

SIFAT THERMAL TANAH PASIRAN PANTAI DENGAN PEMBERIAN BAHAN PENGKONDISI TANAH DAN BIOMIKRO PADA BUDIDAYA TANAMAN CABAI (*Capsicum Annuum*, L)

*Thermal Properties of Coastal Sandy Soil by Giving Soil Conditioners and Biomicro at Cultivation of Red Chilli Peppers (*Capsicum Annum*, L)*

Tri Sudyastuti¹ dan Nurdi Setyawan²

ABSTRAK

Kajian sifat thermal tanah penting dilakukan untuk mendapatkan kondisi yang menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman. Sifat thermal tanah tersebut meliputi kapasitas kalor volumetrik, difusitas thermal, konduktivitas thermal, fluks kalor dan laju pindah kalor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat thermal tanah pasiran pantai dengan pemberian bahan pengkondisi tanah dan biomikro. Perlakuan irigasi yang diberikan adalah irigasi gembor dan irigasi bawah permukaan sedangkan bahan pengkondisi tanah yaitu jerami, biokompos dan daun clereside yang semuanya dicampur dengan biomikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan irigasi dan penambahan bahan pengkondisi tanah berpengaruh terhadap sifat thermal tanah dan juga diperoleh suatu model fluktuasi temperatur tanah pada tiap kedalaman dalam suatu harmonisasi sinusoidal sebagai fungsi waktu.

Kata kunci: *Thermal tanah, tanah pasiran, bahan pengkondisi tanah, biomikro dan irigasi.*

ABSTRACT

*Study properties of sandy soil is important to be done to gain the good condition for growing plants. The characteristics of thermal are volumetric heat capacity of soils (C_v), thermal diffusivity of soils (D_p), thermal conductivity of soils (K_p) and heat flux (qh), as well as transmission of heat transfer (Q_p). The objective of the research was to study thermal properties of sandy soil at coastal area by giving biomicro and soil conditioners. Treatments of irrigation used in the research were: Gembor irrigation (by using watering can) (A0) and sub surface irrigation (A1), soil conditioners used were straw (B0), 10 ton/ha of biocompost (B1), 20 ton/ha of biocompost (B2) and clerecide leaves (B3); all of those treatments were mixed with biomicro (C). The plants of chili pepper were planted in the coastal area at Kulon Progo, Yogyakarta. The results of the research showed that the treatments of irrigation and addition of soil conditioners were not significant to the alteration of soil thermal properties; heat flux (qh) influenced the production of chili pepper (*Capsicum Annum*, L); and utilizing 20 ton/ha of biocompost resulted favorable environment.*

Keywords : *soil thermal properties, coastal sandy soil, soil conditioners, biomicro, irrigation.*

PENDAHULUAN

Tanah pasiran lahan pantai sudah banyak dimanfaatkan oleh petani untuk areal budidaya pertanian. Namun sebagai lahan marginal lahan pantai mempunyai banyak kendala

sehingga tidak mudah dimanfaatkan sebagai media tempat budidaya pertanian; keterbatasan tersebut antara lain sifat fisik, kimia dan biologis tanahnya. Lahan pasir pantai umumnya miskin unsur hara, memiliki laju infiltrasi cepat, tekstur tanah yang pasiran, butir-butir tanahnya lepas-lepas dan berbutir

¹ Staf pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian UGM. Jl. Sosio Yustisia, Yogyakarta 55281.

² Alumni Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian UGM. Jl. Sosio Yustisia, Yogyakarta 55281.

tunggal serta kemampuan menahan air yang rendah dan kesuburan kimia yang rendah dan suhu tanah yang tinggi. (Darmawijaya, 1997; Gustafon, 1962; Wambeke, 1992).

Menurut Darmawijaya (1997), tanah pasiran di daerah penelitian termasuk tanah regosol bukit pasir. Jenis tanah regosol umumnya belum jelas membentuk diferensiasi horizon, meskipun pada tanah regosol tua sudah mulai terbentuk horizon A1 lemah berwarna kelabu. Tanah jenis ini umumnya bertekstur kasar, dan mudah diolah dengan gaya menahan air rendah dan permeabilitasnya kurang baik. Buckman dan Brady (1982), Hansen (1986) mengemukakan bahwa tanah pasiran meliputi semua jenis tanah yang mengandung pasir 70 % atau lebih dari berat tanah tersebut. Untuk membedakan dengan fraksi lain, butir-butir pasir terasa kasar pada jari tangan dan dapat dibedakan tanpa kesukaran dengan mata telanjang. Menurut strukturnya maka tanah pasiran termasuk ke dalam tanah berbutir tunggal yang diikat oleh sedikit debu dan lempung serta bahan organik sehingga merupakan tanah berstruktur lemah. Tanah pasiran memiliki porositas total yang rendah. Hal ini karena tanah pasiran butiran-butiran tanahnya berukuran relatif besar, meskipun antara butiran-butiran tanahnya tidak terikat secara kuat; dan merupakan tanah yang didominasi oleh ruang pori makro, sehingga meskipun jumlah ruang pori total rendah namun bersifat mudah meloloskan air baik dalam bentuk perkolasi maupun kehilangan air dengan jalan evaporasi.

Buckman dan Brady (1982), Hillel (1981), Hanks dan Arshoft (1980) serta Islami dan Utomo (1995), menyatakan bahwa tanah pasiran didominasi oleh pori-pori makro sehingga air yang jatuh ke tanah pasiran akan segera mengalami perkolasi dan air kapiler akan mudah lepas karena evaporasi. Laju evaporasi ini sangat penting kaitannya dengan penghematan lengas tanah, sehingga penekanan laju evaporasi pada tanah pasiran akan menghemat lengas yang disimpannya. Laju evaporasi disamping dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan setempat juga oleh transmisivitas tanah dan lengas tersedia di dalam tanah.

Pemberian biokompos atau bahan organik ke dalam tanah dapat menekan laju evaporasi lengas tanah (El-Aswad and Groenevelt, 1985). Menurut Wibisono dan Fuady (2000) maka penambahan biomikro yang merupakan pupuk hayati yang dihasilkan melalui pengembangan bioteknologi terapan dengan memanfaatkan berbagai jenis mikroba alami akan bermanfaat sebagai inokulum dan konsep pengkayaan nutrisi. Nutrien yang terdapat dalam sebagian besar terdiri dari gugus gula sederhana dan protein dengan reaksi lanjutan berupa asam amino, asam organik lanjutan, vitamin, hormon, unsur makro dan mikro yang kesemuanya bersifat alami atau organik dan ramah lingkungan. Hakim (1986) menyatakan bahwa pembuatan kompos merupakan proses dekomposisi sisa-sisa tanaman, sisa-sisa hasil pertanian, kotoran ternak, urin

ternak atau sisa makanan ternak. Berdasarkan penelitian disebutkan bahwa penyebaran jerami sebanyak 6 ton/ha dapat mengawetkan lengas tanah sedalam 180 cm dalam profil tanah atau mengawetkan lengas tanah 16 % lebih besar daripada tanah tidak bermulsa. Sedangkan Greb et al. (1970) menyatakan bahwa laju evaporasi dapat ditekan dengan cara menambahkan mulsa jerami sebanyak 6720 kg/ha di atas permukaan tanah, sehingga cadangan lengas bisa dinaikkan hingga 36 % dari lengas tersedia. Salah satu indikator yang dapat diukur secara langsung yang berkaitan dengan gerakan lengas tanah adalah variasi kandungan air dalam profil tanah. Sedangkan penambahan bahan organik ke dalam tanah akan berpengaruh terhadap perubahan struktur tanah, peningkatan porositas tanah, peningkatan kemampuan mengikat air dan permeabilitas tanah. Bahan organik yang telah terurai, apabila ditambahkan pada tanah pasiran akan membuat ruang pori tanah yang bersangkutan mengecil sedemikian rupa sehingga kemungkinan tanah tersebut mengikat lengas yang berada di antara butiran tanah dapat ditahan oleh gaya kapiler dalam system tanah tersebut dan gaya gravitasi dapat berkurang pengaruhnya, sehingga lengas tidak bergerak terus ke bawah. Jadi penambahan bahan organik pada tanah pasiran secara teoritis dapat menaikkan daya ikat lengas dan juga daya simpan lengas pada tanah tersebut. Dinyatakan bahwa semakin tinggi kandungan bahan organik maka air yang bisa diikat juga akan semakin tinggi dan kemampuan menyediakan air tanah juga lebih banyak. Kandungan air mempengaruhi penguraian panas di dalam tanah lewat pengaruhnya terhadap penghantaran panas, kapasitas panas dan difusitas panas, maka secara tidak langsung penambahan bahan organik akan mempengaruhi kondisi thermal tanah..

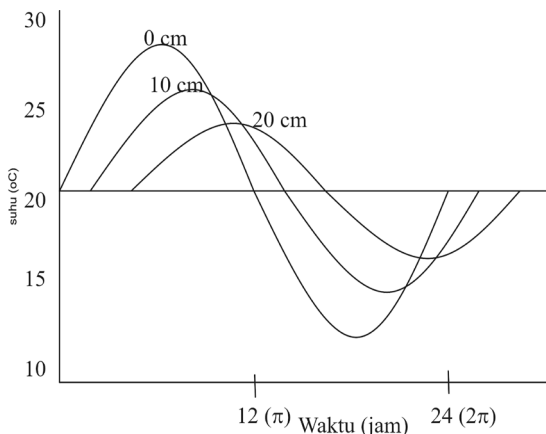
Buckman dan Brady: (1982), Hillel (1998) menyatakan bahwa pindah panas dari tanah ke air lebih mudah kira-kira 150 kali disbanding dari tanah ke udara. Jika kandungan air dalam tanah bertambah, udara tanah akan berkurang sehingga penahanan terhadap konduksi atau penghantaran panas akan menjadi rendah. Pada tanah pasiran umumnya dengan kandungan bahan organik yang sangat rendah maka suhu tanahnya sangat tinggi. Suhu tinggi pada tanah pasiran disebabkan oleh rendahnya kandungan air tanah yang menyebabkan penahanan terhadap konduksi panas oleh udara dalam pori-pori tanah menjadi besar.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka telah dilakukan upaya-upaya untuk perbaikan kondisi tanah pasiran, diantaranya berupa penambahan pengkondisi tanah berupa biomikro dan biokompos dengan maksud untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat thermal tanah pasiran. Hillel (1998) mengemukakan bahwa kapasitas panas volumetrik kuarsa adalah $0,48 \text{ kg/m}^3$, dengan konduktivitas panas sebesar $21 \text{ mkal/cm}^2 \text{ det } ^\circ\text{K}$, sedangkan kapasitas panas volumetrik bahan organik $0,6 \text{ kg/m}^3$ dan konduktivitas panas sebesar $0,6 \text{ mkal/}$

cm/det °K. Dengan bertambahnya kandungan bahan organik diharapkan kondisi tanah pasiran akan menjadi lebih kondusif untuk terjadinya proses pindah panas dalam tanah yang baik bagi berbagai proses fisik, kimia dan biologi dalam tanah.. Proses fisik tanah diantaranya adalah pertukaran energi dan masa dengan atmosfer termasuk evaporasi dan aerasi. Suhu tanah juga menentukan tipe dan laju reaksi kimia yang terjadi dalam tanah. Akhirnya suhu tanah sangat mempengaruhi proses biologi, seperti perkecambahan biji, pertumbuhan dan perkembangan benih, perkembangan akr dan aktivitas mikrobia. Dengan adanya perbaikan sifat fisik tanah pasiran maka harapan akan pemanfaatan lahan pasiran pantai yang lebih luas akan terbuka dimasa depan.

Perubahan suhu tanah semakin kecil dengan bertambahnya kedalaman. Dalam Hillel (1998) disebutkan bahwa lapisan tanah yang lebih dalam memiliki fluktuasi harian yang lebih kecil dibandingkan dengan fluktuasi suhu pada permukaan.

Untuk menjelaskan variasi suhu tanah terhadap waktu disajikan grafik hubungan waktu dan suhu tanah (Gambar 1). Pola seperti pada Gambar 1 merupakan suatu pendekatan secara empirik. Menurut Hillel (1998).



Gambar 1. Relationships between soil temperature and time (Sumber Hillel, D, 1998)

Fluktuasi suhu tanah terhadap waktu dan ruang bisa dinyatakan sebagai fungsi sinus sebagai berikut:

$$T(z,t) = T_r A_z \sin [\omega t + \phi z] \dots \dots \dots (1)$$

dimana z = kedalaman tanah (cm); t = waktu (s); T_r = suhu tanah rata-rata (°C); A_z = amplitudo pada kedalaman z ; ω = frekuensi radial; ϕ = beda fase

Fungsi sinus umumnya digunakan untuk melukiskan suatu keadaan yang harmonis dan teratur polanya. Untuk fluktuasi suhu tanah harian, fungsi sinus ini memiliki arti bahwa suhu tanah meningkat selama dari pagi hingga siang

hari dan mencapai puncaknya beberapa jam setelah siang hari dan kemudian kembali menurun hingga puncak suhu terendah di malam hari. Radiasi matahari tidak terjadi setelah matahari terbenam, sehingga penurunan suhu pada malam hari berlangsung dengan cepat. Setelah mencapai puncak suhu terendah, maka suhu tanah akan mulai bergerak meningkat lagi seiring dengan dimulainya matahari menyinari tanah tersebut. Proses yang demikian ini terjadi berulang-ulang, sehingga dapat digambarkan dalam suatu pola matematis yaitu pola fungsi sinus.

Tanaman memiliki berbagai variasi yang berbeda untuk suhu tanah yang optimal bagi pertumbuhan dan masing-masing fase pertumbuhan. Sebagai contoh, proses perkecambahan jagung berjalan dengan baik pada suhu tanah sekitar 45-50 °F. Menjelang proses panen, suhu tanah optimal tanaman jagung sekitar 80-85 °F. Nilai-nilai suhu tanah ini berbeda dengan jelas saat kondisi lingkungannya juga berbeda, seperti kondisi suhu udara dan kandungan lengas tanahnya.

Beberapa sifat fisik tanah yakni kapasitas (volumetrik) panas (C_v), konduktivitas thermal (K_r) dan diffusivitas thermal (D_r) secara bersama oleh Hillel (1983) disebut sebagai sifat thermal tanah. Ketiga sifat tanah tersebut berpengaruh terhadap transfer panas dan dinamika lengas dari dan ke dalam tanah. Evaporasi yang merupakan proses transfer massa air dari dalam tanah ke atmosfer sangat dipengaruhi oleh faktor internal tanah terutama oleh ketiga sifat tanah tersebut. Sedangkan pasok eksternalnya adalah PASOK energi ke permukaan tanah dan kedalaman tubuh tanah serta kelembaban relatif di atas muka tanah yang menyebabkan perubahan pada suhu tanah (Hanks dan G.L Archoft, 1983 dalam Mawardi, 2003).

Suhu tanah berkaitan dengan penyerapan radiasi matahari oleh tanah. Penyerapan radiasi itu sendiri bergantung kepada kandungan air di dalam tanah. Baver, VonSchwarz, dan Wagner (1956) dalam Hillel (1998) mengemukakan bahwa pengaruh kandungan lengas tanah yang pernah mereka teliti terhadap nilai konduktivitas thermal tanah adalah sebanding. Nilai tersebut meningkat dengan peningkatan besarnya kandungan lengas tanah. Kandungan lengas tanah selalu bervariasi untuk setiap waktu, karena lengas tanah ini selalu digunakan oleh tanaman untuk menunjang aktivitas kehidupannya. Selain oleh tanaman, lengas tanah juga dipergunakan oleh tanah untuk melembabkan tanah itu sendiri sehingga saat kadar lengas tanah menurun, maka tanah akan kering dan suhunya tinggi. Sebaliknya, saat kandungan lengas tinggi, maka tanah akan terbasahi dan suhunya akan turun. Beberapa penelitian lain mengenai perubahan suhu tanah yang pernah dilakukan oleh Gupta dkk. (1983) yang ditulis dalam Mohanty dkk. (1995) menyatakan bahwa suhu tanah dapat berubah secara signifikan dikarenakan oleh manipulasi pada permukaan tanah. Potter dkk. (1985) dalam Mohanty dkk. (1995) juga

menulis bahwa suhu tanah dapat berubah karena pengolahan tanah.

Pada umumnya, suhu tanah rata-rata lebih besar daripada suhu atmosfer sekelilingnya. Hal ini disebabkan oleh penyimpanan panas di dalam tanah lebih lama daripada di udara. Karena penjalaran panas ke dalam tanah memerlukan waktu, maka suhu tanah pada setiap kedalaman yang lebih dalam mengalami keterlambatan. Distribusi suhu di dalam tanah bergantung pada beberapa faktor, diantaranya konduktivitas thermal, kapasitas panas volumetrik, dan warna tanah (Tjasjono, 1999)

Menurut Hillel (1998), nilai Cv dapat ditentukan berdasarkan atas perbandingan volumetris partikel tanah, air dan udara :

$$C_v = \Sigma (f_s C_s + f_w C_w + f_a C_a) \dots\dots\dots(2)$$

dimana , $C_s = \rho_s \cdot C_{ms}$; $C_a = \rho_a \cdot C_{ma}$; $C_w = \rho_w \cdot C_{mw}$
Rumus (2) dapat disederhanakan menjadi berikut :

$$C_v = f_m \cdot C_m + f_o \cdot C_o + f_w \cdot C_w \dots\dots\dots(3)$$

dimana, f_m = fraksi volume mineral tanah; f_o = fraksi volume bahan organik f_w = fraksi volume lengas (air) dalam tanah; C_m = kapasitas panas mineral; C_o = kapasitas panas bahan organik; C_w = kapasitas panas air.

Hanks R.J dan G.L Ashcroft (1980) dalam Mawardi (2003) mengemukakan hubungan empirik antara kapasitas panas volumetrik (Cv) dengan kebasahan volumetris dan berat volume tanah dalam bentuk :

$$C_v = 0,2 \rho_b \text{ cal/g } ^\circ\text{C} + \theta_v \text{ cal/cm}^3 \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots(4)$$

dimana, θ_v = kebasahan volumetris tanah; ρ_b = berat volume tanah

Pada tanah mineral, umumnya fraksi volume adalah pada kisaran 0,45 – 0,65, dengan nilai C berkisar lebih kecil 0,25 cal/cm³ °K pada kondisi kering sampai dengan sekitar 0,75 cal/cm³ °K pada kondisi jenuh air (Hillel, 1982). Taylor and Jackson (1965) dalam Hillel (1982) mengemukakan bahwa untuk menghitung kapasitas panas volumetrik tanah dapat menggunakan metode kalorimetri.

Diffusivitas thermal merupakan laju perubahan suhu selama waktu tertentu. Peningkatan kadar air di dalam tanah dapat meningkatkan daya hantar panas dan juga meningkatkan kapasitas panas volumetrik. Di dalam tanah tidak dijumpai keseragaman diffusivitas thermal sehingga proses pemanasan tubuh tanah tidak seragam. Berdasarkan grafik profil suhu 24 jam, dihitung nilai diffusivitas thermal (D_T) dengan persamaan berikut ini :

$$D_T = \frac{wd^2}{2} \dots\dots\dots(5)$$

dimana : D_T := diffusivitas thermal (cm²/s); ω = frekuensi radian ($2\pi/T$); d := damping depth (cm)

Berdasarkan keragaman harian, besarnya periode adalah 24 jam (86000 detik), sehingga dapat ditentukan nilai ω .

$$\omega = \frac{2\pi}{86000} = 7,27 \cdot 10^{-5} / \text{detik}$$

$$d = \frac{|z_1 - z_2|}{|\ln(\Delta T_{z_1}) - \ln(\Delta T_{z_2})|} \dots\dots\dots(6)$$

dimana : z_1 = kedalaman lapisan 1 (cm); z_2 = kedalaman lapisan 2 (cm); ΔT := perbedaan suhu (°C)

Menurut Kohnke (1968), konduktivitas thermal adalah kemampuan suatu bahan untuk mentransfer panas antar molekulnya. Dapat juga diartikan sebagai jumlah panas yang ditransfer pada suatu bahan tiap satuan luas. Menghitung nilai konduktivitas thermal (K_T)

$$K_T = D_T \times C_v \dots\dots\dots(7)$$

dimana : K_T : konduktivitas thermal (cal/cm s °C)

Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh penambahan bahan pengkondisi tanah terhadap beberapa sifat thermal tanah pasiran pada pertanaman cabai (*Capsicum Annuum*)

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan adalah tanah pasiran yang dicampur dengan biokompos (60 % jerami, 40 % kotoran sapi, dan 1 liter biomikro/ton); pipa listrik dengan diameter 5/8 inchi, tanaman cabai, pipa irigasi, drum penampung air, stop kran dan bahan-bahan untuk analisis sifat fisik tanah dan kimia tanah. Sedangkan peralatan yang digunakan adalah alat pengukur anasir iklim terutama termometer, dan alat pengukur sifat fisik tanah.

Rancangan percobaan yang dilaksanakan yaitu dengan menggunakan 2 perlakuan utama, yaitu : A). Perlakuan Irigasi : (a) Ao = perlakuan irigasi gembor, (b) A1 = perlakuan irigasi Sub surface dan B). Bahan Organik : (a) Bo = jerami, (b) B1 = biokompos 10 ton/ha, (c) B2 = biokompos 20 ton/ha dan (d) B3 = daun Clereside. C). Biomikro diberikan pada semua plot percobaan.

Analisis statistic menggunakan analisis regresi untuk mengetahui perubahan sifat thermal terhadap produksi tanaman cabai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi penelitian dilakukan di tanah pasir lahan pantai, dusun Keboan, desa Karang Wuni, Kecamatan Wates

Kabupaten Kulon Progo. Yogyakarta.. Lokasi tersebut berjarak ± 8,5 km dari stasiun Beji, Wates, yang terletak pada DAS kali Serang.. Letak geografisnya antara 7°51'23" LS dan 110°9'26" BT dengan ketinggian tempat 50 m di atas permukaan laut.

Suhu udara rata-rata berkisar antara 27,11°C – 28,28 °C dengan suhu minimum 27,11 °C terjadi pada bulan Nopember dan suhu udara maksimum 28,28°C pada bulan Mei. Kelembaban rata-rata adalah 63,80 %, sedang hujan maksimum terjadi pada bulan Desember sebesar 572,125 mm. Berdasarkan analisis tipe iklimnya menurut Schimdt-Ferguson termasuk tipe iklim C atau agak basah.

Tanah di lokasi penelitian termasuk tanah bertekstur pasir (*sandy soil*), kandungan bahan organiknya sebesar 1,35 %.. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan sifat fisik tanah percobaan.

TABEL 1. SIFAT-SIFAT FISIKA DAN KIMIA TANAH

No.	Parameter yang diamati	Kedalaman (cm)	
		0 – 10	10 – 20
1.	Kelas Tekstur tanah	Pasir	Pasir
2.	Berat Volume (gr/cm ³)	1,46	1,50
3.	Berat Jenis (gr/cm ³)	2,65	2,68
4.	Porositas (%)	44,91	44,03
5.	Permeabilitas (cm/jam)	34,65	30,01
6.	Kelas Permeabilitas	Sangat cepat	Sangat cepat
7.	Bahan Organik (%)	1,37	1,34
8.	P tersedia (ppm)	50,32	42,65
9.	N total (%)	0,11	0,07
10.	K tersedia (me/100 gr)	0,23	0,19
11.	pH (H ₂ O)	5,91	6,13

Berdasarkan Tabel 1 tersebut di atas maka daerah penelitian termasuk bertekstur pasir. Berat volumenya semakin dalam semakin besar berarti tanah tersebut mengalami

pemadatan akibat beban tanah di atasnya. Berat Jenis tanah pada kedalaman 10 – 20 cm lebih besar dibandingkan dengan berat jenis tanah di atasnya. Hal ini terjadi karena berat bahan organik yang terkandung tanah. Berat bahan organik pada kedalaman 0-10 cm lebih besar daripada kedalaman 10 – 20 cm, mengakibatkan nilai berat jenis bagian atas lebih kecil daripada kedalaman di bawahnya.. Permeabilitas tanahnya termasuk sangat cepat menunjukkan tingkat kemudahan tanah meloloskan air. Jumlah mikrobia tanah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Penambahan bahan organik menyebabkan bakteri Rhizobium sp di semua plot perlakuan mengalami peningkatan, kecuali pada plot B3C (*clerecide*) begitu juga dengan bakteri selulolitik. Sedangkan jamur selulolitik mengalami peningkatan di semua plot. Hal ini terjadi pula pada bakteri pelarut fosfat, sedangkan jamur aktinomicetes selulolitik terjadi sebaliknya mengalami penurunan kuantitas dari sebelumnya.. Rhizobium sp mampu memfiksasi nitrogen bebas dari udara non simbiotik, sehingga tersedia bagi tanaman. Bakteri pelarut fosfat bisa meningkatkan kelarutan fosfat dalam tanah yang umumnya terakumulasi, sedangkan bakteri selulolitik, aktinomicetes selulolitik, dan jamur selulolitik mampu mendekomposisikan bahan organik berselulosa menjadi senyawa atau unsur yang lebih sederhana sehingga dapat diserap oleh akar tanaman.. Proses pembentukan bahan organik menjadi zat anorganik merupakan aktifitas mikrobia dalam tanah. Bahan organik yang diberikan dalam tanah merupakan zat makanan bagi mikrobia heterotrofik yang pemanfaatannya dilakukan dengan cara merombak bahan organik tersebut dan dari hasil perombakan tersebut dihasilkan unsur hara yang berguna bagi tanaman. Bahan organik yang dimanfaatkan mikrobia tanah akan menyediakan energi untuk tumbuh dan bahan organik memberikan karbon sebagai sumber energi sehingga dengan demikian penambahan bahan organik akan menambah jumlah mikrobia tanah.

TABEL 2. JUMLAH MIKROBA TANAH

No.	Perlakuan	Jumlah mikrobia (cfu/g)				
		Rhizobium sp	Bakteri selulolitik	Jamur selulolitik	Aktinomicetes selulolitik	Bakteri pelarut fosfat
Awal penelitian						
1.	semua	3,25 x 10 ⁶	9,20 x 10 ⁶	5,00 x 10 ²	1,47 x 10 ⁷	1,00 x 10 ⁶
Akhir penelitian						
1.	BoC	5,00 x 10 ⁸	4,50 x 10 ⁷	1,00 x 10 ⁴	1,65 x 10 ⁶	1,00 x 10 ⁸
2.	B1C	3,32 x 10 ⁷	3,75 x 10 ⁷	2,00 x 10 ⁴	4,00 x 10 ⁶	1,20 x 10 ⁸
3.	B2C	6,30 x 10 ⁶	1,98 x 10 ⁸	1,00 x 10 ⁷	3,66 x 10 ⁶	2,95 x 10 ⁷
4.	B3C	3,10 x 10 ⁶	7,50 x 10 ⁶	4,00 x 10 ⁶	1,25 x 10 ⁷	5,00 x 10 ⁶

TABEL 3. PERUBAHAN BERAT VOLUME TANAH (BV - gr/cm³)

No.	Perlakuan	Berat Volume (gr/cm ³)		
		(0 - 10) cm	(10 - 20) cm	
1.	Gembor (Ao)			
	21 setelah tanam			
	• BoC	1,147	1,312	
	• B1C	1,172	1,294	
	• B2C	1,094	1,282	
	• B3C	1,085	1,309	
	Akhir Penelitian			
	• BoC	1,246	1,330	
	• B1C	1,258	1,321	
	• B2C	1,179	1,319	
	• B3C	1,175	1,330	
	2.	Sub Surface (A1)		
		21 setelah tanam		
		• BoC	1,278	1,343
• B1C		1,260	1,390	
• B2C		1,245	1,277	
• B3C		1,304	1,347	
Akhir Penelitian				
• BoC		1,300	1,403	
• B1C		1,339	1,412	
• B2C		1,390	1,373	
• B3C		1,381	1,392	

TABEL 4. PERUBAHAN KANDUNGAN BAHAN ORGANIK TANAH (%)

Perlakuan		Bahan Organik (%)	
		21 hari setelah tanam	90 hari setelah tanam
Gembor A0	BoC	1,79	1,14
	B1C	1,52	1,34
	B2C	2,23	1,67
	B3C	2,08	0,69
Sub Surface A1	BoC	1,51	0,95
	B1C	1,52	1,41
	B2C	1,51	1,38
	B3C	1,52	1,28

Kandungan bahan organik di dalam tanah mengalami kenaikan pada pertengahan penelitian dan pada akhir penelitian kandungan bahan organik mengalami penurunan. Penurunan bahan organik ini diduga digunakan oleh mikro organisme tanah sebagai zat makanan yang kemudian dirubah menjadi unsur hara yang diserap oleh tanaman selama pertumbuhannya.

Hubungan sifat thermal tanah dan fisiologis tanaman dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 tersebut maka dapat dinyatakan bahwa kalor yang diabsorpsi tanah tidak selalu mengakibatkan perubahan suhu tanah atau kenaikan suhu tanah. Perubahan kalor tergantung dari kalor jenis ataupun kapasitas kalor. Kalor jenis atau kapasitas kalor dari lapisan tanah yang tinggi menunjukkan perubahan suhu tanah yang makin berkurang dan sebaliknya jika kalor jenis atau kapasitas kalor suatu lapisan tanah rendah, perubahan suhu tanah akan makin cepat. Kapasitas kalor adalah hasil kali kalor jenis suatu benda dengan massa benda itu. Pada plot penambahan kompos 10 ton/ha dan jerami menunjukkan semakin bertambah kedalaman tanah, nilai kapasitas kalor cenderung semakin turun. Sementara pada plot penambahan kompos 20 ton/ha dan clereside menunjukkan semakin bertambah kedalaman tanah maka kapasitas kalor semakin besar. Kapasitas kalor pada plot penambahan bahan organik di petak irigasi sub surface tidak jauh beda dengan petak irigasi gembor.

Bertambahnya kedalaman tanah maka nilai difusivitas thermal semakin bertambah. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin bertambah kedalaman tanah, suhu tanah semakin stabil atau selisih suhu maksimum dan minimum kecil. Plot yang menunjukkan kecenderungan nilai difusivitas thermalnya semakin tinggi menunjukkan bahwa pengaruh penambahan bahan organik telah dapat memperkecil gradien suhu dalam tanah, karena bahan organik dapat mengikat air dengan baik. Perubahan nilai difusivitas thermal semakin bervariasi pada kedalaman 30 cm. Pada petak irigasi gembor penambahan jerami, nilai difusivitas thermalnya mengalami penurunan pada pertengahan dan naik lagi pada

Berdasarkan Tabel 3 tersebut di atas, bahwa pada 21 hari setelah tanam atau setelah pemberian bahan organik dan biomikro, harga BV mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh pengolahan tanah yang dilakukan sebelum penanaman dan juga karena penambahan bahan organik dan biomikro. Hal ini sesuai dengan yang dinyatakan oleh Brady dan Buckman (1982), dimana tanah yang diberi tambahan pupuk kandang dalam jumlah yang cukup cenderung dapat mengurangi nilai BV. Berdasarkan harga BV secara keseluruhan, perlakuan penambahan bahan organik pada petak irigasi sub surface mempunyai harga yang lebih tinggi daripada petak irigasi gembor. Fenomena ini terjadi karena pada perlakuan penambahan bahan organik pada plot irigasi gembor, tanah mengalami tekanan yang diakibatkan oleh air yang keluar dari gembor yang menyebabkan kestabilan agak terganggu. Sementara pada plot irigasi sub surface tanah relatif stabil karena air yang diberikan melalui pipa yang ditanam di dalam tanah.

Tabel 4 menyatakan perubahan kandungan bahan organik (BO) dalam tanah.

akhir penelitian. Sebaliknya pada plot penambahan kompos 20 ton/ha, nilai difusitas thermalnya mengalami kenaikan pada pertengahan dan turun pada akhir penelitian, sedangkan pada plot penambahan kompos 10 ton/ha dan clereside nilai difusivitas thermalnya mengalami kenaikan. Pada petak irigasi sub surface maka plot yang menunjukkan kenaikan nilai difusivitas thermalnya adalah plot penambahan kompos 10 ton/ha.. Perubahan difusivitas thermal dipengaruhi oleh daya dorong dan kecenderungan kalor untuk mengalir. Faktor yang menjadi daya dorong adalah gradien suhu yang menunjukkan kalor mengalir dari sistem tanah yang panas (nilai kapasitas kalor volumetrik rendah) menuju sistem tanah yang lebih dingin (nilai kapasitas kalor volumetrik tinggi). Aliran kalor adalah proses dimana molekul panas yang membangkitkan rangsangan terhadap molekul didekatnya yang lebih dingin.

Rangsangan ini dapat dalam bentuk energi molekul rotasi (putar) dan vibrasi (getar) yang mengalir. Proses ini berjalan lambat karena tergantung pada interaksi individual diantara molekul-molekul tertentu pada suatu tempat. Jaringan aliran kalor berhenti ketika telah mengeliminasi perbedaan suhu sepanjang sistem, yaitu ketika sistem telah mencapai kesetimbangan thermal, walaupun kesetimbangan thermal adalah peristiwa luar biasa di dalam tanah.

Nilai konduktivitas thermal tanah semakin tinggi dengan semakin bertambah kedalaman tanahnya. Hal ini dapat diterangkan bahwa konduktivitas thermal menunjukkan seberapa cepat kalor mengalir. Nilai konduktivitas thermal yang tinggi menunjukkan laju perpindahan energi yang pesat. Komponen tanah yang mempengaruhi konduktivitas thermal tanah adalah kandungan lengas tanah, porositas tanah dan

TABEL 5. HUBUNGAN ANTARA SIFAT THERMAL TANAH DAN FISILOGIS TANAMAN

No.	Parameter	Gembor				Sub Surface			
		AoBoC	AoB1C	AoB2C	AoB3C	A1BoC	A1B1C	A1B2C	A1B3C
1.	Suhu rerata harian °C								
	0 cm	30,4	30,57	29,17	30,76	31,53	31,48	32,54	31,97
	15 cm	28,06	27,66	28,03	29,03	29,51	28,85	29,26	29,55
	30 cm	27,63	27,38	27,99	27,84	29,50	28,66	28,87	29,26
3.	Kapasitas kalor volumetrik (cal.cm ⁻³ .°C ⁻¹)								
	5 cm	0,8429	0,9290	0,7836	0,7978	0,8752	0,8536	0,7781	0,7848
	15 cm	0,8329	0,8559	0,8297	0,8272	0,8396	0,8388	0,8110	0,8354
	30 cm	0,8267	0,8654	0,8399	0,8731	0,8552	0,8331	0,8501	0,8515
4.	Difusivitas thermal (cm ² /det)								
	5 cm	0,00035	0,0006	0,0003	0,0002	0,0055	0,0183	0,0006	0,0005
	15 cm	0,00144	0,0129	0,0024	0,0013	0,0011	0,0012	0,0010	0,0009
	30 cm	0,00369	0,0321	0,3275	0,0730	0,0020	0,0007	0,0007	0,0528
6.	Fluks kalor (cal/cm ² .det)								
	5 cm	0,00004	0,0001	4. 10 ⁻⁵	2. 10 ⁻⁵	0,0009	0,0019	0,0001	4. 10 ⁻⁵
	15 cm	0,00005	0,0003	1. 10 ⁻⁵	2. 10 ⁻⁶	2. 10 ⁻⁶	2. 10 ⁻⁵	3,3.10 ⁵	2. 10 ⁻⁵
	30 cm	0,0084	0,0761	0,7699	0,1774	0,0049	0,0016	0,0017	0,1316
7.	Laju pindah kalor (cal/det)								
	5 cm	8,3. 10 ⁻⁵	2,7.10 ⁻⁴	8,6.10 ⁻⁵	4.10 ⁻⁶	0,0018	0,0038	2,2.10 ⁻⁴	8. 10 ⁻⁵
	15 cm	0,0001	6,1.10 ⁻⁴	1,9.10 ⁻⁵	3. 10 ⁻⁶	3. 10 ⁻⁶	4. 10 ⁻⁵	6,4.10 ⁻⁵	5. 10 ⁻⁵
	30 cm	0,0166	0,1506	1,5237	0,35	0,0098	0,0033	0,0033	0,2603
8.	Kecepatan pertumbuhan tinggi (cm/hari)	0,3932	0,2901	0,4252	0,3262	0,3020	0,3262	0,3745	0,2826
9.	Panjang akar (cm)	740,83	397,97	845,73	829,74	460,08	711,18	903,51	762,31
10.	Produksi cabai (ton/ha)	6,66	6,672	8,329	7,18	4,866	4,555	5,680	4,474

bahan organik. Ketersediaan lengas dalam tanah sangat berperan dalam menjadikan tanah sebagai bahan yang dapat mengalirkan kalor dengan cepat, karena air adalah bahan dengan nilai kalor jenis yang tinggi. Sedangkan penambahan bahan organik dapat menjadikan tanah lebih baik dalam menahan air.

Porositas tanah yang makin tinggi menandakan ruang mikro tanah bertambah. Bertambahnya ruang pori mikro dalam tanah berarti ketersediaan lengas tanah di dalam tanah bertambah. Penambahan air akan menambah lapisan air pada titik kontak antar partikel dan menambah kontak thermal antar partikel.

Semakin besar kedalaman tanah maka harga fluks kalor dan laju perpindahan kalor semakin tinggi. Pada kedalaman 5 cm petak irigasi gembor dengan penambahan kompos 10ton/ha dan clereside menunjukkan kecenderungan naik sampai akhir penelitian, sedangkan penambahan jerami perpindahan kalor mengalami kenaikan pada pertengahan dan turun pada akhir penelitian. Hal sama dijumpai pada petak irigasi sub surface plot penambahan kompos 10 ton/ha dan 20 ton/ha dan penambahan jerami serta clereside mempunyai nilai fluks kalor dan laju perpindahan kalor semakin besar. Pada kedalaman yang lebih besar lagi menunjukkan bahwa nilai fluks kalor dan laju perpindahan kalor mengalami penurunan pada pertengahan dan naik lagi pada akhir penelitian seperti ditunjukkan pada petak irigasi gembor dengan penambahan jerami. Hal ini dapat diterangkan bahwa fluks kalor dan laju perpindahan kalor ditentukan oleh nilai konduktivitas thermal dan gradien suhu tanah. Gradien suhu tanah yang tinggi pada permukaan tanah belum tentu menghasilkan fluks kalor dan laju perpindahan kalor yang tinggi. Nilai konduktivitas thermal yang tinggi menunjukkan kalor yang merambat lebih kecil sehingga nilai fluks kalor dan laju perpindahan kalor menjadi kecil. Pada kedalaman yang lebih besar meskipun gradien suhu tanah rendah tetapi jika nilai konduktivitas thermal tinggi akan menghasilkan nilai fluks kalor dan laju perpindahan kalor yang tinggi.

Pada plot penambahan kompos 20 ton/ha mempunyai laju pertumbuhan tinggi tanaman yang cepat yaitu mencapai 0,4252 cm/hari. Pada petak irigasi sub surface pada plot penambahan kompos 20 ton/ha mempunyai kecepatan pertumbuhan tinggi 0,3745 cm/hari.. Pada petak irigasi gembor maupun sub surface maka plot dengan penambahan kompos 20 ton/ha menunjukkan panjang perakaran yang besar, masing-masing 845,735 cm dan 903,512 cm. Faktor yang mempengaruhi pertumbuhan perakaran dan system perakaran adalah suhu tanah, aerasi tanah, kesuburan tanah, keasaman tanah, kompetisi dan interaksi perakaran serta hambatan mekanis tanah.. Tanah pada suhu tinggi atau rendah dapat membatasi pertumbuhan akar. Suhu tanah yang tinggi dapat mempercepat diferensiasi yang dapat mengurangi

pertumbuhan akar karena terhambatnya transport air dan hara.. Tanaman canai di daerah penelitian mempunyai akar dengan ciri-ciri coklat, banyak bercabang, kerapatannya tinggi dan berdiameter kecil; hal ini menunjukkan bahwa suhu di daerah penelitian tinggi. Rata-rata produksi tanaman cabai yang tinggi terjadi pada petak pemberian air irigasi gembor.

Dari hasil analisis statistik uji regresi, maka diketahui hubungan antara sifat thermal tanah dengan hasil produksi cabai. Dimana hasil produksi sebagai variable dependen dan kapasitas kalor, difusivitas thermal, konduktivitas thermal, fluks kalor dan laju perpindahan kalor sebagai variable independent. Hasil uji regresi antara beberapa sifat thermal dengan hasil produksi cabai diperoleh persamaan :

$$Y = 5,528 + 7,618 X \dots\dots\dots(8)$$

Dimana, Y = hasil produksi cabai (ton/ha) dan X = fluks kalor (cal/cm² det).

Konstanta sebesar 5,528 menyatakan bahwa jika tidak ada fluks kalor, maka produksi cabai sebesar 5,528 ton/ha. Koefisien regresi X sebesar 7,618 menyatakan bahwa setiap penambahan 1 bagian fluks kalor akan meningkatkan produksi cabai sebesar produksi 7,616 ton/ha

Temperatur tanah di permukaan atau pada kedalaman 0 cm dapat dinyatakan dalam model sebagai berikut :

$$T(0,t) = T_0 + A_0 \cos(\omega t) \dots\dots\dots(9)$$

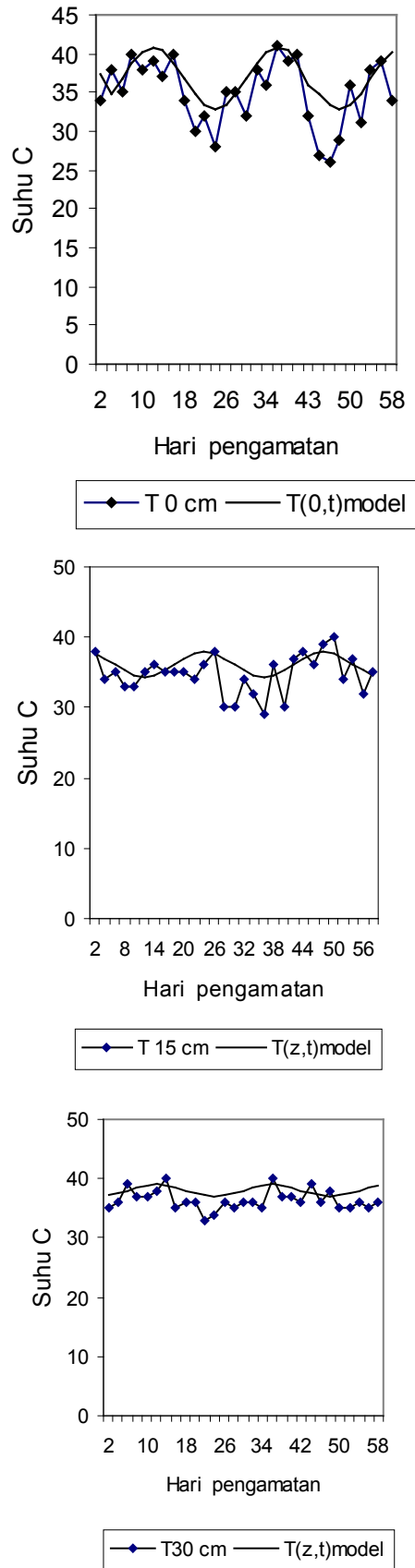
Atau, $T(0,t) = T_0 + A_0 \cos(\pi/d) - (A_0 \cos(-(\pi/d)(t)))$

Sedangkan pada kedalaman tertentu maka,

$$T(z,t) = T_0 + A_0 \exp(-z/d) (\cos \pi/d.t) - \cos(z/d.t) - \cos(-z/d) \dots\dots\dots(10)$$

d adalah kedalaman dumping, A₀ adalah amplitudo dan ω adalah pulsa.

Hasil perhitungan gerakan suhu dalam tanah dapat dilihat pada gambar 2 yang menunjukkan contoh gerakan suhu di dalam tanah selama penelitian pada plot percobaan dengan irigasi gembor dan penambahan jerami. Pada permukaan tanah (kedalaman 0 cm) menunjukkan temperatur tanah yang berfluktuatif, yang kemudian pada kedalaman 15 cm dan 30 cm temperatur tanahnya lebih stabil. Hal ini terjadi karena dengan penambahan bahan organik terjadi penurunan suhu. Penurunan suhu tanah ini diakibatkan oleh tanah yang mengalami peningkatan dalam kemampuan menahan atau menyimpan air. Hal ini juga ditunjukkan oleh peningkatan porositas tanahnya. Peningkatan kandungan lengas tanah berpengaruh pada kapasitas kalor tanah karena air memiliki nilai kalor jenis yang besar. Kalor jenis air yang lebih tinggi daripada udara merupakan penyebab lambatnya perubahan suhu tanah.



Gambar 2. Gerakan suhu dalam tanah pada plot jerami

KESIMPULAN

Penambahan bahan pengkondisi tanah, seperti jerami, biokompos dan mikrobio dapat meningkatkan bahan organik. Hal tersebut mengakibatkan bertambahnya kandungan lengas tanah. Kandungan lengas tanah menaikkan kapasitas kalor volumetric tanah dan perubahan kandungan lengas tanah mempengaruhi nilai-nilai konduktivitas thermal tanah dan difusitas thermal tanah. Nilai fluks kalor pada suatu kedalaman ditentukan oleh gradien suhu tanahnya disamping oleh nilai konduktivitas thermal. Pada kedalaman tanah yang semakin dalam maka amplitudo gelombang suhu tanah harian akan makin menurun dan tidak terjadi fluktuasi suhu tanah.

Hubungan antara hasil produksi cabai dengan sifat thermal tanah dapat dinyatakan dalam persamaan regresi : Y (hasil produksi ton/ha) = $5,528 + 7,618 X$ (fluks kalor cal/cm² det).

DAFTAR PUSTAKA

Buckman dan Brady. (1980). *The nature and properties of soils*. Mc Millan Company, New York.

Darmawijaya, I. (1998). *Dasar-dasar klasifikasi tanah*. Gadjah Mada University Press, Indonesia

El-Aswad, R.M. dan Groenevelt, P.H. (1985). Hydrophysical modification and its effect on evaporation. *Journal of American Society of Agricultural Engineer* **6**: 1927-1932

Greb, B.W., Smika, D.E., dan Black, A.L. (1970). Water conservation with stable mulch fallow. *Journal of Soil Water Conservation*, No. **25**: 58-62.

Gustafon. (1962). *Soil management*. Mc Graw Hill Book Company Inc., New York

Hansen, V.E. (1992). *Dasar-dasar dan praktek irigasi*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Hillel, D. (1998). *Pengantar fisika Tanah*, Mitra Gama Widya, Yogyakarta.

Hanks, R.J., dan Ashcroft, G.L. (1980). *Physical properties of soil*. Springer-Verlag, Berlin.

Hakim. (1986). *Dasar-dasar ilmu tanah*. Universitas Lampung. Lampung.

Islami, T. dan Utomo. (1995). *Hubungan tanah-air dan tanaman*. IKIP Semarang Press.

Kohnke, H. (1968). *Soil physics*. Mc Graw Hill Book Company, New York.

Mawardi, M. (2003). *Perubahan sifat thermal tanah pasir akibat penambahan bahan organik*. Lembaga Penelitian UGM.

Mohanty, B. P., Klittich, W. M. dan Horton, R. (1995). Spatio-temporal variability of soil temperature within three land areas exposed to different tillage systems. *Soil Science Society of America Journal* **59**, no.3.

Tjasjono (1999). *Klimatologi umum*. Penerbit ITB, Bandung.

Wambeke, A.N. (1992). *Soil of the tropics properties and appraised*. Mc Graw Hill Inc. New York.

Wibisono A. dan Fuady R.A. (2000). *Biomikro pupuk hayati untuk kesuburan-kesehatan tanah dan tanaman*. PT. Bioselaras, Jakarta.