

BERKAH ABU VULKANIS

Bahan Pembenah Tanah

S. Sutono, J. Purnomo, J. Purwani dan A. Jamil



**BERKAH ABU VULKANIS
BAHAN PEMBENAH TANAH**

**BERKAH ABU VULKANIS
BAHAN PEMBENAH TANAH**

Penyusun:

S. Sutono, J. Purnomo, dan J. Purwani A. Jamil

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Kementerian Pertanian

2017

Cetakan 2017

Hak Cipta dilindungi undang-undang
© Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2017

Katalog dalam terbitan

SUTONO, J. PURNOMO, J. PURWANI, DAN A. JAMIL
Berkah Abu Vulkanis, Bahan Pembenah Tanah /Penyusun,
Sutono, S., J. Purnomo, J. Purwani dan A. Jamil; Penyunting, Y.
Soelaeman. –Jakarta: IAARD Press, 2017
Ix, hlm.: ill.; 21 cm

- | | |
|-----------------|--|
| 1. Abu vulkanis | 2. Lahan Pertanian |
| I. Judul | II. Badan Penelitian dan Pengembangan
Pertanian |

ISBN 978-602-8039-35-2

Redaksi Pelaksana:

Yayan Supriana

Tata Letak:

Yayan Supriana.

IAARD PRESS

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Jalan Ragunan No. 29, Pasar Minggu, Jakarta 12540
Telp. +62 21 7806202, Faks.: +62 21 7800644

Alamat Redaksi

Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
Jalan Ragunan No. 29, Pasar Minggu, Jakarta 12540
Telp. +62 21 7806202, Faks.: +62 21 7800644
E-mail: iaardpress@litbang.deptan.go.id

KATA PENGANTAR

Di Pulau Jawa, Sumatera, dan Sulawesi terdapat gunung berapi aktif sering mengeluarkan abu vulkanis. Saat terjadi erupsi gunung berapi aktif tersebut yang terbayang adalah malapetaka oleh abu vulkanis menimpa penduduk di sekitarnya. Mungkinkah abu vulkanis itu dilihat sebagai berkah bagi pertanian dengan cara memanfaatkannya untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian. Buku ini memaparkan memanfaatkan abu vulkanis untuk meningkatkan produktivitas lahan kering suboptimal. Lahan kering suboptimal dikenal sebagai lahan yang telah mengalami degradasi berat, sehingga produktivitasnya rendah atau sangat rendah.

Bertambahnya bahan yang dapat dijadikan pembenah tanah memperkaya pilihan untuk membuat pembenah tanah dan membantu menyukseskan program strategis Kementerian Pertanian, yaitu Revitalisasi Lahan Pertanian. Suatu daerah yang mempunyai deposit abu vulkanis dapat membuat dan memasarkan pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis ke daerah-daerah yang mempunyai sebaran lahan suboptimal luas.

Kami sampaikan terima kasih kepada tim penyusun dan berharap semoga buku ini bermanfaat dalam meningkatkan produktivitas lahan kering suboptimal yang menguntungkan petani.

Bogor, September 2017
Kepala Balai,

Dr. Husnain, MP, M.Sc
NIP. 19730910 200112 2 001

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
I. PENDAHULUAN	1
II. KARAKTERISTIK ABU VULKANIS	
2.1 Besar butiran	5
2.2 Jenis mineral abu vulkanis.....	9
2.3 Sifat Kimia Abu vulkanis.....	10
2.4 Sifat Fisika Abu vulkanis.....	13
2.5 Isolasi dan Populasi Mikrob Pasca Erupsi Merapi dan Bromo.....	14
III. ABU VULKANIS BAHAN PEMBENAH TANAH	
3.1 Berkah Abu Vulkanis	16
3.2 Pemilihan Abu Vulkanis untuk Pembenh Tanah	17
3.3 Formula Pembenh Tanah	17
3.4 Adaptasi dan Kompatibilitas Mikrob dari Risosfeer Terpapar Abu Vulkanis	23
IV. EFEKTIVITAS PEMBENAH TANAH	
4.1 Penggunaan Pembenh Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Padi Sawah	25
4.2 Penggunaan Pembenh Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Kedelai pada Lahan Kering Masam	29
4.3 Kemampuan Hidup Mikroba di dalam Kemasan dan Bahan Pembawa berupa Abu Vulkanis.....	35
V. TEKNIK PRODUKSI DAN APLIKASI PEMBENAH TANAH	
5.1 Produksi Pembenh Tanah Skala Rumah Tangga	42
5.2 Teknik Produksi Pembenh Tanah	43
5.3 Teknik Aplikasi pada Lahan Pertanian	44
PENUTUP	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

	hal
Tabel 1. Diameter besar butir material vulkanisik yang jatuh di dekat pusat letusan G. Kelud, Februari 2014	6
Tabel 2. Diameter abu vulkanis dari dekat pusat letusan Gunung Merapi dan Bromo	8
Tabel 3. Kandungan oksida abu vulkanis G. Merapi yang terhampar di Kabupaten Sleman, Magelang, Klaten, dan Boyolali	10
Tabel 4. Sifat kimia abu vulkanis erupsi Gunung Merapi tahun 2010	12
Tabel 5. Sifat fisika abu vulkanis erupsi Gunung Kelud, 2014	13
Tabel 6. Jumlah isolat mikroba dan fungi penyubur tanah dari lokasi erupsi Merapi dan Bromo, enam bulan setelah erupsi	15
Tabel 7. Sifat kimia formula pembenah tanah untuk lahan sawah berbasis abu vulkanis	19
Tabel 8. Sifat kimia formula pembenah tanah untuk lahan kering berbasis abu vulkanis	21
Tabel 9. Pengujian kompatibilitas 2 jenis isolat bakteri <i>Rhizobium</i> sp dan bakteri pelarut fosfat pada media nutrient agar	23
Tabel 10. Pengujian kompatibilitas bakteri <i>Rhizobium</i> sp dan bakteri <i>Azotobacter</i> sp pada media nutrient agar	23
Tabel 11. Pengujian kompatibilitas isolat bakteri <i>Azotobacter</i> sp dan bakteri pelarut fosfat pada media nutrient agar	24
Tabel 12. Pengaruh pembenah tanah, mikrob dan dosis pembenah tanah terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan produktif padi sawah varietas Inpari 13 di KP Tamanbogo	26
Tabel 13. Pengaruh Jenis Pembenah Tanah, Penggunaan Mikroba dan Dosis Pembenah Tanah terhadap Hasil Gabah Kering Panen (GKP), Gabah Kering Giling (GKG) dan Jerami Kering Padi Sawah Inpari 13 di KP Tamanbogo	27

	hal
Tabel 14. Sifat fisika tanah pada percobaan penetapan dosis pembenah tanah di KP Tamanbogo	30
Tabel 15. Pengaruh perlakuan terhadap tinggi tanaman kedelai umur 6 MST dan 10 MST serta jumlah cabang umur 10 MST	32
Tabel 16. Pengaruh perlakuan terhadap bobot kering hasil panen tanaman kedelai pada percobaan penetapan dosis pembenah tanah di KP. Taman Bogo	33
Tabel 17. Populasi mikroba pada kemasan kedap (kantong plastik) dan tidak kedap udara	36
Tabel 18. Bobot isi dan kapasitas air tersedia pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.....	38
Tabel 19. Rataan pH dan daya hantar listrik pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.....	38
Tabel 20. Rataan tinggi tanaman dan jumlah cabang kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca	39
Tabel 21. Rataan bintil akar tanaman kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.....	40
Tabel 22. Rataan hasil panen tanaman kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.....	41

DAFTAR GAMBAR

	hal
Gambar 1. Rangkaian Gunung api di Indonesia (USGS, 2001)	1
Gambar 2. Peta zonasi ancaman bahaya Gunung Merapi 2010	2
Gambar 3. Tutupan material vulkanis di atas lahan pertanian Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang	6
Gambar 4. Material vulkanis yang jatuh di Summersari, Nglegok, Blitar	7
Gambar 5. Material vulkanis G. Kelut yang jatuh di Sumberwaras, Ngancar, Kediri	8
Gambar 6. Butiran abuvulkanik yang ber-rongga	10
Gambar 7. Kondisi lahan di sekitar G. Bromo ketika pengambilan contoh tanah untuk analisis mikrob	14
Gambar 8. Memformulasi pembenah tanah dengan cara mencampur bahan-bahan yang digunakan.....	18
Gambar 9. Formula S pembenah tanah yang dirancang untuk lahan sawah	20
Gambar 10. .Formula K pembenah tanah berbasis abu vulkanis dirancang untuk aplikasi pada lahan kering	21
Gambar 11. Keragaan tanaman padi yang diberi pembenah tanah khusus padi dengan dan tanpa diperkaya mikrob di KP Taman Bogo	25
Gambar 12. Dosis pembenah tanah S532 yang optimum untuk padi sawah di KP Tamanbogo.....	28
Gambar 13. Dosis pembenah tanah S442 yang optimum untuk padi sawah di KP Tamanbogo	28
Gambar 14. Keragaan tanaman kedelai yang diberi pembenah tanah K532 diperkaya dan tidak diperkaya mikrob di KP Taman Bogo	31
Gambar 15. Hubungan dosis pembenah tanah K532 dengan berat kering biji kedelai pada Podsolik merah kuning (Typic Kanhapludults) di KP. Taman Bogo	34
Gambar 16. Hubungan dosis pembenah tanah K424 dengan berat biji kering kedelai pada Podsolik merah kuning (Typic Kanhapludults) di KP. Taman Bogo	34

	hal
Gambar 17. Populasi bakteri <i>Rhizobium</i> sp, <i>Azotobacter</i> sp dan bakteri pelarut fosfat (<i>Pseudomonas</i> sp)	36
Gambar 18. Keragaan kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca	39
Gambar 19. Teknik pemberian isolat mikroba ke dalam campuran bahan pembenah tanah	44
Gambar 20. Teknik penyebaran dan pembenaman pembenah tanah	45
Gambar 21. Penyerbaran pembenah tanah di dalam barisan tanaman.....	46
Gambar 22. Model cara aplikasi pembenah tanah di dalam lubang tanam	47

I. PENDAHULUAN

Gunung diciptakan Allah SWT (QS, 15:19)¹ sebagai pasak agar bumi dan penghuninya tidak bergoyang-goyang (QS 16:15; 13: 10), sebelum diperjalankan (QS 52:10) dan dihancur-luluhkan (QS, 56: 5-6; 20: 10) sehingga bumi menjadi datar tanpa ada tempat yang lebih rendah atau lebih tinggi (QS 77: 10, 27). Aktivitas gunung api kebanyakan menyebabkan bertambah tingginya permukaan tanah di sekitar puncak, misalnya bertambah tingginya puncak gunung api Anak Krakatau.

Indonesia dikelilingi gunung-gunung yang sambung-menyambung seolah membentuk satu garis (*ring of fire*) yang mengokohkan kepulauan Nusantara dari Banda Aceh sampai Lampung di Sumatera. Dilanjutkan ke Banten sampai Jawa Timur, Bali dan Nusa Tenggara, diteruskan ke Maluku dan Maluku Utara, serta Gorontalo dan Sulawesi Utara (Gambar 1). Kawasan Nusantara menjadi kokoh tidak terombang-ambing oleh ganasnya gelombang sampai saatnya tiba. Rangkaian gunung api yang membentang di Nusantara merupakan bagian dari Cincin Api Pasifik.



Gambar 1. Rangkaian Gunung api di Indonesia (USGS, 2001)

¹ QS=Al-Qur'an Surat

Hampir setiap tahun terdapat gunung api yang berubah status dari normal ke waspada, dari waspada ke siaga, dan dari siaga ke awas. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral menggolongkan status Gunung api ke dalam 4 level, yaitu (level 1) normal, (level 2) waspada, (level 3) siaga, dan (level 4) awas. Badan Geologi juga telah menetapkan kawasan rawan bencana (KRB) berdasarkan radius dari puncak gunung api, KRB 3 paling berbahaya pada radius 0-5 km, KRB 2 pada radius 5 – 10 km, dan KRB 1 pada radius 10 – 15 km.

Status gunung api menunjukkan keadaan di sekitar gunung api yang bersahabat untuk kehidupan manusia pada level normal (level 1), meningkat menjadi waspada (level 2), jika aktivitasnya mulai menunjukkan peningkatan ke arah membahayakan jiwa manusia. Masyarakat yang bermukim di sekitar gunung api harus siaga (level 3) untuk menyelamatkan diri ketika aktivitas gunung api meningkat menjadi lebih membahayakan jiwa, terutama pada kawasan rawan bencana 3 radius 0 – 5 km dari puncak gunung api harus siaga untuk mengungsi. Apabila status gunung api sudah ditetapkan menjadi awas (level 4) pada kawasan rawan bencana 3 harus dikosongkan karena sangat membahayakan. Nugroho *et al.*, (2012) membuat zonasi ancaman bahaya Gunung Merapi (Gambar 2).



Gambar 2. Peta zonasi ancaman bahaya Gunung Merapi 2010 (Nugroho *et al.*, 2012)

Erupsi gunung berapi secara umum mengeluarkan gas dan air (H_2O), nitrogen (N_2) dan karbon dioksida (CO_2) dalam jumlah yang

berlimpah (Robock, 2002). Pasca letusan tahun 1990, fumarola/solfatara di sekitar danau kawah G. Kelud melepaskan H_2O , CO_2 , CO , HCl , SO_2 , H_2S , HF , H_2 , HBr , NH_3 , CH_4 , H_3BO_3 , dan N_2 (Kadarsetia *et al.*, 2006). Selain itu, erupsi gunung api juga menyemburkan material padat ke atmosfer yang dapat jatuh di sekitar gunung berapi atau terbawa angin dan jatuh di tempat yang sangat jauh dari sumber letusan.

Material padat dalam bentuk debu yang dinamakan abu vulkanis, menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia abu vulkanis adalah partikel lava halus yang terembus ketika gunung berapi meletus, kadang-kadang partikel ini berembus tinggi sekali sehingga jatuh di tempat yang sangat jauh. Pada tahun 2010 Gunung Merapi, di Jawa Tengah abu vulkanisnya terdiri dari 49% gelas *vulkanis*, 26% *labrodonit*, 13% *augit*, dan sedikit *bitounit*, *hiperstin*, *hornblende*, dan *opak*. Selain mineral opak, semua mineral tersebut mudah lapuk dan melepaskan banyak hara ke dalam tanah (Anda *et al.*, 2012). Mineral mudah lapuk ini merupakan **berkah** karena dapat menyuburkan lahan pertanian, tetapi sering diabaikan bahkan terbuang percuma.

Erupsi gunung api menyebabkan kerusakan di permukaan tanah di sekitar pusat letusan menyebar ke sekitarnya sesuai dengan karakter gunung api tersebut. Material erupsi gunung api menyebabkan bencana dan kerusakan lahan secara permanen sehingga sulit untuk dipulihkan menjadi lahan usahatani produktif dalam waktu singkat. Dibalik bencana dan kerusakan yang terjadi, kejadian erupsi gunung api, memberikan berkah, karena material erupsi menambah mineral mudah lapuk yang banyak mengandung unsur bermanfaat bagi tanaman. Tulisan ini memaparkan apakah mungkin abu vulkanis bermanfaat untuk dijadikan pembenah tanah?

Di dalam Permentan Nomor 70 tahun 2011 disebutkan bahwa pembenah tanah adalah bahan-bahan sintetis dan/atau alami, organik dan/atau mineral berbentuk padat pada dan/atau cair yang mampu memperbaiki sifat fisika, kimia dan/atau biologi tanah. Memperhatikan sifat-sifat abu vulkanis yang banyak mengandung unsur-unsur untuk memperkaya lapisan permukaan tanah, maka abu vulkanis mempunyai potensi untuk dimanfaatkan dan dikembangkan menjadi pembenah tanah. Pembenah tanah yang berasal dari abu vulkanis diharapkan tidak

hanya memperbaiki sifat fisika tanah saja, tetapi juga mampu memperbaiki sifat kimia dan biologi tanah.

Lahan pertanian terdegradasi adalah lahan yang telah mengalami penurunan fungsi produksi sehingga harus segera diperbaiki dan dibanahi. Pembenh tanah atau sering disebut juga sebagai amelioran atau *soil amandment* diarahkan untuk memperbaiki sifat fisika tanah sehingga hubungan tanah – air – tanaman di dalam tanah menjadi lebih baik saling mendukung untuk menunjang pertumbuhan tanaman dalam kondisi optimal, maka tanaman mengalami kemudahan dalam memenuhi kebutuhan air, udara, dan hara. Ketika kondisi sifat fisika tanah baik maka efektivitas pemupukan akan lebih baik dan hasil tanaman diharapkan dalam kondisi optimal. Hubungan itulah yang kemudian memperbaiki kesehatan dan kesuburan tanah sehingga mampu meningkatkan hasil tanaman, terutama tanaman semusim. Inilah yang kemudian menjadi berkah yang diperoleh sebagai dampak dari erupsi gunung api. Lahan pertanian menjadi lebih baik dan hasil pertanian juga meningkat.

II. KARAKTERISTIK ABU VULKANIS

Setiap gunung api mempunyai karakteristik sendiri-sendiri, demikian juga dengan tipe erupsi atau letusannya, namun material yang ke luar dari perut bumi tersebut pada umumnya berupa uap air (H_2O), karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2), asam klorida (HCl), asam fluorida (HF) dan abu vulkanis yang dipaparkan ke atmosfer ketika terjadi erupsi.

Beberapa gunung api di Indonesia, mempunyai ciri-ciri khas ketika terjadi erupsi. Erupsi Gunung Merapi di Jawa Tengah – Yogyakarta pada tahun 2010, mengeluarkan awan panas yang sering disebut *wedus gembel* yang suhunya dapat mencapai $200 - 700^\circ C$. Awan panas membawa material vulkanis berupa abu vulkanis. Erupsi Gunung Kelud tahun 2014 terjadi ledakan dahsyat, sehingga material vulkanis terdorong ke udara sampai ketinggian 17 km, setelah itu mereda dan selesai proses erupsinya. Demikian juga ciri khas erupsi G. Sinabung, waktu erupsi cukup panjang dan abu vulkanis serta lava yang ke luar seperti gelombang yang kadang kecil, tetapi kadang besar.

Abu vulkanis merupakan jatuhan piroklastik bahan material vulkanis berukuran halus sampai sangat halus. Pada tipe letusan G. Kelud, abu vulkanis tersebar ke areal yang sangat luas. Material vulkanis dari G. Merapi ke luar dalam bentuk *wedus gembel* dan jatuh di sekitar pusat letusan saja. Demikian juga dengan material vulkanik dari G. Bromo dan G. Sinabung sebarannya terkonsentrasi di sekitar pusat letusan. Sebagian material yang tergolong sedang sampai halus akan turun dari sekitar puncak gunung ke daerah di bawahnya melalui aliran sungai berupa lahar dingin.

2.1. Besar butiran

Material vulkanis yang menutupi permukaan tanah di daerah bencana bermacam-macam diameternya, dari sangat halus sampai sangat kasar. Material vulkanis yang bentuknya halus cocok untuk dijadikan pembenah tanah, karena akan mudah terdegradasi dan mengandung hara yang dibutuhkan tanaman. Proporsi besar butir material vulkanis yang jatuh di dekat pusat letusan Gunung api Kelud berbeda sesuai dengan posisinya (Tabel 1).

Tabel 1. Diameter besar butir material vulkanisik yang jatuh di dekat pusat letusan G. Kelud, Februari 2014

Diameter besar butir (mm)	Desa Padansari				Desa Sugihwaras		Desa Bladak		Desa Sumbersari	
	0 - 6 cm		6 - 10 cm		0 - 6 cm		0 - 6 cm		0 - 6 cm	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
>8,0	0,0	0,0	62,2	14,4	190,3	40,1	170,1	35,5	311,7	60,0
8,0	0,0	0,0	43,6	10,1	72,3	15,2	75,1	15,7	66,7	12,8
4,76	0,0	0,0	48,3	11,2	63,5	13,4	63,8	13,3	49,4	9,5
2,8	0,0	0,0	28,2	6,5	33,1	7,0	37,1	7,7	26,4	5,1
2,0	2,6	0,3	49,2	11,4	49,8	10,5	61,6	12,8	32,5	6,3
1,0	42,5	5,2	59,4	13,8	52,4	11,0	61,3	12,8	24,6	4,7
0,5	459,3	56,6	81,5	18,9	8,2	1,7	7,5	1,6	3,7	0,7
0,25	259,1	31,9	38,4	8,9	1,8	0,4	1,4	0,3	1,9	0,4
0,075	48,5	6,0	8,9	4,7	3,1	0,7	1,7	0,4	2,6	0,5
Total	812	100,0	430,9	100,0	474,5	100,0	479,6	100,0	519,5	100

Keterangan: Desa Pandansari Kec. Ngantang, Kab. Malang, Desa Sugihwaras Kec. Ngancar, Kab. Kediri, Desa Bladak dan Sumbersari Kec. Nglebok, Kab. Blitar

Di Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang (Gambar 3) material vulkanis didominasi oleh abu vulkanis dengan besar butir 0,075 mm – 2 mm dan proporsi tertinggi sebanyak 56,6% mempunyai diameter 0,5 mm diikuti oleh diameter 0,25 mm sebanyak 31,9%. Besar butir tersebut menyebar di permukaan tanah pada kedalaman 0-6 cm, sedangkan material vulkanis pada kedalaman 6 – 10 cm mempunyai besar butir > 8 mm sampai dengan 0,075 mm dan didominasi oleh material > 8 mm dengan jumlah 14,4%.



Gambar 3. Tutupan material vulkanis di atas lahan pertanian Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang. (Foto: S. Sutono, 2014)

Di Desa Sugihwaras, Kecamatan Ngancar, Kediri material yang menutup permukaan tanah setebal 6 cm didominasi oleh material vulkanis dengan diameter > 2 mm dengan proporsi sebanyak 55,3% berdiameter ≥ 8 mm. Di Bladak dan Summersari, Nglegok, Blitar hampir serupa dengan di Ngancar, material yang menutup permukaan tanah setebal 2 – 4 cm mempunyai diameter butiran ≥ 8 mm terbanyak masing-masing 51% dan 72%.



Gambar 4. Material vulkanis yang jatuh di Summersari, Nglegok, Blitar
(Foto: S. Sutono, 2014)

Material vulkanis yang jatuh di Kecamatan Ngantang lebih didominasi oleh abu vulkanis dengan diameter < 2 mm. Abu vulkanis dari sekitar pusat letusan G. Merapi dan Bromo juga mempunyai diameter ≤ 2 mm masing-masing sebanyak 50% dan 52%. Sedangkan butiran yang lebih halus ($< 0,5$ mm) sebanyak 36% jatuh di sekitar pusat letusan G. Merapi dan Bromo sebanyak 45%.



Gambar 5. Material vulkanis G. Kelut yang jatuh di Sumberwaras, Ngancar, Kediri (Foto: A. Pramudia 2014)

Abu vulkanis di sekitar pusat letusan Gunung Merapi paling banyak mempunyai diameter butir 0,5 – 2 dan sisanya mempunyai besar butir < 0,5 mm. Abu vulkanis dekat pusat letusan Gunung Bromo mempunyai besar butir 0,5-2 mm sebanyak 55% dan sisanya adalah abu vulkanis dengan diameter < 0,5 mm. Secara umum abu vulkanis dari Gunung Merapi lebih kasar dibandingkan dengan dari Gunung Bromo (Tabel 2). Dari ke dua lokasi tersebut hanya diambil contoh abu vulkanis saja tanpa mengambil material lainnya.

Tabel 2. Diameter abu vulkanis dari dekat pusat letusan Gunung Merapi dan Bromo

Ukuran butir	Persen diameter butir (%)	
	G. Merapi	G. Bromo
0,5 - > 2 mm	64	55
2 mm	14	3
1 – 2 mm	25	36
0,5 - 1 mm	25	16
0,075 – 0,5 mm	27	40
< 0,075 mm	9	5

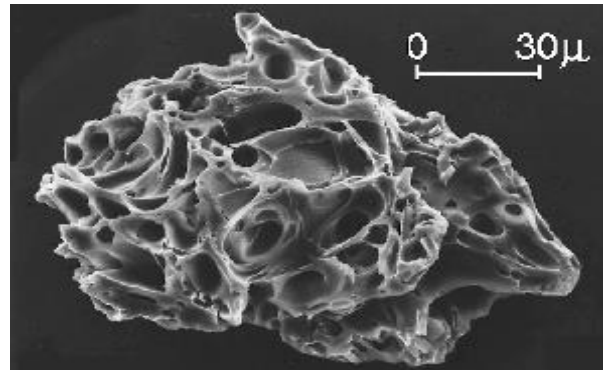
Semakin halus abu vulkanis semakin baik untuk dijadikan pembenah tanah karena akan memudahkan unsur-unsur hara yang terdapat di dalam butiran tersebut terdegradasi. Butiran abu vulkanis Bromo lebih halus dibandingkan abu vulkanis Merapi.

2.2. Jenis mineral abu vulkanis

Abu vulkanis yang diendapkan di permukaan tanah berukuran halus sampai sangat halus dan mengandung silika dan mineral. Unsur yang paling umum adalah sulfat, klorida, natrium, kalsium, kalium, magnesium, dan fluoride. Bentuk fisiknya yang berongga memungkinkan untuk dijadikan bahan pembenah tanah. Abu vulkanis dari Gunung Merapi yang akan dijadikan bahan pembenah tanah mempunyai pH tinggi, banyak mengandung kalsium, magnesium, kalium, dan fosfat. Bahan-bahan tersebut dapat dijadikan pembenah tanah karena selain mampu menambah hara, juga akan mampu memperbaiki sifat-sifat tanah. Jadi abu vulkanis dengan pH tinggi paling baik untuk dijadikan pembenah tanah.

Anda (*et.al.*, 2012) mengemukakan bahwa kandungan unsur hara utama dari abu vulkanis G. Merapi yang terpapar di permukaan tanah di Kabupaten Sleman, Magelang, Klaten dan Boyolali adalah Ca, K, Mg, P, dan S dan hara mikro Zn, Fe, Mn, Cu dan Co, termasuk Si dan Na dalam jumlah relatif banyak. Logam berat yang terukur adalah Pb, Cr dan As dengan konsentrasi sangat rendah.

Kandungan oksida pada contoh abu vulkanis yang diambil dari Kabupaten Sleman, Magelang, Klaten, dan Boyolali tidak menunjukkan adanya perbedaan yang nyata (Tabel 3). Hal tersebut menunjukkan bahwa karakteristik abu vulkanis yang berasal dari erupsi G. Merapi didominasi oleh Si, Al, Ca, dan Fe dalam jumlah lebih dari 90% dengan proporsi masing-masing 56,27%, 19,41%, 7,41% dan 7,14%. Sisanya dengan jumlah < 10% adalah campuran berbagai unsur hara makro dan mikro. Penambahan unsur-unsur tersebut ke lahan pertanian diyakini dapat meningkatkan kesuburan tanah, terutama pada tanah yang telah terdegradasi baik lahan kering maupun lahan sawah untuk budidaya tanaman pangan.



Gambar 6. Butiran abuvulkanik yang ber-rongga (sumber: <http://saribahari/files.wordpress.com/2010/11/volcanic-ash-large-4-26-10.gif>)

Tabel 3. Kandungan oksida abu vulkanis G. Merapi yang terhampar di Kabupaten Sleman, Magelang, Klaten, dan Boyolali

Oksida	Satuan	Kabupaten				Rataan
		Sleman	Magelang	Klaten	Boyolali	
SiO ₂	%	56.89	56.56	55.42	56.22	56.27
TiO ₂	%	0.61	0.65	0.71	0.66	0.66
Al ₂ O ₃	%	19.29	19.22	19.59	19.55	19.41
Fe ₂ O ₃	%	6.92	7.28	6.96	7.41	7.14
MnO	%	0.16	0.17	0.17	0.04	0.13
CaO	%	7.05	7.29	7.73	7.57	7.41
MgO	%	1.43	1.39	1.55	1.45	1.45
Na ₂ O	%	3.89	3.95	3.83	4.08	3.94
K ₂ O	%	2.17	2.12	1.89	2.14	2.08
P ₂ O ₅	%	0.39	0.40	0.39	0.38	0.39
SO ₃	%	0.22	0.29	0.14	0.03	0.17
Hilang karena peleburan (Loss of ignition, LOI)	%	0.86	0.51	1.44	0.20	0.75
Jumlah pengamatan (n)		6	7	3	1	

Sumber: Anda *et al.*, 2012

2.3. Sifat Kimia Abu vulkanis

Abu vulkanis G. Merapi yang diambil di enam lokasi (Tabel 4) menunjukkan sifat masam sampai agak masam (pH 4,8-6,8), P tersedia tergolong sangat tinggi; Ca, Mg, dan S tinggi sampai sangat tinggi

(berdasarkan kriteria Morgan); Fe dan Mn sedang sampai tinggi (berdasarkan kriteria Morgan), namun KTK termasuk rendah sampai sangat rendah. Ketika abu vulkanis terdekomposisi karena tergolong mudah terdegradasi maka unsur-unsur yang terkandung di dalamnya akan memperkaya hara tanah.

Tanah yang terkena atau tercampur abu vulkanis bereaksi agak masam (pH 5,4-5,9), sifat-sifat lainnya hampir sama, hanya kandungan S lebih tinggi dibandingkan dengan abu vulkanis, kecuali di Cepogo dan Pakem (Tabel 4). Perbedaan sifat tanah antara satu tempat dengan tempat lainnya ditentukan oleh jarak dari pusat letusan Gunung Merapi. Tingkat kemasaman air sawah, sungai, dan kebun berkisar antara 5,1-7,3; Kadar beberapa unsur hara dalam air seperti K, Ca, dan Mg cukup baik, sehingga dapat digunakan untuk pengairan tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan. Air sungai memiliki kadar lumpur cukup tinggi, sehingga untuk sementara air dari sungai di daerah bencana belum dapat digunakan untuk MCK (mandi, cuci, kakus).

.

Tabel 4. Sifat kimia abu vulkanis pasca erupsi Gunung Merapi tahun 2010

Lokasi	pH- H ₂ O	P-tersedia (ppm P ₂ O ₅)	KTK (cmol(+) kg^{-1})	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Pb	Cd
..... ppm										
Magelang										
Dukun	4,8	207	4,97	972	25	81	13	1,5	0,5	0,0
Srumbung	5,5	183	4,72	1516	81	160	15	2,7	0,0	0,02
Sawangan	5,9	39	6,23	1781	40	131	10	6,8	0,5	0,02
Boyolali										
Selo	5,8	232	2,26	989	21	81	8	1,0	0,4	0,01
Cepogo	5,1	8	1,77	426	16	26	11	2,8	0,3	0,01
Sleman										
Pakem										
<5	6,8	14	2,66	450	71	2	27	3,6	0,1	0,02
5-10	6,1	138	7,10	3094	292	42	25	1,1	0,0	0,03
>10	6,2	8	3,89	1146	87	6	57	3,0	0,1	0,01

Sumber: Suriadikarta, *et al.*, 2011

2.4. Sifat Fisika Abu vulkanis

Abu vulkanis yang terdapat di Pandansari, Malang didominasi butiran halus mempunyai permeabilitas tergolong agak lambat dengan nilai 0,96 cm/jam, sedangkan air tersedia mempunyai kapasitas yang sangat tinggi (Tabel 5). Hal ini menunjukkan bahwa air yang terperangkap abu vulkanis menyimpan agak lama karena air mengisi rongga-rongga yang terdapat di dalam butiran abu vulkanis. Namun demikian, jika abu vulkanis didominasi oleh butiran yang cukup besar akan mempunyai permeabilitas cepat sampai sangat cepat.

Kecepatan permeabilitas dipengaruhi oleh mudah tidaknya abu vulkanis yang halus mengisi pori-pori diantara butiran dan rongga-rongga di dalam butiran abu vulkanis. Molekul air yang mengisi pori-pori dan rongga-rongga tersebut dapat tersimpan dalam matrik dengan tegangan sampai 15 bar sampai 10% volume banyaknya.

Tabel 5. Sifat fisika abu vulkanis erupsi Gunung Kelud, 2014

Desa/ Kabupaten	BD	PD	Ruang Pori Total	Pori Drainase		Air tersedia	Permeabilitas
				Cepat	Lambat		
	--- g cm ³ ---			----- % volume -----			cm jam ⁻¹
Kabupaten Malang							
Pandan Sari	1.37	2.88	52.28	18.79	9.62	22.75	0.96
Pondok Agung	1.14	2.43	53.10	14.67	4.74	13.56	17.42
Goret	1.34	2.67	49.80	17.09	3.20	18.10	10.30
Rataan	1.29	2.66	51.73	16.85	5.85	18.14	9.56
Kabupaten Kediri							
Besowo	1.45	2.69	46.02	14.50	7.10	16.47	6.28
Puncu	1.05	2.45	57.30	26.00	9.23	9.65	11.22
Puncu	1.16	2.32	49.90	13.97	6.80	20.86	10.12
Rataan	1.22	2.49	51.07	18.15	7.71	15.66	9.21

Sumber: Sutono *et al.*, 2014..

2.5. Isolasi dan Populasi Mikrob Pasca Erupsi Merapi dan Bromo

Pasca erupsi Gunung Merapi, abu vulkanis dan pasir telah menutupi lahan pertanian dengan ketebalan bervariasi pada setiap lokasi dan tergantung dari jarak pusat letusan, arah dan kecepatan angin. Dampak yang langsung terhadap lahan adalah penutupan lapisan olah/ bagian atas tanah oleh abu dan rusaknya tanaman yang tumbuh di atasnya (Suriadikarta *et al.* 2011).



Gambar 7. Kondisi lahan di sekitar G. Bromo ketika pengambilan contoh tanah untuk analisis mikrob (biologi tanah) (Foto: S. Sutono, 2012)

Pada abu vulkanis dengan ketebalan 10-15 cm tidak dijumpai mikrob, sedangkan pada kedalaman < 10 cm terdapat bakteri pelarut fosfat dengan populasi sebesar 10^5 CFU/g (Tabel 6). Pada tanah tertimbun abu vulkanis dan di daerah perakaran (risosfer) tanaman jagung, legum dan rumput pada lahan pertanian di Kepuharjo terdapat *Rhizobium* sp., *Azotobacter* sp. dan bakteri pelarut P dengan populasi cukup tetapi tidak dijumpai fungi dekomposer. Dalam risosfer rumput di Glagaharjo, tidak ditemukan ke tiga jenis bakteri tersebut tetapi dijumpai pada risosfer ubikayu dan jagung, walaupun fungi masih belum dijumpai. Hal ini menunjukkan bahwa setengah tahun setelah tersebarnya abu vulkanis di sekitar pusat erupsi, fungi belum berkembang lagi.

Hasil pengamatan terhadap fungi terdapat berbagai jenis fungi, diantaranya *Aspergillus* sp, *Rhizopus* sp dan *Penicillium* sp, namun pada pengujian lanjutan terhadap kemampuannya melarutkan fosfat dan mendekomposisi terhadap selulosa dan lignin (selulolitik dan lignolitik) tidak ditemukan mikroba dekomposer bahan organik. Pada

pengujian dengan menggunakan media *Carboxy Methyl Cellulase* (CMC diganti dengan abu vulkanis) menunjukkan tidak terbentuknya zona bening pada media tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa fungi yang diperoleh tidak menunjukkan sifat pendekomposisi pada abu vulkanis.

Tabel 6. Jumlah isolat mikroba dan fungi penyubur tanah dari lokasi erupsi Merapi dan Bromo, enam bulan setelah erupsi

No.	Jenis Mikroba	Jumlah isolate dari sekitar	
		G. Merapi	G. Bromo
1.	<i>Rhizobium</i> sp	10	6
2.	<i>Azotobacter</i> sp	11	6
3.	<i>Actinomyces</i>	-	-
4.	Bakteri pelarut P	12	8
5.	Fungi Pelarut P	-	-
6.	Fungi/bakteri dekomposer	-	-
Total		33	20

Keterangan -: tidak ditemukan

Sumber : Sutono, *et al.*, 2011

Hasil isolasi mikroba fungsional dari berbagai lokasi terpapar abu vulkanis G. Merapi diperoleh 33 macam isolat yang terdiri atas 10 isolat *Rhizobium* sp, 11 isolat *Azotobacter* sp dan 12 isolat bakteri pelarut fosfat, sedangkan dari sekitar G. Bromo diperoleh 20 isolat terdiri dari 6 isolat *Rhizobium* sp, 6 isolat *Azotobacter* sp dan 8 isolat bakteri pelarut fosfat (Tabel 8). Beberapa bakteri yang tumbuh pada cawan petri tidak semuanya dapat dipindahkan dan dipelihara sebagai biakan bakteri sehingga isolat yang diperoleh relatif sedikit, diantaranya disebabkan karena pertumbuhan koloninya sangat kecil atau mudah terkontaminasi dengan mikroba lainnya, atau mati saat dipindahkan.

BAB III. ABU VULKANIS BAHAN PEMBENAH TANAH

3.1. Berkah Abu Vulkanis

Ketika terjadi erupsi gunung berapi yang terbayang dihadapan kita adalah bencana dari yang ringan sampai yang berat, mengharu biru perasaan baik yang dekat maupun yang jauh dari pusat bencana. Kerugian material dialami oleh setiap orang di daerah bencana, demikian juga dengan kerusakan lahan pertanian dan panen yang gagal. Kadang-kadang gunung berapi meletusnya tidak meledak tetapi mengeluarkan asap panas yang sering disebut sebagai awan panas yang terus berlangsung dalam beberapa hari, bulan, bahkan tahun. Penderitaan berkepanjangan sebagai akibat erupsi gunung berapi dirasakan berat oleh setiap orang di daerah bencana, sehingga untuk hidup sehari-hari pun sulit tanpa bantuan pemerintah dan masyarakat.

Memperhatikan kondisi sosial ekonomi masyarakat di daerah bencana yang membutuhkan penghasilan untuk menopang perjalanan hidup, dan memperhatikan sifat-sifat abu vulkanis yang mudah terdegradasi dan mengandung banyak unsur hara maka akan lebih baik jika masyarakat di daerah bencana dapat mengubah bencana menjadi barokah.

Agar kejadian tersebut menjadi berkah bagi masyarakat di daerah bencana, mereka perlu mendapat informasi penting tentang sifat-sifat abu vulkanis yang ternyata baik bagi bahan pembenah tanah. Abu vulkanis dapat meningkatkan kandungan hara tanaman di dalam tanah, sehingga kalau diusahakan dengan baik dan dipasarkan oleh masyarakat dengan bantuan pemerintah daerah setempat, bencana menjadi berkah terwujud dalam kehidupan di daerah bencana.

Masyarakat petani yang terpuruk karena gagal panen dan pekerjaan dapat digerakkan untuk mengumpulkan, menyimpan dan memformulasi abu vulkanis menjadi pembenah tanah. Pembenah tanah yang sudah jadi dipasarkan dengan bantuan pemerintah setempat untuk dijadikan bahan dalam merehabilitasi lahan pertanian terdegradasi. Pemerintah daerah yang berada tidak jauh dari lokasi bencana menjadi pembeli potensial pembenah tanah dengan membuat program rehabilitasi lahan pertanian terdegradasi.

3.2. Pemilihan Abu Vulkanis untuk Pembenah Tanah

Indikator utama untuk memilih bahan terbaik adalah pH dan kemudahan untuk terdekomposisi bahan tersebut. Abu vulkanis yang mempunyai pH netral sampai basa merupakan bahan yang terbaik untuk dijadikan bahan utama pembenah tanah. Abu vulkanis yang mempunyai reaksi masam sampai netral dapat dimanfaatkan, sedangkan abu vulkanis masam sampai sangat masam sebaiknya tidak digunakan.

Abu vulkanis yang mudah terdekomposisi merupakan bahan yang baik untuk diformulasi menjadi pembenah tanah. Formula pembenah tanah sebaiknya ditambahkan bahan organik agar memberikan respon cepat terhadap perbaikan sifat fisika dan sifat kimia serta sifat biologi tanah.

3.3. Formula Pembenah Tanah

Jerami padi yang ditanamkan ke lahan sawah mempunyai pengaruh baik terhadap perbaikan sifat kimia tanah (Adiningsih, 1984). Bahan organik yang berasal dari jerami cocok untuk dikembalikan ke lahan sawah, karena selain sebagai sumber K juga dapat menjadi sumber Si, selain itu bahan organik juga berkorelasi positif terhadap hasil padi (Adiningsih dan Rochayati, 1988). Oleh karena itu, kompos jerami sisa panen dapat dijadikan salah satu bahan pembenah tanah untuk menambah bahan organik di lahan sawah dan di lahan kering. Menurut Sutono dan Kartiwa (2012) pupuk kandang berpengaruh baik terhadap perbaikan sifat fisika tanah pada lahan pertanian dengan jenis tanah Latosol (Oksisols) di Ciamis, Jawa Barat. Untuk mempercepat perbaikan lahan diperlukan pembenah tanah yang mengandung bahan organik.

Lahan sawah dan lahan kering yang telah mengalami degradasi berat biasanya mempunyai kandungan bahan organik tanah yang rendah. Pada lahan kering sering disertai dengan kandungan P tersedia yang rendah. Oleh karena itu pembenah tanah terbaik untuk kedua jenis lahan yang mempunyai kandungan bahan organik tanah dan P-nya rendah adalah pembenah tanah yang mempunyai salah satu atau keduanya dari unsur tersebut dalam kondisi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman.



Gambar 8. Memformulasi pembenah tanah dengan cara mencampur bahan-bahan yang digunakan(Foto: S. Sutono, 2011)

Abu vulkanis hasil erupsi gunung berapi mempunyai ciri utama sedikit mengandung bahan organik, sedangkan lahan pertanian suboptimal mutlak membutuhkan bahan organik. Berdasarkan kedua hal tersebut, maka pembenah tanah yang berasal dari abu vulkanis yang diperuntukan bagi perbaikan sifat fisika tanah dan peningkatan produktivitas lahan pertanian memerlukan penambahan bahan organik. Jerami padi dikenal sebagai sumber kalium yang cukup banyak, sekitar 5 kg K/ton jerami kering. Oleh karena itu, pembenah tanah untuk lahan sawah sebaiknya menggunakan jerami padi sehingga pembenah tanah tersebut selain mampu menambah bahan organik, juga mampu menambah kalium sehingga pembelian kalium yang mahal dapat dikurangi. Selain itu, jerami sudah tersedia di dalam petak-petak sawah.

Peluang untuk membuat pembenah tanah dari abu vulkanis sangat terbuka. Ketersediaan abu vulkanis biasanya hanya sebentar, karena akan hanyut terbawa oleh air aliran permukaan ketika hujan turun dan akhirnya diendapkan dalam badan sungai atau ke laut. Peluang yang sebentar tersebut perlu dimanfaatkan sebaik-baiknya agar abu vulkanis dapat dijadikan bahan pembenah tanah pada lahan yang telah terdegradasi.

Salah satu abu vulkanis yang cocok untuk dijadikan pembenah tanah adalah abu vulkanis yang berasal dari Gunung Merapi di perbatasan DIY – Jawa Tengah. Abu vulkanis tersebut mempunyai kandungan P tersedia tinggi, demikian juga kandungan Ca, Mg, dan S dan kandungan logam beratnya rendah, sedangkan pH-nya sekitar 7-8. Pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis G Merapi selain memperbaiki sifat fisika tanah juga dapat menambah hara tanaman.

Dengan memanfaatkan abu vulkanis yang tersedia dapat dibuat formula pembenah tanah yang sifat-sifat kimianya disajikan pada Tabel 7 untuk pembenah tanah yang diarahkan bagi lahan sawah (Gambar 8) dan Tabel 8 untuk pembenah tanah yang diarahkan bagi lahan kering (Gambar 9). Lahan sawah saat ini mengalami penurunan kandungan bahan organik sebagai akibat semua hasil panen termasuk jerami dan sekam diangkut ke luar lahan atau dibakar.

Tabel 7. Sifat kimia formula pembenah tanah untuk lahan sawah berbasis abu vulkanis

No. Urut	Kode formula pembenah	pH (1:5)	Bahan organik		Hara makro			
			C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
			%.....					
1	S640	7,32	50,14	1,28	0,39	0,46	2,67	0,21
2	S604	7,68	56,45	0,45	3,57	0,09	5,19	0,16
3	S622	7,56	53,19	0,87	2,47	0,25	3,99	0,17
4	S541	7,49	49,25	1,11	1,65	0,48	2,80	0,20
5	S514	7,59	53,65	0,65	3,74	0,17	5,29	0,17
6	S532	7,56	50,08	0,80	2,44	0,33	4,07	0,18
7	S523	7,58	51,89	0,98	3,22	0,26	4,79	0,20
8	S442	7,48	47,94	1,20	2,53	0,46	4,21	0,21
9	S424	7,52	51,64	0,91	3,85	0,27	5,27	0,19
10	S433	7,51	50,36	1,06	3,32	0,37	4,75	0,20

Sumber: Sutono *et al.* 2011

Abu vulkanis yang dicampur dengan kompos jerami dan fosfat alam mempunyai pH yang cukup baik, yaitu berkisar antara 7,3 - 7,6 yang cocok dijadikan pembenah untuk tanah-tanah sawah yang mempunyai pH rendah (masam). Formula tersebut mempunyai kadar karbon yang tinggi, tetapi N, P₂O₅, K₂O, Ca, dan Mg tergolong sedang sampai rendah. Besi yang terdapat dalam formula ini tergolong sangat tinggi yang sumbernya berasal dari abu vulkanis. Anda (2010) mengemukakan bahwa kandungan FeO dalam abu vulkanis Gunung Merapi berasal dari letusan tahun 2010 cukup tinggi, sehingga kandungan Fe pada pembenah tanah berbasis abu vulkanis juga tinggi.



Gambar 9. Formula S pembenah tanah yang dirancang untuk lahan sawah. (Foto: S. Sutono, 2012)

Perilaku besi di dalam tanah bergantung kepada pH tanah, makin rendah pH kelarutan besi makin tinggi, kelarutan Fe^{3+} berkurang 1.000 kali jika pH meningkat 1 unit. Oleh karena itu, untuk menurunkan kadar besi yang tinggi dapat dilakukan dengan meningkatkan kalsium di dalam tanah. Abu vulkanis G. Merapi mempunyai kandungan Si, Al, Ca, dan Fe mencapai 90% dengan proporsi masing-masing 56,27%, 19,41%, 7,41% dan 7,14%. Ca dan Al dalam kondisi yang berimbang, sehingga pengendapan Fe mungkin akan berlangsung dengan baik sesuai dengan meningkatnya Ca yang sekaligus meningkatkan pH.

Untuk menurunkan kelarutan Fe selain meningkatkan pH dan menambah Ca juga dapat digunakan bahan organik seperti kompos jerami, pupuk kandang, dan senyawa organik lainnya. Ikatan kompleks antara ion logam dengan senyawa organik, akan mensintesis senyawa organik. Hasil perombakan bahan organik tanah atau sisa tanaman dan hasil metabolisme mikroba merupakan khelat alamiah, dapat disebut sebagai asam sitrat dan asam oksalat.

Berdasarkan hasil percobaan yang ditujukan untuk memilih formula pembenah tanah ditetapkan pembenah tanah dengan formula S532 dan S442 untuk lahan sawah sedangkan K532 dan K424 untuk lahan kering masam Podsolik Merah Kuning. Sifat kimia formula pembenah tanah untuk lahan kering disajikan Pada Tabel 8.



Gambar 10. Formula K pembenah tanah berbasis abu vulkanis dirancang untuk aplikasi pada lahan kering

Tabel 8. Sifat kimia formula pembenah tanah untuk lahan kering berbasis abu vulkanis

No.	Kode Formula	pH	Bahan organik		Hara makro			
			C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Urut	Pembenah	(1:5)	%					
1	K640	8,70	49,84	1,53	0,66	0,87	2,10	0,45
2	K604	7,73	55,34	0,56	3,52	0,09	5,23	0,16
3	K622	8,49	52,66	0,95	2,63	0,41	4,29	0,25
4	K541	8,58	48,73	1,46	2,10	1,00	3,47	0,44
5	K514	8,07	53,76	0,72	3,55	0,29	5,30	0,23
6	K532	8,53	51,24	1,07	2,87	0,61	4,45	0,33
7	K523	8,39	52,15	0,88	3,11	0,39	4,82	0,26
8	K442	8,53	58,17	1,46	2,81	0,96	4,38	0,45
9	K424	8,28	56,50	0,95	3,78	0,45	5,46	0,29
10	K433	8,41	58,04	1,35	3,30	0,84	4,91	0,41

Sumber: Sutono *et al.* 2011

Formula pembenah tanah yang mengandung pupuk kandang mempunyai pH yang sangat tinggi berkisar 7,7 – 8,7 (Tabel 9) sehingga akan sangat membantu jika digunakan pada tanah-tanah di lahan kering dengan pH rendah. Berdasarkan percobaan di rumah kaca, maka dipilih formula terbaik untuk lahan kering masam karena mempengaruhi

pertumbuhan padi gogo dan kedelai menjadi lebih baik dibandingkan formula lainnya. Formula tersebut adalah K532 dan K442, formula ini mempunyai keseimbangan yang baik sehingga pengaruhnya dapat langsung di lihat dan direspon oleh tanaman indikator.

3.4. Adaptasi dan Kompatibilitas Mikrob dari Risosfeer Terpapar Abu Vulkanis

Produksi pupuk hayati atau inokulan di Indonesia umumnya menggunakan bahan pembawa organik berupa gambut dan mineral yaitu pasir, mineral lempung atau zeolit. Di dalam upaya menciptakan biaya produksi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan, maka dirasakan perlu untuk dicarikan alternatif bahan pembawa lain seperti abu vulkanis yang merupakan sumber daya potensial yang dihasilkan akibat erupsi gunung terdapat di berbagai lokasi.

Mikroba yang akan digunakan untuk pengkaya pembenah tanah isolatnya ditumbuhkan dalam suatu media untuk menguji kompatibilitas secara *in vitro* (Tabel 9, 10, dan 11).

Hasil pengujian kompatibilitas antara isolat bakteri pelarut fosfat dengan isolat bakteri *Rhizobium* sp menunjukkan bahwa isolat bakteri pelarut fosfat P1C kompatibel dengan bakteri *Rhizobium* isolat RB3K1, RB4B, R1E2 (Tabel 9). Bakteri *Rhizobium* sp isolat RB4B tidak kompatibel dengan bakteri pelarut fosfat isolat P3K6, P3G1, P3E3, P2E2.

Pada pengujian kompatibilitas antara isolat bakteri *Azotobacter* sp dan *Rhizobium* sp menunjukkan bahwa bakteri *Azotobacter* sp isolat A1E kompatibel dengan *Rhizobium* sp isolat R1E, A3C vs RB3K1, A3C vs R1E2, A4C vs RB3K1, dan A3K2 vs RB3K1 (Tabel 10). Bakteri *Azotobacter* sp isolat A3C dan A3K2 bersifat kompatibel terhadap bakteri pelarut P isolat P1C, P3K6, P3G1, P3E3, P2E2. *Azotobacter* isolat A3J2 tidak kompatibel dengan bakteri pelarut P (Tabel 11).

Tabel 9. Pengujian kompatibilitas 2 jenis isolat bakteri *Rhizobium* sp dan bakteri pelarut fosfat pada media nutrient agar (NA)

Isolat Bakteri pelarut P	Kompatibilitas		
	Isolat <i>Rhizobium</i> sp		
	RB3K1	RB4B	R1E2
P1C	+	+	+
P3K6	+	-	+
P3G1	+	-	+
P3E3	+	-	+
P2E2	+	-	+

Keterangan : +) kompatibel, -) tidak kompatibel

Sumber : Sutono, *et al*, 2011

Tabel 10. Pengujian kompatibilitas bakteri *Rhizobium* sp dan bakteri *Azotobacter* sp pada media nutrient agar

Isolat <i>Azotobacter</i> sp	Kompatibilitas		
	Isolat <i>Rhizobium</i> sp		
	RB3K1	RB4B	R1E2
A1E	-**)	-	+
A3J2	-	-	-
A3C	+*)	-	+
A4C	+	-	-
A3K2	+	-	-

Keterangan : +*) kompatibel, -**): tidak kompatibel

Sumber : Sutono, *et al*, 2011

Pengujian selanjutnya terhadap ke tiga jenis isolat menunjukkan bahwa isolat *Rhizobium* RB3K1 bersifat kompatibel terhadap semua isolat bakteri pelarut P dan *Azotobacter* sp. (Tabel 13). Sifat kompatibilitas 3 jenis isolat juga ditunjukkan oleh isolat *Azotobacter* A1E dengan bakteri P isolat P1C dan *Rhizobium* isolat RB4B. *Rhizobium* sp isolat R1E2 kompatibel dengan bakteri P isolat P1C dengan *Azotobacter* isolat A1E, A3J2, A3C, A4C, A3K2. Bakteri P isolat P3K6 kompatibel terhadap *Rhizobium* isolat R1E dan *Azotobacter* sp isolat A1E dan A3J2.

Tabel 11. Pengujian kompatibilitas isolat bakteri *Azotobacter sp* dan bakteri pelarut fosfat pada media nutrient agar

Isolat Bakteri pelarut P	Kompatibilitas				
	Isolat <i>Azotobacter sp</i>				
	A1E	A3J2	A3C	A4C	A3K2
P1C	+	-	+	-	+
P3K6	+	-	+	-	+
P3G1	+	-	+	-	+
P3E3	-	-	+	+	+
P2E2	+	-	+	+	+

Keterangan : +) kompatibel, -) tidak kompatibel

Sumber : Sutono, *et al*, 2011

Azotobacter sp adalah bakteri penambat nitrogen aerobik yang mempunyai kemampuan menambat cukup tinggi $\pm 2 - 15$ mg N/gram sumber karbon yang digunakan (Subba Rao. 1982). Waksman (1952) menyatakan bahwa kemampuan penambatan nitrogen tergantung kepada sumber energinya, keberadaan nitrogen yang terpakai mineral, reaksi tanah dan faktor lingkungan yang lain serta kehadiran bakteri tertentu.

IV. EFEKTIVITAS PEMBENAH TANAH

Uji efektivitas ini dilakukan di Kebun Percobaan (KP) Taman Bogo, Kabupaten Lampung Timur, pada lahan sawah dan lahan kering dengan jenis tanah Podsolik Merah Kuning atau Typic Kanhapludults.

4.1. Penggunaan Pembenh Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Padi Sawah

Hasil skrining pembenh tanah yang dilakukan di rumah kaca menunjukkan bahwa pembenh S532 dan S442 merupakan pembenh tanah terbaik dari 10 formula yang telah dibuat. Oleh karena itu, formula tersebut diujicobakan pada lahan sawah di KP Taman Bogo, Lampung Timur.



Gambar 11. Keragaan tanaman padi yang diberi pembenh tanah khusus padi dengan dan tanpa diperkaya mikrob di KP Taman Bogo. (Foto: S. Sutono, 2012)

Setiap formula pembenh tanah yang dicobakan diberikan ke dalam lahan sawah dengan dosis masing-masing 0, 1, 2,5 dan 5 ton/ha. Pupuk dasar yang digunakan 225 kg Urea/ha, 100 kg SP36/ha dan KCl 100 kg/ha.

Pembenah tanah, mikroba dan dosis pembenah tanah serta interaksinya tidak menunjukkan perbedaan tinggi tanaman yang nyata pada umur 30 hari setelah tanam (HST) dan 90 HST. Keadaan demikian menunjukkan bahwa penggunaan pembenah tanah pada lahan sawah selama satu musim tanam belum memberikan pengaruh terhadap keragaan tanaman (Tabel 12).

Pembenah S532 yang digunakan memberikan jumlah anakan produktif 3,6% lebih banyak dibandingkan dengan jumlah anakan produktif yang dicapai dengan menggunakan S442 walaupun tidak nyata. Pembenah tanah diperkaya mikrob (M2) menghasilkan lebih banyak 4% dibanding tidak diperkaya mikrob (M1) tetapi tidak berbeda nyata (Tabel 13).

Tabel 12. Pengaruh pembenah tanah, mikrob dan dosis pembenah tanah terhadap tinggi tanaman dan jumlah anakan produktif padi sawah varietas Inpari 13 di KP Tamanbogo

Perlakuan	Tinggi tanaman Padi Inpari 13		Anakan produktif
	30 HST	90 HST	
----- cm -----			
Jenis pembenah tanah			
1. S532	61,72	94,61	8,70
2. S442	61,76	97,04	8,40
Pemberian mikrob			
1. Tidak diperkaya mikrob	61,60	95,34	8,38
2. Diperkaya mikrob	61,89	96,31	8,72
Dosis pembenah tanah			
1. 0,0 t/ha	62,12	95,34	8,61
2. 1,0 t/ha	61,63	96,61	8,49
3. 2,5 t/ha	61,38	95,00	8,58
4. 5,0 t/ha	61,85	96,68	8,53

Sumber : Sutono, *et al*, 2012

Pembenah tanah dan penggunaan mikroba tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap hasil gabah kering panen (GKP) dan gabah kering giling (GKG) pada kadar air 14 % (Tabel 13).

Aplikasi pembenah tanah S532 dan S442 dengan dosis 5 t/ha memberikan hasil GKP dan GKG tertinggi (6,64 t/ha GKP dan 5,53 t/ha

GKG) yang berbeda nyata dibandingkan dengan tanpa pembenah tanah (6,06 t/ha GKP dan 5,06 t/ha GKG).

Pembenah tanah S532 dan S442 mampu memberikan bobot jerami kering panen padi sawah varietas Inpari 13 dapat mencapai 6,30 - 7,17 ton/ha. Dosis terbaik untuk kedua jenis pembenah tanah tersebut adalah 5 ton/ha (Tabe 13).

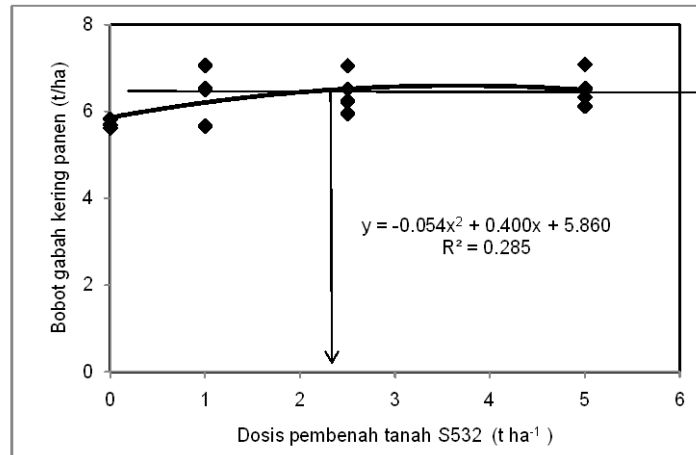
Tabel 13. Pengaruh Jenis Pembenah Tanah, Penggunaan Mikroba dan Dosis Pembenah Tanah terhadap Hasil Gabah Kering Panen (GKP), Gabah Kering Giling (GKG) dan Jerami Kering Padi Sawah Inpari 13 di KP Tamanbogo

Perlakuan	Bobot hasil panen		
	Gabah kering panen (GKP)	Gabah kering giling (GKG)	Jerami kering
	----- ton/ha -----		
Jenis pembenah tanah			
1. S532	6,28	5,24	6,60
2. S442	6,43	5,36	6,63
Pemberian mikroba			
1. Tidak diperkaya mikroba	6,49	5,43	6,43
2. Diperkaya mikroba	6,22	4,17	6,80
Dosis pembenah tanah			
1. 0,0 t/ha	6,06	5,06	6,54
2. 1,0 t/ha	6,34	5,29	6,30
3. 2,5 t/ha	6,38	5,33	6,45
4. 5,0 t/ha	6,64	5,53	7,17

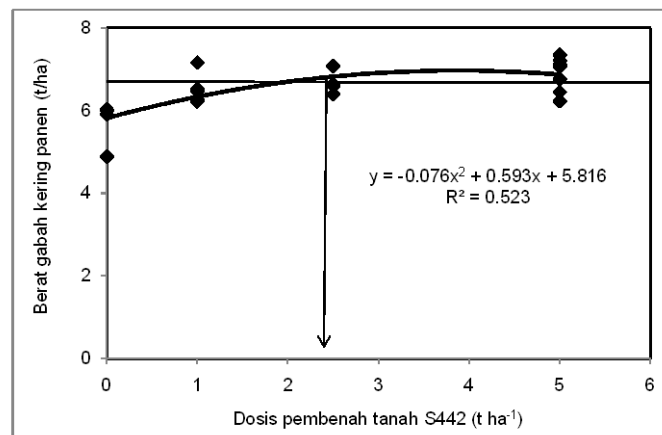
Sumber : Sutono, *et al*, 2012

Dosis pembenah tanah memberikan pengaruh secara nyata terhadap hasil GKP dan GKG varietas padi Inpari 13. Pembenah tanah dengan dosis 1-5 ton/ha pada tanah sawah suboptimal di KP Tamanbogo dapat meningkatkan produktivitas lahan. Dosis optimum untuk pembenah tanah S532 adalah 2,3 t/ha (Gambar 11).

Untuk menghasilkan gabah kering panen sekitar 6,5 t/ha dapat digunakan pembenah tanah S442 dengan dosis sekitar 2,4 t/ha (Gambar 12).



Gambar 12. Dosis pembenah tanah S532 yang optimum untuk padi sawah di KP Tamanbogo



Gambar 13. Dosis pembenah tanah S442 yang optimum untuk padi sawah di KP Tamanbogo

4.2. Penggunaan Pembenah Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Kedelai pada Lahan Kering Masam

Pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis telah dicoba terhadap tanaman kedelai varietas Tanggamus pada Podsolik Merah Kuning (Typic Kanhapludults) di KP. Taman Bogo, Lampung Timur. Percobaan menggunakan rancangan petak terpisah dengan petak utama jenis pembenah tanah K532 dan K424, anak petak pembenah tanah tidak diperkaya (M1) dan diperkaya (M2) dengan mikroorganisme, serta anak-anak petak adalah dosis pembenah tanah 0 ton/ha, 1 ton/ha, 2,5 ton/ha dan 5 ton/ha. Pemberian pembenah tanah K532 dan K424, baik yang diperkaya atau tidak diperkaya dengan mikrob belum mampu memperbaiki sifat fisika tanah. Terlihat bahwa pemberian K532 mempercepat laju permeabilitas walaupun tidak nyata secara statistik (Table 14). Memperbaiki sifat fisika tanah membutuhkan waktu yang lama, sehingga hasil pengamatan selama satu musim tanam belum terlihat pengaruhnya.

Dosis pembenah tanah nyata meningkatkan tinggi tanaman kedelai baik pada umur 6, 8, dan 10 MST. Pemberian pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis dengan dosis 1,0 t/ha nyata meningkatkan tinggi tanaman kedelai dibandingkan tanpa pembenah tanah (0,0 t/ha). Sedangkan pemberian dosis pembenah tanah yang lebih tinggi lagi (2,5 dan 5,0 t/ha) tidak dapat meningkatkan tinggi dibandingkan dosis 1,0 t/ha.

Tabel 14. Sifat fisika tanah pada percobaan penetapan dosis pembenah tanah di KP Tamanbogo

Perlakuan	Bobot isi g cm ⁻³	RPT ----- % volume -----	PDC	PDL	AT	Permeabilitas cm jam ⁻¹
Jenis pembenah tanah						
1. K532	1,36	43,37	17,93	4,94	7,49	17,52
2. K424	1,42	43,22	16,00	5,09	9,15	14,43
Pemberian mikroba						
1. Tidak diperkaya mikroba	1,39	43,28	16,43	5,12	8,32	15,13
2. Diperkaya mikroba	1,39	43,32	17,51	4,91	8,32	16,83
Dosis pembenah tanah						
1. 0 t/ha	1,40	43,02	17,14	5,28	7,32	16,27
2. 1,0 t/ha	1,41	42,11	16,89	4,81	7,02	15,64
3. 2,5 t/ha	1,39	43,76	17,36	5,01	8,84	15,91
4. 5,0 t/ha	1,36	44,30 a	16,48	4,96	10,09	16,09

Sumber : Sutono, *et al*, 2012



Gambar 14. Keragaan tanaman kedelai yang diberi pembenah tanah K532 diperkaya dan tidak diperkaya mikrob di KP Taman Bogo (Foto: S. Sutono, 2012)

Tanah Podsolik Merah Kuning (Typic Kanhapludults). yang digunakan untuk percobaan merupakan tanah masam, kadar C-organik rendah, kadar Al cukup tinggi, dan kadar haranya rendah. Penambahan pembenah tanah K532 dan K424 dapat memperbaiki dan meningkatkan tinggi tanaman kedelai sejak tanaman berumur 6 MST sampai dengan 10 mst (Tabel 15). Kedelai yang tidak mendapat pembenah tanah, pertumbuhannya paling lambat berkembang dan keragaannya paling rendah.

Tabel 15. Pengaruh perlakuan terhadap tinggi tanaman kedelai umur 6 MST dan 10 MST serta jumlah cabang umur 10 MST pada percobaan penetapan dosis pembenah tanah di KP. Taman Bogo, Lampung Timur

Perlakuan	Tinggi tanaman kedelai varietas Tanggamus		Jumlah cabang
	6 MST	10 MST	10 MST
----- cm -----			
Jenis pembenah tanah			
1. K532	36,1	59,6	3,38
2. K424	33,6	53,5	3,29
Pemberian mikroba			
1. Tidak diperkaya mikroba	35,7	57,9	3,72
2. Diperkaya mikroba	33,9	55,2	2,95
Dosis pembenah tanah			
1. 0 t/ha	30,8	47,4	2,68
2. 1,0 t/ha	34,2	55,7	3,31
3. 2,5 t/ha	36,0	60,4	3,65
4. 5,0 t/ha	38,2	62,7	3,71

Sumber : Sutono, *et al*, 2012

Pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis (K532 dan K424) berpengaruh sama terhadap berat kering tanaman dan biji kedelai pada Typic Kanhapludults (Tabel 16). Perbedaan berat kering tanaman dan berat kering biji kedelai pada jenis pembenah tanah K532 dan K424 adalah 21 dan 24%, hasil kedelai pada pemberian pembenah tanah K532 lebih tinggi daripada hasil pada pembenah tanah K424.

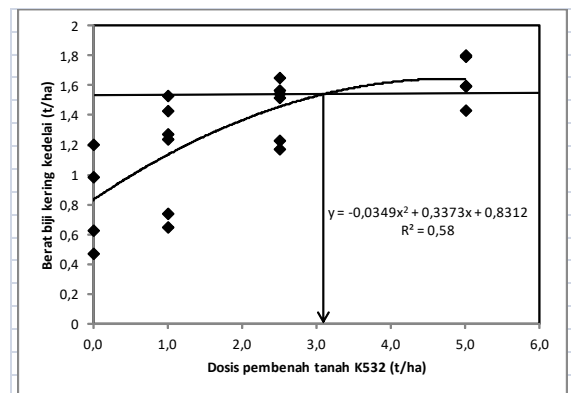
Pemberian pembenah tanah nyata meningkatkan berat kering tanaman dan biji kedelai pada Typic Kanhapludults. Pemberian pembenah tanah dengan dosis 1,0 t/ ha nyata meningkatkan berat kering tanaman dan biji kedelai dibandingkan kontrol (0,0 t/ha), dan tidak berbeda nyata dengan dosis yang lebih tinggi (2,5 dan 5,0 t/ha).

Tabel 16. Pengaruh perlakuan terhadap bobot kering hasil panen tanaman kedelai pada percobaan penetapan dosis pembenah tanah di KP. Taman Bogo

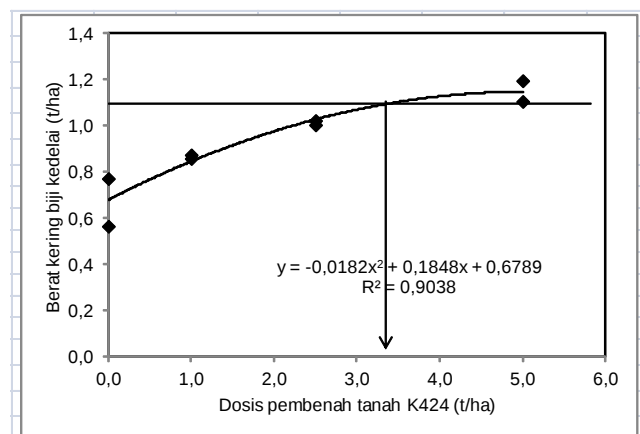
Perlakuan	Bobot kering tanaman	Bobot kering biji kedelai
	----- t/ha -----	
Jenis pembenah tanah		
1. K532	2,53	1,22
2. K424	2,00	0,93
Pemberian mikroba		
1. Tidak diperkaya mikroba	2,23	1,07
2. Diperkaya mikroba	2,22	1,08
Dosis pembenah tanah		
1. 0 t/ha	1,57	0,76
2. 1,0 t/ha	2,16	1,01
3. 2,5 t/ha	2,51	1,23
4. 5,0 t/ha	2,66	1,32

Sumber : Sutono, *et al*, 2012

Berdasarkan turunan persamaan kuadrat diketahui bahwa produksi kedelai maksimum adalah 1,65 t/ha yang dicapai dengan penambahan pembenah tanah sebanyak 4,83 t/ha. Sedangkan berdasarkan Gambar 14 dan 15 diketahui bahwa dosis pembenah tanah K532 optimum adalah 3,1 t/ha.



Gambar 15. Hubungan dosis pembenah tanah K532 dengan berat kering biji kedelai pada Podsolik merah kuning (Typic Kanhapludults) di KP. Taman Bogo.



Gambar 16. Hubungan dosis pembenah tanah K424 dengan berat biji kering kedelai pada Podsolik merah kuning (Typic Kanhapludults) di KP. Taman Bogo.

Berdasarkan perhitungan turunan persamaan dari grafik kuadrat diketahui bahwa hasil kedelai maksimum yang dicapai adalah 1,45 t/ha, dengan dosis pembenah tanah maksimum adalah 5,08 t/ha sedangkan dosis pembenah tanah optimumnya adalah 3,4 t/ha.

4.3. Kemampuan Hidup Mikroba di dalam Kemasan dan Bahan Pembawa berupa Abu Vulkanis

Teknik Pengemasan Pembenh Tanah diperkaya Mikroba

Pengemasan pembenh tanah dilakukan menggunakan kantung plastik yang kedap udara dan menggunakan karung karuna yang tidak kedap udara. Pembenh tanah yang sudah diformulasi dikemas menggunakan kemasan kedap udara beberapa saat setelah formulasi diselesaikan, kemudian disimpan pada suhu kamar di Laboratorium Biologi Tanah.

Jenis kemasan menurunkan populasi mikrob pelarut P sejak 1 minggu setelah pengemasan menggunakan kantung plastik. Jumlahnya yang semula $8,03 \times 10^8$ pada hari pertama turun menjadi 0 cfu setelah 7 hari berada di dalam kemasan yang kedap udara. Pembenh tanah berbahan dasar abuvulkanis yang dikemas menggunakan kemasan kedap udara tidak mampu menjadi bahan pembawa mikrob pelarut P (Tabel 17).

Mikrob *Rhizobium* masih bertahan sampai dengan minggu ke 8 setelah pengemasan dan populasinya masih sangat bagus karena mencapai 10^8 cfu walaupun jumlahnya menurun dari 8,62 pada 1 HSP menjadi 2,29 pada 8 MSP. *Azotobacter* mampu berkembang dengan baik yang semula $3,05 \times 10^8$ cfu menjadi $9,2 \times 10^8$ pada 4 MSP dan $7,04 \times 10^8$ cfu pada 8 MSP. Hal ini menunjukkan bahwa kemasan bahan pembawa mikrob akan menentukan populasi mikrob selanjutnya sampai kepa aplikasi di lapangan.

Pada Gambar 16 tampak bahwa populasi bakteri *Azotobacter* sp, *Rhizobium* sp dan bakteri pelarut fosfat pada pengamatan hingga 6 minggu setelah MST populasinya masih memenuhi standard mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Pertanian No 70/2011 yaitu $\geq 10^7$ CFU/g. Populasi *Rhizobium* sp pada umur 8 MSI sebesar 8,89 log cfu/g, populasi bakteri *Azotobacter* sp 8,81 log cfu/g, sedangkan populasi bakteri pelarut fosfat sebanyak 6,68 log cfu/g (Gambar 16). Dengan masa penyimpanan yang hanya 8 MST (2 bulan), maka pembenh tanah abu vulkanis yang diperkaya mikroba memerlukan pengkayaan bahan lain yang dapat meningkatkan pertumbuhan mikroba dalam pembenh tanah abu vulkanis.

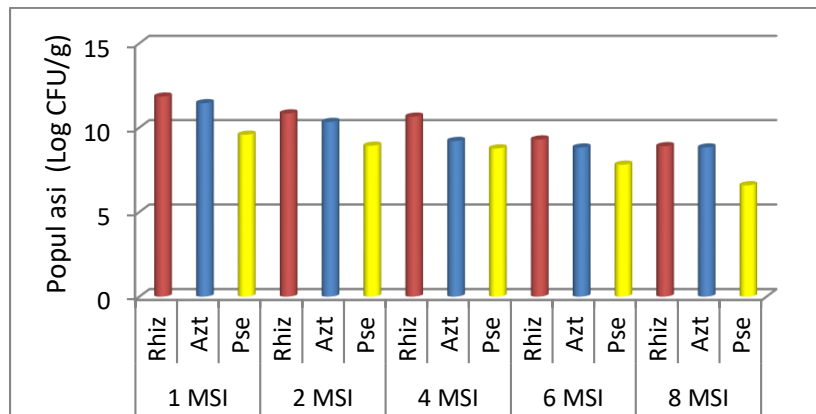
Tabel 17. Populasi mikroba pada kemasan kedap (kantong plastik) dan tidak kedap udara

Mikroba	Populasi pada				
	1 HSP	1 MSP	2 MSP	4 MSP	8 MSP
Kemasan kedap udara					
Azotobacter	$3,05 \times 10^9$	$3,41 \times 10^8$	$3,26 \times 10^7$	$9,2 \times 10^8$	$7,04 \times 10^8$
Rhizobium	$8,62 \times 10^8$	$8,32 \times 10^8$	$9,03 \times 10^7$	$2,8 \times 10^8$	$2,29 \times 10^8$
Pelarut P	$8,03 \times 10^8$	0	0	0	0
Kemasan tidak kedap udara					
Azotobacter	$5,67 \times 10^9$	$1,93 \times 10^7$	$1,96 \times 10^8$	$8,44 \times 10^7$	$2,61 \times 10^8$
Rhizobium	$1,66 \times 10^9$	$1,51 \times 10^7$	$4,10 \times 10^7$	$6,71 \times 10^8$	$3,74 \times 10^8$
Pelarut P	$1,83 \times 10^9$	$2,5 \times 10^7$	$2,86 \times 10^7$	$1,17 \times 10^7$	$2,19 \times 10^7$

Keterangan : Populasi kultur mikroba sebelum diinokulasi pada bahan pembawa (10^9),
HSP = hari setelah pengemasan, MSP = minggu setelah pengemasan

Sumber : Sutono *et al*, 2012

Pada kemasan yang tidak kedap udara, terbuat dari karung karuna yang masih menyisakan pori-pori udara berpengaruh sangat baik terhadap populasi mikroba yang diinokulasikan ke dalam pembenah tanah K532. Azotobacter, Rhizobium, dan Pelarut P masih tetap bertahan sampai dengan minggu ke 8 setelah pengemasan. Pelarut P mempunyai populasi paling rendah pada 8 MSP diikuti oleh Azotobacter dan Rhizobium (Tabel 17).



Gambar 17. Populasi bakteri *Rhizobium* sp, *Azotobacter* sp dan bakteri pelarut fosfat (*Pseudomonas* sp) dalam bahan pembenah tanah abu vulkanis, pada masa penyimpanan 1 MSP – 8 MSP

Hasil ini menunjukkan bahwa kemasan yang baik adalah kemasan yang membiarkan adanya pertukaran udara dari dalam kemasan dengan di luar kemasan agar mikrob dapat hidup dan bahkan berkembang di dalam kemasan. Mikrob membutuhkan oksigen untuk

bertahan hidup dan berkembang pada bahan pembawa berupa pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis.

Daya Adaptasi Mikrob Isolat Merapi dan Bromo dalam Pembenah Tanah Abu Vulkanis

Pada tahun 2011 telah dikumpulkan 53 isolat yang diperoleh dari sekitar G. Merapi 33 isolat dan dari sekitar G Bromo 20 isolat, terdiri dari 16 isolat *Rhizobium* sp, 17 isolat *Azotobacter* sp dan 20 isolat bakteri pelarut fosfat. Isolat tersebut diadaptasikan terhadap pembenah tanah S532 dan K532 untuk menguji apakah mikrob tersebut mampu bertahan di dalam pembenah tanah dan dapat sampai ke lahan pertanian untuk diaplikasikan terhadap tanaman kedelai.

Di dalam uji adaptasi ini ketiga jenis isolat *Rhizobium*, *Azotobacter* dan bakteri pelarut P diberikan ke dalam pembenah tanah S532 dan K532 kemudian diberikan ke dalam pot percobaan dengan dosis 5 ton/ha.

Pemberian pembenah tanah S532 dan K532 baik yang diperkaya mikrob eks Merapi maupun eks Bromo menurunkan bobot isi dan meningkatkan kapasitas air tersedia (Tabel 18). Dosis pembenah tanah sebesar 5 ton/ha menurunkan bobot isi yang relatif kecil. Seperti diketahui bahwa bobot isi abu vulkanis berkisar antara 1,0 – 1,4 g/cm³ tidak jauh berbeda dengan bobot isi tanah yang digunakan. Bobot isi tanah tidak terganggu di KP Taman Bogo berkisar antara 1,3 – 1,5 g/cm³

Salah satu sifat fisika tanah yang penting selain distribusi pori adalah kapasitas air tersedia. Makin tinggi kapasitas air tersedia memungkinkan tanaman kedelai hidup tanpa menderita kekeringan. Oleh karena itu peningkatan kapasitas air tersedia juga diharapkan mampu mendukung pertumbuhan kedelai.

Tabel 18. Bobot isi dan kapasitas air tersedia pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.

Perlakuan	Bobot isi	Air tersedia
		% vol
Tanpa pembenah tanah	1,11	8,38
Pembenah tanah S532 tanpa mikrob	1,09	9,18
Pembenah tanah S532 + mikrob eks Merapi	1,08	9,56
Pembenah tanah S532 + mikrob eks Bromo	1,06	9,36
Pembenah tanah K532 tanpa mikrob	1,07	7,30
Pembenah tanah K532 + mikrob eks Merapi	0,99	9,77
Pembenah tanah K532 + mikrob eks Bromo	1,13	8,64

Sumber: Sutono *et al.*, 2012

Pasca Pemberian Pembenah Tanah

Hasil pengukuran pH dan salinitas terhadap tanah sebelum tanam dan setelah panen disajikan pada Tabel 19. Pada perlakuan S532 dan K532 tidak menunjukkan pH berbeda antara pembenah tanah diperkaya mikrob eks Merapi dan eks Bromo. Namun demikian terdapat penurunan pH tanah hasil pengukuran sebelum tanam dengan setelah panen.

Tabel 19. Rataan pH dan daya hantar listrik pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.

Perlakuan	pH	
	Sebelum tanam	Setelah panen
Tanpa pembenah tanah	5,7	4,4
Pembenah tanah S532 tanpa mikrob	6,0	5,1
Pembenah tanah S532 + mikrob eks Merapi	6,0	4,9
Pembenah tanah S532 + mikrob eks Bromo	5,8	5,0
Pembenah tanah K532 tanpa mikrob	5,7	4,7
Pembenah tanah K532 + mikrob eks Merapi	6,3	5,4
Pembenah tanah K532 + mikrob eks Bromo	6,2	5,4

Keterangan: berdasarkan analisis varian, tidak berbeda nyata pada taraf 5% BNJ.

Sumber: Sutono *et al.*, 2012

Pembenah tanah K532 berpotensi besar untuk dikembangkan, karena mampu mendukung pertumbuhan tinggi kedelai pada lahan kering. Pembenh tanah yang diberi mikrob dari sekitar G. Bromo lebih baik keragaan tanamannya. Mikrob yang berasal dari Bromo lebih memberikan harapan untuk dijadikan pembenh tanah berbahan dasar abu vulkanis dan digunakan untuk lahan kering masam (Tabel 20).



Gambar 18. Keragaan kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca

Tabel 20. Rataan tinggi tanaman dan jumlah cabang kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca.

Perlakuan	Umur 10 MST	
	Tinggi tanaman	Jumlah cabang
Tanpa pembenh tanah	104,7	3,0
Pembenh tanah S532 tanpa mikrob	95,8	3,0
Pembenh tanah S532 + mikrob eks Merapi	90,3	3,7
Pembenh tanah S532 + mikrob eks Bromo	99,8	3,0
Pembenh tanah K532 tanpa mikrob	100,8	4,2
Pembenh tanah K532 + mikrob eks Merapi	95,0	4,3
Pembenh tanah K532 + mikrob eks Bromo	103,7	4,2

Sumber: Sutono *et al.*, 2012

Pembentuk Bintil Akar

Hasil pengamatan disajikan pada Tabel 21. Mikrob eks Bromo yang diinokulasikan pada pembenah tanah S532 dan K532 sedangkan jumlah terbanyak terjadi pada perlakuan K532 sebanyak 4 buah bintil dengan bobot rata-rata 0,26 gram (Tabel 21). Mikrob eks Merapi yang diinokulasikan ke pembenah tanah S532 dan K532 tidak mampu membentuk bintil akar pada tanaman kedelai varietas Tanggamus. Hal ini menunjukkan bahwa adaptasi mikrob eks Bromo lebih baik dibandingkan dengan mikrob eks Merapi.

Mikrob yang dikombinasikan dengan pembenah tanah berbahan dasar abuvulkanis belum mampu meningkatkan jumlah bobot kering biomas baik akar maupun bahan hijau tanaman kedelai. Bobot akar yang ditumbuhi bintil akar tidak lebih tinggi dibandingkan dengan bobot akar pada pot yang diberi pembenah tanah dan tidak ditumbuhi bintil akar.

Tabel 21. Rataan bintil akar tanaman kedelai pada percobaan adaptasi mikrob di rumah kaca

Perlakuan	Bintil akar	
	Jumlah	Bobot basah
		- g/pot -
Tanpa pembenah tanah	0	0
Pembenah tanah S532 tanpa mikrob	1	0,22
Pembenah tanah S532 + mikrob eks Merapi	0	0
Pembenah tanah S532 + mikrob eks Bromo	1	0,24
Pembenah tanah K532 tanpa mikrob	0	0
Pembenah tanah K532 + mikrob eks Merapi	0	0
Pembenah tanah K532 + mikrob eks Bromo	4	0,26

Keterangan: berdasarkan analisis varian, tidak berbeda nyata pada taraf 5% BNJ

Hasil Tanaman Kedelai

Pembenah K532 pada tanah kering yang ditanami kedelai memberikan hasil lebih baik daripada pembenah tanah S532 dan perlakuan tanpa pembenah tanah (Tabel 22)

Pemberian pembenah tanah K532 walaupun tidak diperkaya mikroba memberikan hasil yang paling tinggi sebesar 10,8 g pot⁻¹ diikuti oleh K532 diperkaya mikroba eks Merapi dan diperkaya mikroba eks Bromo (Tabel 22). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian mikroba belum mampu meningkatkan hasil kedelai, walaupun mikroba *Rhizobium sp* mampu hidup pada bahan pembawa sampai dengan 8 MSP tetapi setelah aplikasi tidak mampu mempengaruhi jumlah hasil kedelai yang ditanam dalam pot.

Tabel 22. Rataan hasil panen tanaman kedelai pada percobaan adaptasi mikroba di rumah kaca

Perlakuan	Bobot kering	
	Brangkas	Biji
	----- g/pot -----	
Tanpa pembenah tanah	36,5	6,9
Pembenah tanah S532 tanpa mikroba	26,9	9,7
Pembenah tanah S532 + mikroba eks Merapi	25,1	8,4
Pembenah tanah S532 + mikroba eks Bromo	24,4	9,6
Pembenah tanah K532 tanpa mikroba	26,6	10,8
Pembenah tanah K532 + mikroba eks Merapi	27,4	10,6
Pembenah tanah K532 + mikroba eks Bromo	32,2	10,3

Keterangan: berdasarkan analisis varian, tidak berbeda nyata pada taraf 5% BNJ

V. TEKNIK PRODUKSI DAN APLIKASI PEMBENAH TANAH

5.1. Produksi Pembenh Tanah Skala Rumah Tangga

Peraturan Pemerintah No 20/2005 tentang Alih Teknologi Kekayaan Intelektual serta Hasil kegiatan Penelitian dan Pengembangan oleh Perguruan Tinggi dan Lembaga Penelitian dan Pengembangan, Pasal 2, mengamanatkan bahwa Lembaga Litbang wajib mengusahakan alih teknologi kekayaan intelektual yang dibiayai sepenuhnya atau sebagian oleh Pemerintah/Pemda. Alih teknologi tersebut dilaksanakan kepada Pemerintah, Pemda, Badan Usaha dan/atau masyarakat.

Abu vulkanis dengan reaksi (pH) masam, kurang bagus untuk dijadikan pembenh tanah. Abu vulkanis dengan pH netral atau basa sangat baik untuk dijadikan pembenh misalnya abu vulkanis yang berasal dari erupsi G. Merapi di perbatasan Jawa Tengah dengan Daerah Istimewa Yogyakarta.

Abu vulkanis sangat berlimpah pasca erupsi G. Merapi. Abu vulkanis yang menutupi seluruh permukaan (tanah pertanian, atap rumah, dan jalan raya) dikumpulkan pada suatu tempat terlindungi dari gelontoran air agar tidak hanyut. Kesempatan mengumpulkan ini pun sangat terbatas, yaitu ketika abu vulkanis belum diguyur air hujan atau sengaja diguyur air ledeng agar semua permukaan tanah, atap, dan jalan bersih. Jika kesempatan itu tidak dimanfaatkan maka pengumpulan abu vulkanis akan sia-sia. Inilah yang disebut petaka membawa berkah.

Abu vulkanis yang telah terkumpul dapat dijadikan pembenh tanah yang diproduksi dalam skala rumah tangga. Produsen bisa skala rumah tangga, tetapi pemasarannya hendaknya dibantu sepenuhnya oleh pemerintah daerah setempat. Jika diperlukan pemerintah daerah dapat membeli produk pembenh tanah yang dibuat petani di daerah bencana untuk dijual atau dibagikan ke daerah lain yang membutuhkan.

Jika kegiatan tersebut berjalan dengan baik, maka hasil penjualan pembenh tanah dapat menggantikan penghasilan yang biasanya diperoleh dari hasil pertanian.

5.2. Teknik Produksi Pembenh Tanah

Bahan pembuat pembenh tanah adalah abu vulkanis, kotoran hewan, kompos sisa tanaman, dan jika diperlukan fosfat alam. Jika kandungan fosfat dan kalsium di dalam abu vulkanis cukup tinggi mungkin fosfat alam atau dolomit tidak diperlukan. Fungsi kotoran hewan dan kompos bahan organik lainnya agar pembenh tanah mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Cara pembuatan sebaagai berikut:

1. Abu vulkanis segera dikumpulkan pasca erupsi gunung berapi. Abu vulkanis tersebut biasanya mempunyai besar butir yang beragam, sehingga perlu diayak agar mempunyai besar butir yang seragam. Makin halus besar butir makin baik untuk memudahkan dekomposisi abu vulkanis secara mekanis. Bahan ini dapat disimpan dengan baik agar tidak terbawa aliran limpasan masuk ke dalam badan sungai atau aliran air permukaannya lainnya.
2. Membuat kompos dari bahan kotoran hewan, sisa tanaman atau produk lainnya. Kompos yang sudah matang dihaluskan dan diayak agar mempunyai ukuran butir yang sama dengan abu vulkanis.
3. Ukuran besar butir yang seragam antara abu vulkanis dengan kompos atau kotoran hewan dimaksudkan agar setelah mencampurkan kedua bahan tersebut diperoleh campuran yang homogen.
4. Campurkan abu vulkanis dengan kompos atau kotoran hewn yang telah dihaluskan dengan formulasi sesuai keinginan, misalnya 1:1, 1:2, atau 1:4; ditambah bahan lain sesuai ketersediaan bahan masing-masing dan tujuan dari pembuatan pembenh tanah tersebut. Jika akan digunakan pada lahan kering yang kandungan bahan organiknya rendah maka persentase kompos atau kotoran hewan lebih tinggi.
5. Campuran bahan abu vulkanis dengan kotoran hewan atau kompos (poin 4) dapat dicampur dengan bahan-bahan berupa fosfat alam, zeolit, serbuk batuan feldspar atau lainnya.
6. Setelah semua bahan tercampur merata, semprotkan isolat mikroba yang tersedia sesuai dengan maksud pembuatan

pembenah tanah. Isolat tersebut dapat berupa mikroba fungsional yang kompatibel dengan pembenah tanah yang akan dibuat.



Gambar 19. Teknik pemberian isolat mikroba ke dalam campuran bahan pembenah tanah (Foto: S. Sutono 2012)

7. Ketika menyemprotkan isolat mikroba hendaknya tidak dilakukan di bawah sinar matahari agar mikroba tidak mati karena terjemur.
8. Setelah semua tercampur sempurna, maka pembenah tanah dapat dimasukkan ke dalam kemasan sesuai dengan kebutuhan. Jika kemasan hendak disimpan lama maka pembungkus jangan kedap udara.
9. Pembenah tanah yang sudah terkemas dengan baik dapat didistribusikan ke calon pengguna. Akan lebih baik jika dalam distribusinya tidak sampai kehujanan.
10. Pembenah tanah berbahan dasar abu vulkanis tidak harus dicampur dengan isolat mikroba.

5.3. Teknik Aplikasi pada Lahan Pertanian

Beberapa cara dapat dipilih dalam mengaplikasikan pembenah tanah abu vulkanis ke lahan pertanian, (1) disebar secara merata, (2) dilarik dalam calon barisan tanaman, dan (3) dibenam ke lubang tanam. Pemilihan cara aplikasi tersebut hendaknya disesuaikan dengan kondisi lahan, ketersediaan tenaga kerja, jenis tanaman, dan jarak tanam.

Disebar secara merata di permukaan tanah

- Pembenh tanah abu vulkanis dapat disebar dipermukaan tanah secara merata sebelum pengolahan tanah tanah terakhir menjelang tanam.
- Pembenh tanah dibenamkan (Gambar 20) ke dalam tanah sambil meratakan tanah sebelum dilakukan penanaman. Pencampuran dengan tanah diperlukan agar pembenh tanah abu vulkanis berada di dalam lapisan perakaran sehingga terjadi interaksi dengan tanah dan terhindar dari kehilangan akibat aliran air ketika hujan atau angin.



Gambar 20. Teknik penyebaran dan pembedaman pembenh tanah
(Foto: S. Sutono 2012)

- Biarkan lahan selama 1-2 minggu, kemudian lakukan penanaman sesuai dengan jarak tanam baku.
- Penyebaran pembenh tanah dapat dilakukan pada lahan kering maupun lahan sawah. Pada lahan sawah, penyebaran dilakukan ketika akan tanam untuk kemudian dibenamkan menggunakan garu dan muka air jangan lebih tinggi dari 20 mm. Saluran pengeluaran harus tertutup dan air tidak mengalir ke petakan lainnya.
- Penyebar-rataan pembenh tanah di dalam lapisan olah mempunyai risiko hilang atau berpindah ke petakan sawah lainnya, terangkut aliran air permukaan pada saat hujan.
-

Penyebaran di dalam larikan barisan tanaman

- Tetapkan jarak tanam antar dan di dalam barisan tanaman, misalnya 20 cm 40 cm. Larikan dibuat dengan jarak 40 cm dan dalamnya sekitar 15 cm, larikan ini akan menjadi barisan tanaman.
- Pembenh tanah disebarkan merata dalam larikan kemudian ditutup dengan tanah, gunakan ajir sebagai tanda jarak antar barisan tanaman (Gambar 21). Biarkan selama 1 – 2 minggu.



Gambar 21. Penyerbaran pembenh tanah di dalam barisan tanaman
(Foto: S. Sutono 2012)

- Buat lubang tanam ditugalkan dengan jarak 20 cm, kemudian benih tanaman dimasukkan ke dalam lubang tanam dan ditutup dengan tanah.
- Penyebaran di dalam larikan barisan tanaman akan menjamin pembenh tanah berada di dalam lapisan olah dan tidak mudah hanyut oleh aliran air limpasan (*run off*).
- Keuntungan penggunaan pembenh tanah dengan cara dibanamkan dalam barisan tanaman adalah pembenh tanah tidak mudah hanyut. Kerugiannya membutuhkan biaya tenaga kerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan cara penyebar-rataan di permukaan tanah.

Pemberian langsung ke dalam lubang tanam

- Buatlah lubang tanam sesuai jenis tanaman yang akan diusahakan, ukuran lubang tanam lebar x panjang x dalam masing-masing satu cangkul (20 cm).

- Masukkan pembenah tanah ke dalam lubang tanam, lalu ditutup dengan tanah, tandai dengan ajir untuk memudahkan pembuatan lubang tanam.
- Penanaman dilakukan dengan cara ditugalkan di dalam lubang tanam sesuai dengan jarak yang telah ditentukan. Masukkan benih ke dalam lubang tanam kemudian ditutup kembali.
- Keuntungan cara ini adalah pembenah tanah berada langsung di dalam daerah perakaran tanaman, sehingga tanaman akan langsung memanfaatkan hara yang terdapat di dalam lubang tanam. Kerugiannya memerlukan biaya tenaga kerja cukup banyak.



Gambar 22. Model cara aplikasi pembenah tanah di dalam lubang tanam (Foto Sutono 2016)

Untuk memudahkan pekerjaan, pemberian pembenah tanah pada model penyebaran di dalam larikan barisan tanaman dan ke dalam lubang tanam dapat langsung ditanami. Lubang tanam yang telah disebari pembenah tanah abu vulkanis dapat langsung ditugal untuk menanam benih.

PENUTUP

Buku ini disusun sebagai salah satu sarana dalam rangka pengembangan inovasi teknologi Badan Litbang Pertanian untuk berbagai kalangan yang bergerak di bidang pertanian, dalam rangka peningkatan kesuburan tanah terdegradasi dengan pemanfaatan sumberdaya yang ada di sekitar kita. Khususnya dalam pemanfaatan abu vulkanis menjadi pembenah tanah untuk memperbaiki lahan yang terdegradasi dan peningkatan kesuburan tanah.

Sebagian material erupsi gunung api menyebabkan kerusakan lahan sehingga sulit untuk dipulihkan menjadi lahan usahatani produktif dalam waktu singkat, tetapi sebagian lagi memberikan berkah karena menambah mineral mudah lapuk yang banyak mengandung unsur bermanfaat bagi tanaman.

Abu vulkanis sangat potensial sebagai pembenah tanah, mengingat ketersediaannya pada saat tertentu sangat besar walaupun sering dimaknai sebagai sumber bencana. Nilai lebih pemanfaatannya terletak pada percepatan pemulihan kegiatan ekonomi masyarakat pasca erupsi gunung berapi. Abu vulkanis yang mempunyai reaksi tidak masam dapat digunakan sebagai pembenah tanah tanpa harus merusak lingkungan.

Namun demikian, dalam mengerjakan pembuatan pembenah tanah dengan bahan dasar abu vulkanis harus memperhatikan keamanan diri agar tidak terjadi hal-hal yang merugikan pembuatnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anda, M. 2011. Mineralogy, elemental composition, and soluble salt of volcanic material eruption: Their management for soil amendment and nutrient sources. *Jurnal Tanah Indonesia* 2: 1-10.
- Anda, M., and M. Sarwani. 2012. Mineralogy, chemical composition, and dissolution of fresh ash eruption: New potential source of nutrients. *Soil Sci.Soc.Am. J.* 76: (in press).
- Anda, M., A. Kasno, dan M. Sarwani. 2012. Sifat dan khasiat material letusan Gunung Merapi untuk perbaikan tanah pertanian. Halaman 87-96 dalam M. Noor, Mamat H.S., dan M. Sarwani (Eds) *Kajian Cepat Dampak Erupsi Gunung Merapi 2010 terhadap Sumberdaya Lahan Pertanian dan Inovasi Rehabilitasinya*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Anda, M., E. Suryani, S. Widati, dan U. Kurnia. 2008. Preservation of organic matter as affected by various clay contents in an Acid Soil: beneficial impact on groundnut yield. *J. Tanah dan Iklim* No. 27. BB Litbang SDLP. Bogor.
- Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. pp. 333-349 *In*. John Wiley and Sons. New York. pp. 333-349.
- Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. 2010. Peta potensi penghematan pupuk anorganik dan pengembangan pupuk organik pada lahan sawah di Indonesia.
- Basyarudin. 1982. Penelaahan serapan dan pelepasan fosfat dalam hubungannya dengan kebutuhan tanaman jagung (*Zea mays L.*) padatanah ultisol dan andisol. Tesis. Fakultas pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- Goenadi, D. H., R. Saraswati, dan Y. Lestari. 1993. Kemampuan melarutkan fosfat dari beberapa isolat bakteri asal tanah dan pupuk kandang sapi. *Menara Perkebunan* 61(2): 44-49.
- Goenadi, D. H., dan R. Saraswati. 1993. Kemampuan melarutkan fosfat dari beberapa isolat fungi pelarut fosfat. *Menara Perkebunan* 61(3): 61-66.
- <http://www.kompas.com> tanggal 18 November 2010
- <http://saribahari/files.wordpress.com/2010/11/volcanic-ash-large-4-26-10.gif>.

- Illmer, P. and F. Schinner. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 24: 389-395.
- Kadarsetia, E., S. Primulyana, P. Sitinjak, dan U.B. Saing. 2006. Karakteristik kimiawi air danau kawah Gunung Api Kelud, Jawa Timur pasca letusan tahun 1990. *J. Geologi Indonesia*, Vol. 1 No. 4 Desember 2006: 185-192.
- Kasno, A., Diah Setyorini, dan Nurjaya. 2003. Status C-organik lahan sawah di Indonesia. *Pros. HITI*, Padang
- Muljadi, D., dan M. Soeprtohardjo. 1975. Masalah Data Luas dan Penyebaran Tanah-Tanah Kritis. Simposium Pencegahan dan Pemulihan Tanah Kritis dalam Rangka Pengembangan Wilayah. Jakarta, 1975.
- Nugroho, K., Wahyunto, dan M. Sarwani, 2012. Identifikasi lapang dan analisis citra dampak erupsi gunung Merapi terhadap sumber daya lahan pertanian. Pelaksanaan Kajian cepat Dampak Erupsi Gunung Merapi (2012). Ed M. Noor, Mamat HS, M. Sarwani. Badan Litbang Pertanian.
- Peraturan Menteri Pertanian No. 70/Permentan/SR.140/10/2011. Tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan Pembenah Tanah.
- Robock, Alan. 2002. The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change, pp 738–744 in *Volcanic Eruptions Volume 1*, (Ed. MacCracken, M.C. and J.S. Perry, Editor-in-Chief Ted Munn) *Encyclopedia of Global Environmental Change*. (ISBN 0-471-97796-9). John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
- Soerianegara, I. 1977. Pengelolaan Sumberdaya Alam. Bahan Kuliah Sekolah Pasca Sarjana IPB. Buku I.
- Sudjadi, M. 1984. Masalah kesuburan tanah Ultisols dan kemungkinan pemecahannya, Hal. 3-10 *dalam* *Proceeding Pertemuan Teknis Penelitian Pola Usahatani Menunjang Transmigrasi*. Cisarua, 27-29 Pebruari 1984. Departemen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sunkin T and Siebert, L. 1994. *Volcanoes of the World*. Second edition Geoscience Press. Inc. Tucson. Arizona. 349 pp. ISBN 0-945005-12-1

- Suriadikarta, D.A., dan A. Abdurachman. 1999. Penelitian Teknologi Reklamasi untuk Meningkatkan Produktivitas Tanah Sulfat Masam potensial. Pro. Temu Pakar dan Lokakarya Nasional Desiminasi Optimasi Pemanfaatan Sumber Daya Lahan Rawa, jakarta 23-26 Nopember 1999.
- 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, Jl. H. Ir. Juanda 98, Bogor
- Sutono, S dan Abdurachman. 1997. Pemanfaatan soil conditioer dalam upaya rehabilitasi lahan terdegradasi. hlm. 107-122 *dalam* Prociding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Makalah Review. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Sutono, S dan F. Agus, 1998. Pengaruh pembenah tanah terhadap hasil kedelai di Cibugel, Sumedang. hlm. 379-386. *dalam* Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan. Cisarua-Bogor, 9-11 Februari 1999.
- Sutono, S, U. Kurnia, D.A. Suriadikarta, A. Abas, 2011. Pemanfaatan abuvulkanis untuk meningkatkan produktivitas lahan suboptimal. Laporan Akhir Penelitian. (belum dipublikasikan)
- Sutono, S, J. Purwani, J. Purnomo, 2012. Pemanfaatan abu vulkanis untuk peningkatan produktivitas lahan suboptimal. Laporan Akhir Penelitian (belum dipublikasikan)
- Sutono, S dan U. Kurnia. Baku mutu tanah pada lahan terdegradasi di Daerah Aliran Sungai Citanduy, Provinsi Jawa Barat. Jurnal Tanah dan Iklim No. 36.
- Wilson, T.; Kaye, G., Stewart, C. and Cole, J. 2007. Impacts of the 2006 eruption of Merapi volcano, Indonesia, on agriculture and infrastructure. *GNS Science Report* 2007/07 69p
- Widjaja-Adhi, I.P.G., K. Nugroho, Didi A.S. dan A.S. Karama. 1992. Sumberdaya lahan pasang surut, rawa dan pantai: Potensi, keterbatasan, dan pemanfaatan. Halaman Dalam Partohardjono S dan M. Syam (Eds.) Pengembangan terpadu pertanian lahan rawa pasang surut dan lebak. Makalah utama. Risalah Pertemuan Nasional Pengembangan Lahan Pasang Surut dan Rawa. Cisarua, 3 – 4 Maret 1992. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor