK = 25,44%

*) Angka-angka yang terletak pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.



Gambar 1. Perbedaan tinggi bibit aren umur 16 MST pada takaran yang berbeda. Takaran (a) 0 g/polybag abu vulkanik, (b) 50 g/polybag abu vulkanik, (c) 75 g/polybag abu vulkanik, (d) 100 g/polybag abu vulkanik yang dikombinasikan dengan pupuk kandang kambing dengan takaran (0, 250, 300, 350 g/polybag).

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 5.a) menunjukkan tidak terdapat interaksi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing maupun tunggal terhadap tinggi bbit maupun pengaruh tunggal abu vulkanik atau pupuk kandang kambing terhadap pertumbuhan tinggi bbit aren. Rata-rata tinggi bbit aren paling baik terdapat pada takaran 100 g abu vulkanik/*polybag* menghasilkan rata-rata bbit tertinggi yaitu 42,62 cm. sedangkan pada pemberian pupuk kandang kambing rata-rata terbaik terdapat pada takaran 250 g/*polybag* menghasilkan rata-rata tinggi bbit tertinggi yaitu 41,82 cm.

Pertumbuhan tinggi bbit aren menunjukkan pertumbuhan yang lambat sehingga perubahan tinggi tidak terlihat terhadap perlakuan dalam jangka pendek. Hal ini didukung oleh Widarawati *et al.* (2023), tanaman aren merupakan tanaman tahunan yang tidak menunjukkan respon langsung maupun cepat terhadap perlakuan pemupukan. Pertumbuhan tinggi tanaman merupakan hasil aktivitas fisiologi melalui pembelahan dan pemanjangan sel. Unsur makro mineral seperti K dan P yang terdapat pada abu vulkanik dapat mendukung pertumbuhan tinggi bbit aren. Alviandy *et al.* (2016), menyatakan fosfor berfungsi sebagai komponen utama dalam proses pembelahan sel, sehingga dapat mempercepat pertumbuhan akar serta perkembangan tanaman. Selain unsur P, unsur K berperan sebagai aktivator enzim dalam reaksi fotosintesis dan fotosintat untuk pertumbuhan tinggi tanaman.

Takaran 250 g/*polybag* pupuk kandang kambing dapat menambah pertumbuhan tinggi bbit aren. Pada takaran ini unsur hara makro seperti N, P, dan K cukup tersedia untuk mendukung fase pertumbuhan vegetatif bbit aren. Pupuk kandang kambing dapat membantu memperbaiki sifat fisik tanah, sehingga akar berkembang lebih baik. Pemberian pupuk kandang kambing dalam jumlah besar dapat meningkatkan konsentrasi garam yang dapat mengganggu pertumbuhan tinggi bbit aren. Nariswari *et al.* (2024), menyatakan bahwa pemberian dosis pupuk kandang kambing untuk meningkatkan tinggi tanaman yang baik terdapat pada dosis rendah hingga sedang.

2. Diameter Bonggol (mm)

Rata-rata diameter bonggol bbit aren pada umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Diameter bonggol bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing

Abu Vulkanik (g/polybag)	Diameter Bonggol (mm)
0	6,81 A
50	8,15 B
75	7,23 A
100	7,59 AB
Pupuk Kandang Kambing (g/polybag)	
0	5,75 a
250	6,49 a
300	8,04 b
350	10,04 c

KK = 18%

*) Angka-Angka yang terletak pada kolom yang sama dan huruf yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 5.b) menunjukkan tidak terdapat interaksi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing terhadap diameter bonggol bibit aren. Namun masing-masing faktor tunggal abu vulkanik dan pupuk kandang kambing memberikan pengaruh yang nyata. Pemberian takaran abu vulkanik 50 g/polybag menghasilkan diameter bonggol bibit terbesar yaitu (8,15 mm) berbeda nyata dengan takaran 75 g dan 0 g/polybag tetapi tidak berbeda nyata dengan takaran 100 g/polybag. Perlakuan pupuk kandang kambing menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap diameter bonggol bibit aren. Pemberian pupuk kandang kambing pada takaran 350 g/polybag berbeda nyata dengan 250 g/polybag dengan menghasilkan diameter bonggol terbesar yaitu (10,04 mm) berbeda nyata dengan takaran 300 g dan 250 g/polybag.

Abu vulkanik mengandung bahan mineral yang dapat menyediakan unsur hara yang penting bagi tanaman. Unsur hara K yang terdapat dalam abu vulkanik dapat meningkatkan diameter bonggol bibit aren. Menurut Alviandy *et al.* (2016), menyatakan tingginya ketersediaan unsur hara K karena pemberian abu vulkanik dapat membentuk karbohidrat yang optimal dan proses translokasi pati menuju bonggol bibit semakin lancar sehingga mendukung terbentuknya bonggol yang baik. Pemberian takaran abu vulkanik 50 g/polybag pada bibit aren sudah mampu meningkatkan jumlah dan ketersediaan unsur hara khususnya P. Unsur P yang terdapat dalam abu vulkanik yang berperan dalam pembentukan ATP, yaitu sumber

energi yang dibutuhkan tanaman aren dalam berbagai aktivitas seperti pembelahan sel, pembesaran sel, dan perpanjangan sel. Karena itu ketersediaan unsur P mempengaruhi pertambahan diameter bonggol. Hidayat *et al.* (2016), menyatakan bahwa kandungan unsur P dalam abu vulkanik merupakan unsur makro yang berfungsi sebagai pembentuk ATP. Tanaman memerlukan energi berupa ATP dalam setiap aktivitas sel seperti pembelahan sel.

Pupuk kandang kambing memiliki kandungan bahan organik dan unsur hara N, P, K yang dapat meningkatkan sifat biologis dan fisik tanah sehingga dapat membantu pembentukan jaringan akar dan bonggol. Pemberian pupuk kandang kambing dapat meningkatkan kesuburan tanah. Takaran pupuk kandang kambing yang digunakan dapat mencukupi untuk pertambahan diameter bonggol bibit aren. Marpaung *et al.* (2023), menyatakan aplikasi pupuk kandang kambing mampu memperbaiki struktur tanah, komposisi hara tanah, serta meningkatkan kapasitas tanah dalam mengikat dan menyimpan air. Perbaikan sifat fisik dan kimia tanah ini akan memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan diameter bonggol bibit aren karena perkaran bibit dapat berkembang dengan baik sehingga pembesaran bonggol lebih optimal. Unsur N yang terkandung di dalam pupuk kandang kambing menjadi salah satu unsur hara yang memiliki peran dalam pertumbuhan vegetatif tanaman. Ketersediaan N yang cukup membantu pembentukan jaringan baru dan mempercepat perkembangan bonggol.

Berdasarkan hasil analisis tanah setelah inkubasi menunjukkan bahwa pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan pertumbuhan diameter bonggol bibit aren, sedangkan tanah inkubasi tanpa pemberian perlakuan tidak menunjukkan peningkatan terhadap diameter bonggol bibit aren sehingga belum memenuhi kriteria standar mutu fisik bibit aren (lampiran 4). Pertumbuhan bonggol bibit salah satu nya berhubungan dengan kandungan unsur hara K pada abu vulkanik 13,35 cmol/g dan pupuk kandang kambing yaitu 2,80 cmol/g yang dapat meningkatkan pertumbuhan bonggol bibit aren.

3. Jumlah Daun (Helai)

Rata rata jumlah daun bibit aren pada umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Jumlah daun bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing

Dosis Abu Vulkanik (g/polybag)	Pupuk kandang Kambing (g/polybag)			
	0	250	300	350
.....helai.....				
0	2,23 a A	2,33 a A	2,40 a A	4,20 b B
50	2,82 a B	2,93 b B	3,23 b B	3,33 b A
75	3,27 a BC	3,33 a B	3,67 a B	4,43 b B
100	3,33 a C	3,90 b C	4,00 b C	4,30 b B

KK = 4%

Angka-angka yang terletak pada kolom yang sama diikuti oleh huruf besar yang sama dan pada baris yang sama diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut DMRT (Lampiran 5.c) menunjukkan terdapat interaksi antara pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap jumlah daun bibit aren. Tabel 9 menunjukkan rata jumlah daun tertinggi (4,43 helai) terdapat pada takaran 75 g abu vulkanik yang dikombinasikan dengan 350 g/polybag pupuk kandang kambing (V2P3). Jumlah daun dipengaruhi oleh kandungan klorofil, yang akan meningkatkan asimilat yang dihasilkan sehingga berpengaruh pada pembentukan daun dan organ tanaman lainnya. Menurut Suntoro *et al.* (2017), tingginya serapan unsur hara, seperti kalsium oleh tanaman akan digunakan dalam pembentukan senyawa kompleks yang membentuk bagian tanaman seperti akar, batang dan daun.

Penambahan abu vulkanik dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan pertumbuhan jumlah daun bibit aren. Abu vulkanik mengandung mineral seperti P dan K yang dapat mendukung pertumbuhan bibit aren. Abu vulkanik sebagai sumber mineral alami yang dapat melepaskan unsur penting seperti K dan P secara lambat sehingga dapat memperkuat kesuburan tanah secara bertahap. Sedangkan Pupuk kandang kambing memiliki kandungan N, P, dan K yang dapat merangsang pertumbuhan vegetatif bibit aren. Menurut Ansah *et al.* (2019), pupuk kandang kambing memiliki kandungan N, P, dan K yang lebih tinggi dibanding pupuk lain yang dapat memperbaiki struktur tanah, sehingga mendukung

pertumbuhan daun. Sehingga kombinasi abu vulkanik dan pupuk kandang kambing dapat meningkatkan kesuburan tanah dan merangsang pembentukan daun yang optimal.

Peran N berkaitan sebagai penyusun utama klorofil. Peningkatan unsur N di dalam tanah akan mendukung pembentukan klorofil pada daun, sehingga memperlancar proses fotosintesis yang dapat mendorong pertumbuhan jumlah daun. Unsur P yang berperan sebagai komponen esensial ADP dan ATP yang sama-sama berperan penting dalam fotosintesis dan penyerapan ion, sehingga dapat meningkatkan pertambahan jumlah daun. Keberadaan unsur hara tanaman yang semakin lama, akan memiliki kesempatan tumbuh lebih lama, sehingga jumlah daun yang dihasilkan juga semakin banyak (Putra dan Ninggi, 2019). Analisis setelah inkubasi menunjukkan bahwa kandungan N yang terdapat pada perlakuan V2P3 yaitu 0,47% dan kandungan P sebesar 19,95 ppm dapat meningkatkan pertumbuhan jumlah daun pada bibit aren. Kandungan N dapat mendukung peningkatan jumlah daun, sedangkan kandungan P dapat membantu pembentukan daun.

4. Luas Daun (cm²)

Rata-rata luas daun bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Luas daun bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing.

Abu Vulkanik (g/polybag)	Luas Daun (cm ²)
0	583,85
50	557,94
75	469,40
100	537,50
Pupuk Kandang Kambing (g/polybag)	
0	437,28
250	552,43
300	539,71
350	619,27

KK = 6%

*) Angka-angka yang terletak pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 5.d) menunjukkan tidak terdapat interaksi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing terhadap luas daun bibit aren, maupun pengaruh tunggal abu vulkanik dan pupuk kandang kambing. Tabel 6 menunjukkan bahwa tanpa pemberian perlakuan abu vulkanik menghasilkan luas daun bibit aren terbesar yaitu $583,85 \text{ cm}^2$. Pada pemberian pupuk kandang kambing rata-rata luas daun terbesar terdapat pada takaran 350 g/*polybag* menghasilkan luas daun bibit aren yaitu $619,27 \text{ cm}^2$.

Salah satu unsur hara yang berperan dalam pembentukan luas daun adalah unsur P. Menurut Azizah *et al.* (2019), luas daun dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara yang terdapat dalam tanah, salah satunya adalah unsur P yang berperan dalam pertumbuhan daun. Abu vulkanik memberikan ketersediaan P karena abu vulkanik mengandung kadar total P_2O_5 dari kisaran rendah hingga sedang. Pertambahan luas daun pada perlakuan abu vulkanik tidak nyata, hal ini disebabkan kandungan mineral pada abu vulkanik masih berada dalam bentuk yang belum dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman, karena membutuhkan waktu yang lama sehingga dapat tersedia dan dimanfaatkan oleh tanaman (Marko *et al.*, 2015). Selain P, unsur hara lainnya yang berperan dalam pertumbuhan luas daun adalah nitrogen. Unsur N menjadikan helai daun lebih luas dan kadar kalori yang lebih tinggi, sehingga membantu dalam pertumbuhan vegetatif tanaman aren.

Pupuk kandang kambing berpengaruh terhadap luas daun karena kandungan unsur hara makro yang lebih lengkap terutama N, fosfor P, dan K yang penting dalam pembentukan dan luas daun. Kandungan N yang tersedia dalam pupuk kandang kambing dapat memperbesar luas daun tanaman aren. Peningkatan serapan unsur N yang diserap oleh tanaman akan mendorong pertumbuhan daun, sehingga daun akan tumbuh lebih besar (Hardi *et al.*, 2015). Pupuk kandang kambing dapat meningkatkan luas daun karena dapat menyediakan nutrisi yang dapat mendukung proses fisiologis seperti pembelahan sel dan fotosintesis (Peni *et al.*, 2023).

5. Berat Kering Tajuk (g)

Rata-rata berat kering tajuk bibit aren pada umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada tabel 11.

Tabel 11. Berat kering tajuk bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing.

Dosis Abu Vulkanik (g/polybag)	Pupuk kandang Kambing (g/polybag)			
	0	250	300	350
.....g.....				
0	6,68 a	9,34 b	10,46 b	12,22 c
	A	A	A	A
50	12,40 b	8,57 a	13,76 b	18,31 c
	C	A	B	B
75	8,66 a	10,93 b	14,18 b	19,69 c
	A	A	B	B
100	10,11 a	15,78 b	14,60 b	22,69 b
	B	B	B	B
KK = 12,77%				

Ket: Angka-angka yang terletak pada kolom yang sama diikuti oleh huruf besar yang sama dan pada baris yang sama diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut DMRT (Lampiran 5.e) menunjukkan terdapat interaksi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang berpengaruh nyata terhadap berat kering tajuk bibit aren. Berat kering tajuk dengan rata-rata tertinggi (22,69 g) dengan takaran abu vulkanik 100 g/polybag yang dikombinasikan dengan pupuk kandang kambing 350 g/polybag (V3P3). Peningkatan berat kering tajuk dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti nutrisi dan kondisi media tanam yang optimal sehingga menghasilkan bibit yang siap untuk pertumbuhan selanjutnya.

Abu vulkanik mengandung mineral penting yang dapat mendukung metabolisme dan fotosintesis tanaman serta perkembangan akar dan tajuk. Fosfor berperan dalam pembentukan energi (ATP) yang esensial dalam proses fisiologi tanaman. Sementara pupuk kandang kambing kaya akan nitrogen yang membantu pembentukan klorofil dan pertumbuhan sel, mempercepat perkembangan tajuk dan akar. Pupuk kandang kambing juga dapat meningkatkan sifat fisik dan biologi tanah sehingga penyerapan unsur hara menjadi lebih optimal (Wardhana *et al.*, 2016). Berat kering tajuk berkaitan dengan pertumbuhan tanaman meliputi peningkatan tinggi tanaman, jumlah daun, serta diameter bonggol. Berat kering tajuk merupakan hasil penjumlahan dari seluruh organ tanaman. Semakin tinggi bibit tanaman, semakin banyak jumlah daun, dan semakin besar diameter bonggol, maka berat kering tajuk akan semakin bertambah (Juliana *et al.*, 2018).

6. Berat Kering Akar (g)

Rata-rata berat kering akar bibit tanaman aren pada umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Berat kering akar aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing.

Abu Vulkanik (g/polybag)	Berat Kering Akar (g)
0	2,61 A
50	3,43 A
75	3,57 A
100	4,76 B
Pupuk Kandang Kambing (g/polybag)	
0	2,85 a
250	3,27 a
300	3,87 ab
350	4,37 b

KK = 17%

*) Angka-Angka yang terletak pada kolom yang sama dan huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 5.f) menunjukkan tidak terdapat interaksi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing. Tetapi masing-masing faktor tunggal abu vulkanik dan pupuk kandang kambing menunjukkan pengaruh nyata terhadap berat kering akar bibit aren. Berat kering akar dengan rata-rata tertinggi (4,76 g) adalah pada dosis 100 g/polybag abu vulkanik berbeda nyata dengan takaran 0 g, 50g dan 75 g/polybag. Perlakuan pupuk kandang kambing menghasilkan berat kering tajuk tertinggi yaitu (4,37 g) pada pemberian 350 g/polybag, berbeda nyata dengan takaran 0 g dan 250 g/polybag tetapi tidak berbeda nyata dengan 300 g/polybag. Hal ini menunjukkan bahwa abu vulkanik dapat memberikan pengaruh yang positif terhadap biomassa kering tajuk bibit aren.

Berat kering menunjukkan akumulasi fotosintat selama masa pertumbuhan. Semakin tinggi tanaman melakukan kegiatan metabolisme maka semakin besar berat kering tanaman yang dihasilkan. Berat kering tanaman merupakan parameter yang paling mendekati serapan hara pada tanaman yang sesungguhnya. Khan *et al.* (2023), menyatakan unsur P yang terkandung di dalam abu vulkanik berperan sebagai nutrisi penting dalam proses metabolisme dan fisiologis yang mencakup

metabolisme energi, pembelahan sel, sintesis DNA yang berfungsi pada pertumbuhan vegetatif dan perkembangan akar tanaman.

Unsur N yang terkandung dalam pupuk kandang kambing sangat berperan dalam pertumbuhan akar dan pembentukan klorofil yang penting untuk fotosintesis. N mendukung peningkatan aktivitas mikroorganisme, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas air, sehingga pertumbuhan akar menjadi optimal. Peni *et al.* (2023), menyatakan N berperan dalam pembentukan klorofil yang mendukung proses fotosintesis, serta pembentukan protein dan lemak, selain itu P juga berfungsi merangsang perkembangan akar dan membentuk sistem perakaran yang kuat pada tanaman muda, sehingga mempercepat pertumbuhan vegetatif tanaman. Hasil analisis tanah setelah inkubasi, menunjukkan bahwa kebutuhan dari unsur hara tanaman yaitu N, P, K, C-organik dan C/N. Aplikasi Abu Vulkanik dan juga pupuk kandang kambing dapat menambah ketersediaan unsur hara bagi tanaman sehingga dapat meningkatkan berat kering tajuk daripada yang tidak diberikan perlakuan.

7. Rasio Tajuk Akar

Rata-rata rasio tajuk akar bibit aren pada umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing pada takaran yang berbeda disajikan pada Tabel 13.

Tabel 13. Berat kering tajuk akar bibit aren umur 16 MST setelah pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing.

Dosis Abu Vulkanik (g/polybag)	Pupuk kandang Kambing (g/polybag)			
	0	250	300	350
.....g.....				
0	3,27 b B	2,80 a A	3,10 b A	4,04 b AB
50	2,12 a A	2,12 a A	3,98 b B	3,44 b A
75	2,93 a B	2,74 a A	4,15 b B	5,06 b B
100	2,89 a B	3,97 a B	4,74 a B	6,21 b C

$$KK = 12,77\%$$

*) Angka-angka yang terletak pada kolom yang sama diikuti oleh huruf besar yang sama dan pada baris yang sama diikuti huruf kecil yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT pada taraf nyata 5%.

Hasil analisis sidik ragam dan uji lanjut DMRT (Lampiran 5.g) menunjukkan terdapat interaksi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing terhadap rasio tajuk akar. Rasio tajuk akar tertinggi terdapat pada takaran 100 g/*polybag* abu vulkanik yang dikombinasikan dengan 350 g/*polybag* pupuk kandang kambing (V3P3). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pemberian abu vulkanik dan pupuk kandang kambing memberikan pengaruh baik pada pertumbuhan tajuk dan akar bibit aren. Kemudian, rasio tajuk akar juga berhubungan dengan berat kering tajuk dan kering akar. Nilai rasio yang ideal menunjukkan pertumbuhan tanaman yang optimal sebab akar melakukan penyerapan unsur hara dan mengendalikan berdirinya tanaman dengan baik, sebaliknya jika nilai rasio tajuk akar tidak ideal akan menyebabkan pertumbuhan terganggu, akar tidak akan mampu menopang berdirinya tanaman (Juliana *et al.*, 2018). Santoso dan Purwoko (2007), menyatakan bahwa bibit yang memiliki rasio tajuk akar lebih dari satu merupakan bibit berkualitas baik. Rasio yang seimbang menunjukkan bahwa tanaman mampu mengalokasikan hasil fotosintesis secara seimbang antara pertumbuhan tajuk dan akar, sehingga fungsi fisiologis tanaman berjalan lebih efisien dan mendukung kemampuan adaptasi bibit terhadap lingkungan.

Perlakuan abu vulkanik dan pupuk kandang kambing memberikan pengaruh yang nyata dalam rasio tajuk akar. Kombinasi abu vulkanik dan pupuk kandang kambing menunjukkan bahwa adanya saling melengkapi antara kedua jenis bahan tersebut. Abu vulkanik menyediakan unsur hara seperti P dan K yang berperan dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan akar serta tajuk tanaman. Sementara kandungan N dapat mendukung pembentukan klorofil dan pembelahan sel sehingga membantu pertumbuhan tajuk tanaman. Pupuk kandang kambing meningkatkan kualitas struktur tanah dan mendukung aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. Kandungan mineral alami pada abu vulkanik dapat dimanfaatkan lebih baik jika diberikan bahan organik yang menyediakan sumber N dan memperbaiki struktur tanah.

E. Organisme Pengganggu Tanaman (OPT)

Berdasarkan hasil pengamatan 16 MST terdapat beberapa organisme pengganggu (OPT) tanaman yang terdapat pada pembibitan tanaman aren yaitu gulma, hama, dan penyakit yang disajikan pada Tabel 15.

Tabel 15. Organisme pengganggu tanaman pada bibit aren umur 16 MST.

Jenis OPT	OPT*	Dokumentasi
Gulma	Crofton (<i>Ageratina adenophora</i>)	
Gulma	Rumput teki (<i>Cyperus rotundus</i>)	
Hama	Kutu putih (<i>Ferrisia virgata</i>)	
Penyakit	bercak daun	

*)Yadav (2024).

Terdapat beberapa OPT yang ditemukan pada pembibitan tanaman aren yaitu, gulma crofton (*Ageratina adenophora*) dan rumput teki (*Cyperus rotundus*), hama yang terdapat pada pembibitan aren yaitu kutu putih (*Ferrisia virgata*) sedangkan penyakit yang menyerang pembibitan aren adalah bercak daun. Crofton memiliki batang kecil bercabang yang rendah berbentuk silinder dengan tinggi 2 m, dan dilapisi dengan rambut halus. Tumbuhan ini memiliki daun berpasangan dengan bentuk oval atau segitiga dengan tiga urat daun di tengah, dan mempunyai

gugusan bunga dengan warna putih atau putih kehijauan. Crofton memiliki batang kecil bercabang yang rendah berbentuk silinder dengan tinggi 2 m, dan dilapisi dengan rambut halus. Tumbuhan ini memiliki daun berpasangan dengan bentuk oval atau segitiga dengan tiga urat daun di tengah, dan mempunyai gugusan bunga dengan warna putih atau putih kehijauan. Crofton dapat menyebar dengan cepat dan dapat tumbuh di berbagai habitat termasuk salah satunya lahan pertanian (Yadav *et al.* 2024).

Rumput teki memiliki tinggi mencapai 50 cm, batang tumbuh tegak berbentuk tumpul atau segitiga, terdiri dari 4-10 helai, daun berbentuk garis, helai daun berwarna hijau mengkilat dengan akar serabut (Mahfuza *et al.*, 2022). Rumput teki memiliki tingkat toleransi yang baik pada suhu tinggi dan tumbuh dalam berbagai jenis tanah. Tumbuhan ini termasuk gulma karena dapat tumbuh di berbagai kondisi, namun tumbuhan ini dapat dijadikan bioindikator kesuburan tanah karena kemampuannya menghasilkan serasah (Hasanah, 2023). Gulma dapat bersaing dengan tanaman utama untuk mendapatkan nutrisi, air, sinar matahari, dan ruang yang menyebabkan kerugian pada lahan pertanian dengan tanaman utama, karena itu dilakukan pengendalian gulma dengan cara pencabutan dan penyirian gulma.

OPT selain gulma yang terdapat pada pembibitan aren yaitu hama. Hama yang menyerang bibit tanaman aren yaitu kutu putih. Kutu putih memiliki karakteristik tubuh berwarna putih dan lilin kuning, yang dilapisi tepung berwarna putih, pinggiran tubuhnya terdapat benang-benang kecil. Kutu putih berperan sebagai penyebar (vektor) penyakit antara virus, serangga dan tanaman yang menentukan terjadinya penyakit (Nuraeni *et al.*, 2016). Selain itu terdapat juga penyakit yang menyerang bibit tanaman aren yaitu bercak daun. Bercak daun pada masa pembibitan disebabkan oleh jamur *Helminthosporium* sp. Serangan tersebut menyebabkan daun menjadi cepat mengering sehingga menghambat pertumbuhan bibit. Pada permukaan daun yang muda, bercak-bercak kecil muncul pada bagian atas maupun bawah berwarna hijau mengkilap. Seiring waktu, bercak ini membesar dan berubah warna menjadi coklat, dengan tepi bercak yang terlihat seperti lingkaran berwarna kuning (Siregar, 2016).

