

EMISI GAS CH₄ DAN CO₂ SERTA PERUBAHAN KADAR C-ORGANIK PADA PENGOMPOSAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN RERUMPUTAN MENGGUNAKAN BAKTERI SELULOLITIK *INDIGENOUS* PASANG SURUT

Silvia Mawar¹, Hasrul Satria Nur ^{1*}, Abdul Hadi ²

¹ Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lambung Mangkurat, Jalan A. Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

² Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat, Jalan A. Yani Km.36 Banjarbaru Kalimantan Selatan 70714

*Corresponding author: hasrulsatria@ulm.ac.id

ABSTRACT

Oil palm empty bunch and grass, are sorts of agricultural waste, that contribute to evolving gas emissions--methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). Therefore, agricultural waste management to compost is one system to minimize the gas emissions in oil palm plantations. Generally, using bio-decomposer lignocellulolytic bacterium is the way to speed up the composting. *Bacillus brevis* BRT-1 and *Bacillus megaterium* BTB-1, having potency as bio-decomposer agents, are members of cellulolytic bacteria origin of soil swamps tidal. Adding cellulolytic bacteria indigenous into the composting of oil palm empty bunch and grass are the objectives in our studies to observe, i.e. C-organic changes patterns, methane, and carbon dioxide emissions. Two inoculants of cellulolytic bacteria comprised of BRT-1 and BTB-1 isolates were applied to the two substrates in composting the agricultural waste by adding cow manure. The parameters of analysis were observed during twenty days, in addition, C-organic substrates were measured by the Walkley and Black method. Especially for methane and carbon dioxide were observed by Micro Gas Chromatography, meanwhile, the addition of two inoculants of cellulolytic bacteria had a significant impact on C-organic changes during the composting. Otherwise, using cellulolytic bacteria in this study showed no significant effect of methane and carbon dioxide. Moreover, the result is also some of the depicted parameters, particularly of C-organic contain undergone alleviate on oil palm empty bunch substrates of BTB-1 – KS treatments. Besides that, the C-organic content of grass substrates also decreased in BTB-1 treatments, furthermore, the methane emissions for oil palm empty bunch underwent fewer BRT-1+KS treatments. On the other sides, the methane emissions increased during observation in grass substrates of BRT-1+KS treatments. The same cases for the carbon dioxide emissions in oil palm empty bunch substrates are also decreased in BRT-1 treatments. Meanwhile, the carbon dioxide emission underwent the escalation of grass substrates in BRT-1+KS treatments. The utilization of cellulolytic bacteria Indigenous has the potential as a bio-decomposer agent in composting especially in accelerating C-organic changes.

Keywords: carbon dioxide, cellulolytic bacteria, methane, oil palm empty bunch

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu sektor paling penting yang mempengaruhi kehidupan masyarakat di Indonesia. Sektor ini meliputi pertanian tanaman pangan seperti padi, sayur-mayur, buah-buahan dan lainnya yang dibudidayakan. Selain itu juga ada tanaman yang dibudidayakan dan termasuk kedalam tanaman perkebunan rakyat meliputi kakao, karet, kelapa sawit dan lainnya (Badan Pusat Statistik, 2009). Saat ini, kelapa sawit merupakan tanaman pertanian yang paling banyak diekspor serta berpotensi bagi perkembangan ekonomi dan sosial di Indonesia. Lahan perkebunan kelapa sawit Indonesia mencapai 8,9 juta Ha, terdiri atas 3,7 juta Ha perkebunan rakyat, 6,17 ribu Ha perkebunan badan usaha milik negara, dan 4,5 juta Ha perkebunan swasta. Indonesia telah memproduksi lebih dari 18 juta ton minyak sawit pada tahun 2008 dan meningkat hingga 23,5 juta ton pada tahun 2011 (Campaign, 2011; Obidzinski, 2013).

Perkembangan industri kelapa sawit di Indonesia tidak hanya memberikan dampak positif, tetapi juga dampak negatif seperti yang terjadi di sektor pertanian dan agroindustri lainnya. Industri kelapa sawit menghasilkan limbah cair, padat, dan gas dari kegiatan kebun dan pabrik kelapa sawit (Subdit Pengelolaan Lingkungan, 2006). Salah satu limbah padat industri kelapa

sawit adalah limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Selain itu, pengelolaan perkebunan kelapa sawit juga menghasilkan limbah lain seperti rerumputan pada saat penyiangan dan pembersihan lahan. Sebagian besar dari kedua limbah ini hanya ditumpuk sehingga berpotensi menjadi sumber emisi metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) (Inubushi *et al.*, 2007). Emisi gas rumah kaca (GRK) di Indonesia sebesar 6,0% bersumber dari kegiatan pertanian (*Ministry of Environment Republic of Indonesia*, 2010). GRK merupakan pemicu terjadinya pemanasan global yang dalam kurun waktu terakhir menjadi semakin mengkhawatirkan. Kontribusi terbesar pemanasan global di Indonesia berasal dari CO_2 (50%) dan CH_4 (20%). Karbondioksida (CO_2) merupakan salah satu jenis gas yang berperan dalam peningkatan GRK. Gas CO_2 dilepaskan ke atmosfer sebagai buangan dari oksidasi bahan organik pada proses pembakaran dan menjadi salah satu penyebab meningkatnya konsentrasi gas CO_2 di atmosfer (Mitchell, 1992). Selain CO_2 , gas lain yang juga menjadi salah satu pemicu pemanasan global adalah metana (CH_4). Gas ini dihasilkan oleh kelompok mikroba *Methanogenes*. Menurut Paretta (2009), konsentrasi CH_4 global di atmosfer mencapai 1720 *part per billion by volume*

(ppbv) dengan laju peningkatan konsentrasi 10-20 ppbv per tahun.

Upaya mengurangi emisi gas akibat limbah dari industri kelapa sawit, dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Salah satunya dengan memanfaatkan limbah menjadi kompos (Mitchell, 1992; Nasrul & Maimun, 2009). Kompos merupakan sumber bahan organik tanah yang diperlukan dalam upaya perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Suwardi, 2004). Kotoran sapi merupakan salah satu bahan utama pembuatan kompos karena adanya kandungan nitrogen, kalium, dan bahan serat yang tinggi. Selain kotoran sapi, juga diperlukan penambahan bahan organik lain untuk memberikan suplai nutrisi yang seimbang terhadap mikrob pengurai sehingga proses dekomposisi dapat berjalan lebih cepat (Kaharudin & Farida, 2010).

Kompos diperoleh melalui fase perombakan bahan dasar organik padat dengan menggunakan aktivitas mikrob. Selama pengomposan, terjadi perubahan nisbah C/N substrat yang semakin rendah, pembentukan gas, dan metabolisme aerob maupun anaerob dari mikrob (Mitchell, 1992). Mikrob yang dapat membantu dalam proses pengomposan yaitu mikrob selulolitik yang tersusun dari kelompok aktinomiset, fungi dan bakteri (Nurmayani, 2007). Bakteri selulolitik merupakan bakteri yang mampu merombak selulosa

menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti glukosa. *Bacillus brevis* (isolat BRT-1) dan *Bacillus megaterium* (isolat BTB-1) merupakan dua bakteri selulolitik *indigenous* fakultatif anaerob asal tanah pertanian pasang surut Kalimantan Selatan (Nur & Krisdianto, 2010). Kedua bakteri ini telah diuji kemampuannya dalam pengomposan limbah pertanian yaitu limbah jagung dan jerami (Nur & Krisdianto, 2009^a; Nur & Krisdianto, 2010^b). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perubahan kadar C-organik pada pengomposan TKKS dan rerumputan menggunakan kedua bakteri selulolitik *indigenous* dan mengukur emisi gas CH₄ dan CO₂.

METODE PENELITIAN

Preparasi limbah tandan kosong kelapa sawit dan rerumputan

Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai substrat pengomposan diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara XIII, Kalimantan Selatan. Sedangkan, rerumputan berasal dari limbah perkebunan dari PT. Palmina Utama, Kalimantan Selatan. Kedua sampel yang dijadikan sebagai bahan pengomposan dan pengukuran emisi gas. Berikutnya dilakukan pemotongan, hingga diperoleh ukuran substrat pengomposan sebesar 2 – 5 cm. Substrat pengomposan tersebut

dilakukan pengeringan (Nur & Krisdianto, 2010). Terhadap sampel yang telah kering, dilakukan penimbangan sebanyak 2,0 kg per sampel. Sampel yang telah siap untuk dilakukan pengomposan dimasukkan ke dalam sungkup (*chamber*) tertutup guna dilakukan pengomposan dan pengambilan emisi gas, dimana ukuran *chamber* disesuaikan terhadap objek yang akan diukur.

Propagasi inokulan bakteri selulolitik *indigenus* pasang surut

Peremajaan (*re-culture*) isolat bakteri selulolitik menggunakan medium agar-agar CMC dengan komposisi mengacu pada Meryandini *dkk* (2009). Peremajaan bakteri dilakukan terhadap dua isolat bakteri selulolitik hasil penelitian sebelumnya (Nur & Krisdianto, 2009^a; Nur & Krisdianto, 2010^b). yaitu *Bacillus brevis* BTB-1 dan *Bacillus megaterium* BRT-1 pada medium agar-agar *carboxymethyl cellulose* (CMC) dengan metode cawan gores (*streak plate*) dengan waktu inkubasi selama 48 jam pada suhu 30°C menggunakan *Shaker Incubator cooling-Infors HT Ecotron* (Nur & Krisdianto, 2009)

Perhitungan kepadatan sel bakteri pada medium CMC cair dilakukan dengan metode hitungan langsung (*direct count*). Kepadatan sel diukur menggunakan *Haemocytometer-Phill* dengan selang waktu perhitungan 60 menit selama 6 jam

perhitungan sel. Sementara itu, preparasi inokulan bakteri selulolitik dilakukan menggunakan medium cair CMC yang diinokulasi dengan isolat bakteri selulolitik BTB-1 dan BRT-1. Inkubasi dilakukan selama 48 jam di atas *shaker orbital* dengan kondisi suhu ruang.

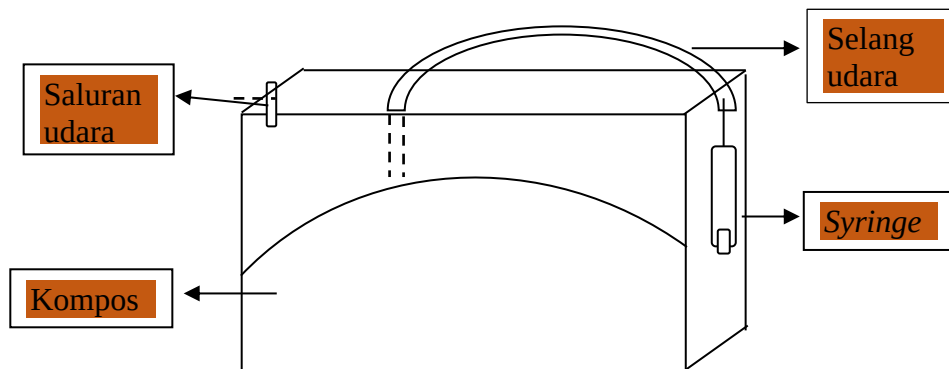
Pengomposan limbah TKKS dan rerumputan menggunakan bakteri selulolitik *indigenus* pasang surut

Pengomposan dilakukan dengan mengaplikasikan inokulan bakteri selulolitik dan kotoran sapi pada substrat limbah tandan kosong kelapa sawit dan rerumputan. Substrat pengomposan sebagai anak petak dengan kode b_1 tanpa penambahan isolat, kode b_2 ditambahkan 25% (b/v) kotoran sapi, kode b_3 ditambahkan 25% (b/v) inokulan BRT-1, kode b_4 ditambahkan 25% (b/v) inokulan BRT-1 dan 25% (b/v) kotoran sapi, kode b_5 ditambahkan 25% (b/v) inokulan BTB-1 serta kode b_6 ditambahkan 25% (b/v) inokulan BTB-1 dan 25% (b/v) kotoran sapi. Substrat pengomposan yang meliputi tandan kosong kelapa sawit dan rerumputan sebagai sampel dalam penelitian ini berikutnya dilakukan penambahan air hingga mencapai kadar air 50% pada awal perlakuan sebelum pengomposan.

Pengambilan contoh emisi gas

Pengambilan contoh emisi gas dilakukan selama 20 hari waktu pengomposan dengan selang waktu 2 hari. Pengambilan gas menggunakan *syringe* yang terhubung dengan peralatan pengambilan gas pada sungkup (*chamber*) (**Gambar 1**). Pengambilan dilakukan sebanyak 3 kali dengan selang waktu 5 menit, dimulai

setelah 2 menit dari pemasangan *syringe* pada peralatan pengambilan gas sehingga pengambilan dilakukan pada menit ke 2, 7, dan 12. *Syringe* yang berisi gas ditutup ujungnya dengan karet supaya udara yang tersimpan tidak keluar. Sampel gas disimpan ditempat ternaungi sebelum dilakukan analisis laboratorium.



Gambar 1. Ilustrasi sungkup (*Chamber*) yang digunakan selama pengambilan emisi gas sewaktu 20 hari pengomposan

Pengukuran emisi gas CH₄ dan CO₂

Contoh gas dalam *syringe* diukur menggunakan *Micro Gas Chromatography Varian 490-GC* di Laboratorium Tanah BALITTRA, Kalimantan Selatan. Pengukuran contoh gas dilakukan dengan menginjeksikan ke dalam *micro GC* yang telah distandarisasi selama 60 menit sebelum pengukuran gas. Emisi gas CH₄ dan CO₂ yang terukur, kemudian dihitung menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut (Hadi, 2001):

$$F = k \cdot h \cdot \Delta c / \Delta t (273/T)$$

F = laju emisi (mg C m⁻²h⁻¹)

k = konstanta konversi volume ke berat (CH₄: 0,536 & CO₂: 0,536)

h = tinggi sungkup (*chamber*) dalam meter (m)

$\Delta c / \Delta t$ = perubahan konsentrasi gas (ppm) per unit waktu (jam)

T = suhu udara dalam sungkup/*chamber* (°C)

Total emisi gas dihitung dengan mengintegrasikan laju emisi dengan durasi pengukuran (20 hari).

Keterangan :

Pengukuran kadar C-organik

Pengukuran kadar C-organik dengan metode *Walkley and Black* (Agus, 2005). Sampel sebanyak 0,05 mg dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer-Iwaki Pyrex, kemudian ditambahkan 10 ml $K_2Cr_2O_7$ 1,0 N dan 10 ml H_2SO_4 . Sampel dihomogenkan hingga larutan berwarna merah-jingga dan ditera hingga batas 100 ml dengan akuades dalam labu ukur. Sebanyak 10 ml larutan diambil dan disuspensikan ke dalam labu Erlenmeyer serta ditambahkan 1,0 ml H_3PO_4 dan 1,0 ml indikator *diphenilamin*. Kemudian dititrasi dengan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,2 N hingga larutan berwarna hijau dan dicatat volume titran.

Pengukuran suhu dan derajat keasaman (pH)

Pengukuran suhu dan pH dilakukan selama 20 hari dengan selang pengukuran 4 hari (Nur & Krisdianto, 2009). Suhu diukur menggunakan termometer raksa yang ditancapkan kedalam substrat kompos selama 5 menit. Sedangkan, pH diukur dengan menimbang 10 g kompos dalam 100 ml akuades. Sampel dihomogenkan menggunakan *orbital shaker* selama 30 menit kemudian diukur menggunakan *pH meter-Oakton Thomas Scientific 85422*. Angka pH yang terbaca pada pH meter dicatat sebagai nilai derajat keasaman sampel.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Percobaan dilakukan menggunakan rancangan petak terpisah (*split plot design*) dengan jenis limbah (**a**) ditempatkan dalam petak utama dan penambahan dekomposer (**b**) sebagai anak petak. Petak utama terdiri atas dua jenis limbah pertanian yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan rerumputan (R). TKKS dan rerumputan sebagai petak utama memiliki anak petak terdiri atas 6 perlakuan yaitu substrat + BTB-1, substrat + BRT-1, substrat + BTB-1 + Kotoran Sapi (KS), substrat + BRT-1 + Kotoran Sapi (KS), substrat + Kotoran Sapi (KS), dan substrat tanpa penambahan isolat sebagai kontrol. Setiap perlakuan diulang 3 kali, ulangan terpisah dari jenis limbah (6 x 3 x 2), sehingga diperoleh 36 unit percobaan. Model rancangan kombinasi percobaan digambarkan sebagai berikut :

Blok I		Blok II		Blok III	
$\alpha_1 b_6$	$\alpha_2 b_6$	$\alpha_2 b_2$	$\alpha_1 b_2$	$\alpha_2 b_6$	$\alpha_1 b_5$
$\alpha_1 b_4$	$\alpha_2 b_5$	$\alpha_2 b_6$	$\alpha_1 b_5$	$\alpha_2 b_5$	$\alpha_1 b_6$
$\alpha_1 b_5$	$\alpha_2 b_2$	$\alpha_2 b_4$	$\alpha_1 b_3$	$\alpha_2 b_3$	$\alpha_1 b_4$
$\alpha_1 b_1$	$\alpha_2 b_1$	$\alpha_2 b_3$	$\alpha_1 b_1$	$\alpha_2 b_2$	$\alpha_1 b_2$
$\alpha_1 b_2$	$\alpha_2 b_4$	$\alpha_2 b_1$	$\alpha_1 b_4$	$\alpha_2 b_4$	$\alpha_1 b_1$
$\alpha_1 b_3$	$\alpha_2 b_3$	$\alpha_2 b_4$	$\alpha_1 b_6$	$\alpha_2 b_1$	$\alpha_1 b_3$

Keterangan :

- α_1 : tandan kosong kelapa sawit (TKKS)
 α_2 : rerumpunan (R)
 b_1 : kontrol limbah tanpa penambahan isolat
 b_2 : kontrol limbah + kotoran sapi (KS)
 b_3 : BRT-1
 b_4 : BRT-1 + kotoran sapi (KS)
 b_5 : BTB-1
 b_6 : BTB-1 + kotoran sapi (KS)

Model statistika uji yang digunakan untuk rancangan petak terpisah adalah sebagai berikut:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan :

- Y_{ijk} = nilai pengamatan pada perlakuan petak utama ke-i, anak petak ke-j, ulangan ke-k
 μ = nilai rata-rata umum
 α_i = pengaruh perlakuan jenis limbah taraf ke-i (i = 1, 2, 3).
 δ_{ik} = galat petak utama (jenis limbah)

β_j = pengaruh perlakuan dekomposer taraf ke-j (j = 1, 2, 3, 4, 5,6)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = interaksi antara perlakuan petak utama ke-i dengan anak petak ke-j

ε_{ijk} = galat anak petak

Data yang diperoleh diuji homogenitas dan normalitas, apabila memenuhi syarat maka dilanjutkan dengan uji parametrik menggunakan sidik ragam dan apabila berpengaruh dilanjut dengan uji *Duncan Multiple Range Test (DMRT)* pada taraf nyata 5%. Namun apabila tidak memenuhi syarat, maka dianalisis dengan uji nonparametrik menggunakan *Kruskall Wallis* dan apabila berpengaruh dilanjutkan dengan uji *Tamhane* pada taraf nyata 5% (Mattjik, 2002).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi gas CH₄ dan CO₂

Emisi gas yang terukur selama 20 hari pengomposan sangat beragam. Namun dari seluruh perlakuan, beberapa perlakuan

memperlihatkan pola pelepasan emisi yang sama pada beberapa hari pengambilan sampel. Pada substrat TKKS penghasil emisi CH_4 paling tinggi ditunjukkan pada perlakuan BRT-1+KS yaitu selama 8 hari pertama pengomposan. Kemudian diikuti oleh perlakuan BTB-1+KS selama 6 hari pertama pengomposan. Sedangkan, perlakuan yang menghasilkan emisi paling rendah pada substrat TKKS, yaitu perlakuan BRT-1+KS dan BRT-1 masing-masing selama 6 hari pertama pengomposan. Sementara itu, pada substrat rerumputan perlakuan BTB-1 menghasilkan emisi CH_4 paling tinggi selama 10 hari pertama pengomposan dan BRT-1+KS selama 6 hari pertama

pengomposan. Sedangkan perlakuan yang menghasilkan emisi paling rendah pada substrat rerumputan ditunjukkan oleh perlakuan BRT-1+KS selama 12 hari pertama pengomposan dan BTB-1+KS selama 4 hari pertama pengomposan.

Penghitungan emisi gas total dari tiap perlakuan yang dihasilkan selama 20 hari pengomposan tersaji pada (**Tabel 1**). Emisi gas total CH_4 selama 20 hari pengomposan menunjukkan bahwa emisi tertinggi terjadi pada substrat rerumputan dengan perlakuan BRT-1+KS. Sedangkan, penghasil emisi CH_4 terendah selama 20 hari pengomposan terjadi pada substrat TKKS dengan perlakuan BTB-1+KS.

Tabel 1. Total emisi CH_4 (g/m²/20 hari) selama 20 hari pengomposan

Perlakuan Substrat	Kontrol	Kontrol+KS	BRT-1	BRT-1+KS	BTB-1	BTB-1+KS
TKKS	-1,119A	-0,043A	-1,436A	-2,049A	-0,510A	-3,201A
Rerumputan	-0,004a	-0,001a	-0,001a	0,003a	-0,006a	0,002a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji *Tamhane* dalam taraf kepercayaan 95%

Hasil analisis emisi CH_4 selama 20 hari tidak menunjukkan adanya pengaruh dari jenis limbah sebagai petak utama, perlakuan sebagai anak petak, dan ulangan terhadap emisi CH_4 yang dihasilkan, kecuali pada hari ke 16 pengomposan yang dipengaruhi oleh perlakuan. Sampel dengan perlakuan BTB-1 adalah yang

paling berpengaruh, diikuti dengan BRT-1, substrat tanpa perlakuan, substrat+KS, BTB-1+KS, dan terakhir BRT-1+KS. Namun secara keseluruhan emisi total yang dihasilkan selama pengomposan tidak dipengaruhi oleh petak utama dan anak petak. Emisi CO_2 yang dihasilkan pada substrat TKKS selama 20 hari

pengomposan juga didominasi oleh beberapa perlakuan. Pada hari ke 2 – 10 emisi CO₂ tertinggi adalah dari sampel perlakuan BRT-1+KS dan BRT-1. Sedangkan pada hari 12 – 20 emisi CO₂ tertinggi adalah sampel dengan perlakuan BTB-1+KS dan BTB-1. Emisi CO₂ terendah paling banyak dihasilkan oleh perlakuan BRT-1+KS dan TKKS tanpa penambahan isolat masing-masing sebanyak 6 hari pertama pengomposan.

Emisi CO₂ pada substrat rerumputan juga didominasi oleh beberapa perlakuan. Selama 6 hari pertama pengomposan emisi CO₂ tertinggi pada substrat rerumputan adalah dari sampel perlakuan BRT-1+KS

dan BTB-1 serta substrat rerumputan dengan penambahan KS selama 4 hari pertama pengomposan. Sedangkan emisi CO₂ terendah pada substrat rerumputan yaitu perlakuan BTB-1+KS dan substrat rerumputan dengan penambahan KS selama 6 hari pertama pengomposan.

Emisi CO₂ total yang dihasilkan selama 20 hari pengomposan paling tinggi ditunjukkan oleh substrat rerumputan dengan perlakuan BRT-1+KS dan terendah pada substrat TKKS dengan perlakuan BRT-1. Nilai emisi total CO₂ yang dihasilkan selama 20 hari pengomposan disajikan pada (**Tabel 2**).

Tabel 2. Total emisi CO₂ (g/m²/20 hari) selama 20 hari pengomposan

Perlakuan Substrat	Kontrol	Kontrol + KS	BRT-1	BRT-1+KS	BTB-1	BTB-1+KS
TKKS	9,64A	-47,58A	-136,95A	-95,78A	-104,55A	-79,06A
Rerumputan	17,98a	-5,04a	11,08a	23,12a	20,13a	4,34a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji *Tamhane* dalam taraf kepercayaan 95%

Hasil analisis menunjukkan tidak adanya pengaruh dari petak utama dan anak petak terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan, kecuali pada hari ke 16 pengomposan yang dipengaruhi oleh anak petak. Perlakuan BRT-1+KS memberikan pengaruh paling tinggi, kemudian diikuti dengan substrat dengan penambahan KS, substrat tanpa perlakuan, BTB-1, BRT-1, dan BTB-1+KS.

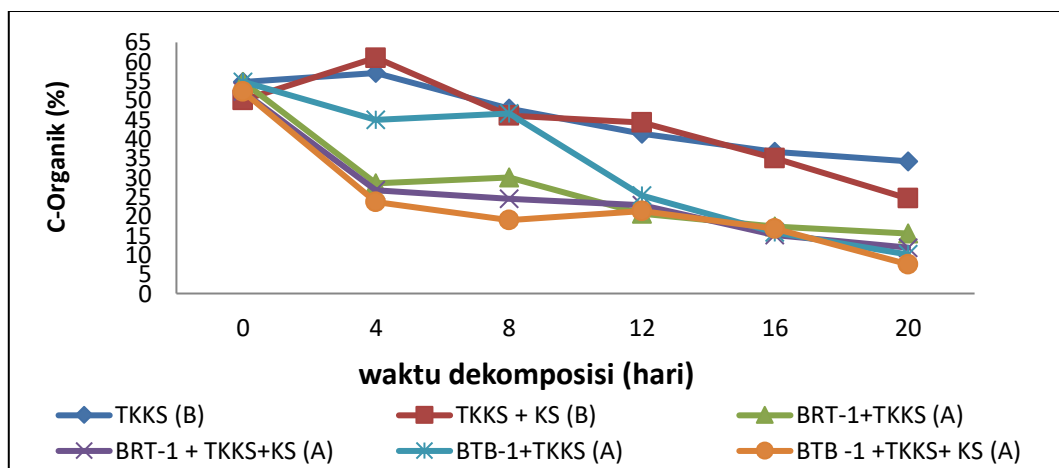
Namun secara keseluruhan, emisi total CO₂ yang dihasilkan selama proses pengomposan tidak dipengaruhi oleh petak utama, ulangan dan perlakuan.

Perubahan kadar C-Organik

Kadar C-organik pada pengomposan limbah pertanian menggunakan bakteri selulolitik *indigenous* pasang surut terus

menurun selama 20 hari pengomposan. Kadar C-organik paling rendah ditunjukkan oleh substrat TKKS perlakuan BTB-1+KS yaitu sebesar 7,55%. Nilai ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan kadar C-organik TKKS tanpa perlakuan yang relatif masih tinggi yakni sebesar 34,21%. Kadar C-organik ini kemudian diikuti oleh perlakuan BTB-1+R sebesar 10,08%, BRT-1+KS sebesar 11,87%, BRT-1 sebesar

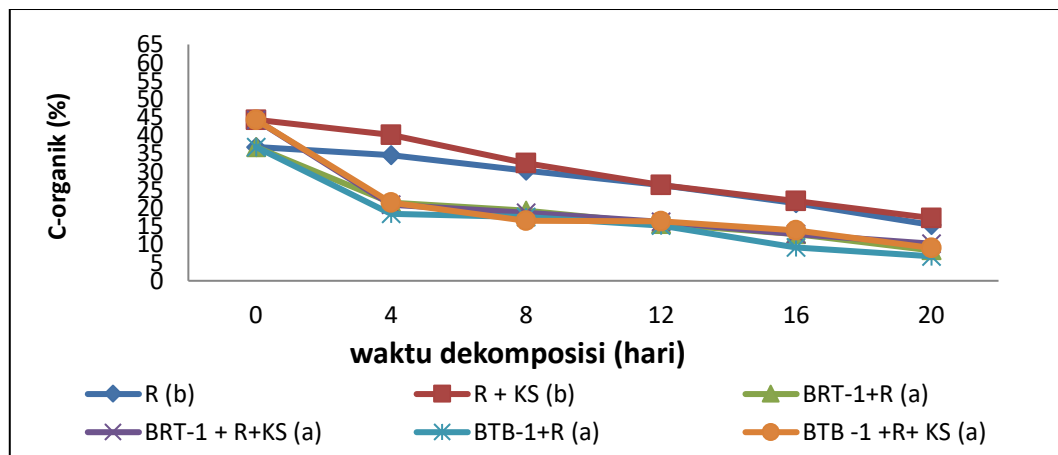
15,52% dan substrat dengan penambahan KS sebesar 24,58%. Grafik penurunan kadar C-organik selama pengomposan substrat TKKS disajikan pada (**Gambar 2**). Perlakuan penambahan bakteri selulolitik dan kotoran sapi pada substrat TKKS lebih cepat menurunkan kadar C-organik selama 20 hari pengomposan dibandingkan substrat tanpa perlakuan.



Gambar 2. Perubahan C-organik TKKS selama 20 hari pengomposan, huruf yang sama dalam kurung menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji *Tamhane* dalam taraf kepercayaan 95%

Sedangkan, pada rerumputan, perlakuan BTB-1 memiliki nilai C-organik paling rendah dibanding perlakuan lain yakni mencapai 6,74%, dibandingkan dengan rerumputan tanpa perlakuan yang memiliki kadar C-organik sebesar 15,39%. Kemudian diikuti sampel dengan perlakuan BRT-1 sebesar 8,37%, BTB-1+KS sebesar 9,04%, BRT-1+KS sebesar 10,22%, dan substrat rerumputan dengan penambahan

KS sebesar 17,26%. Berbeda halnya dengan substrat TKKS, pada substrat rerumputan, sampel perlakuan tanpa penambahan kotoran sapi memiliki nilai C-organik yang lebih rendah dibanding dengan perlakuan penambahan kotoran sapi. Perubahan kadar C-organik substrat rerumputan selama 20 hari pengomposan disajikan pada (**Gambar 3**).

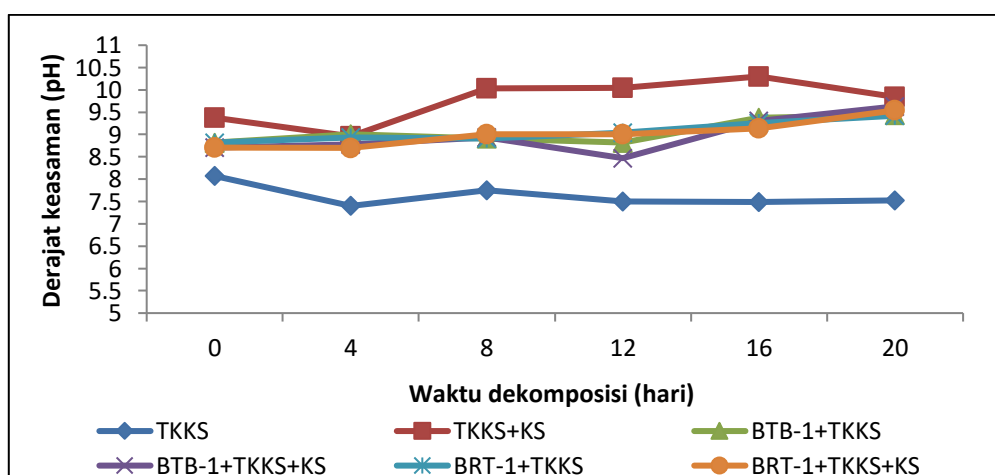


Gambar 3. Perubahan C-organik rerumputan selama 20 hari pengomposan, huruf yang sama dalam kurung menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji *Tamhane* dalam taraf kepercayaan 95%

Hasil analisis menunjukkan tidak adanya pengaruh dari petak utama namun terdapat pengaruh dari anak petak selama pengomposan terhadap perubahan kadar C-organik. Perlakuan BTB-1+KS memiliki pengaruh paling tinggi dibanding perlakuan lain. Kemudian diikuti oleh BRT-1+KS, BRT-1, BTB-1, substrat tanpa perlakuan dan substrat dengan penambahan KS.

Perubahan pH dan suhu

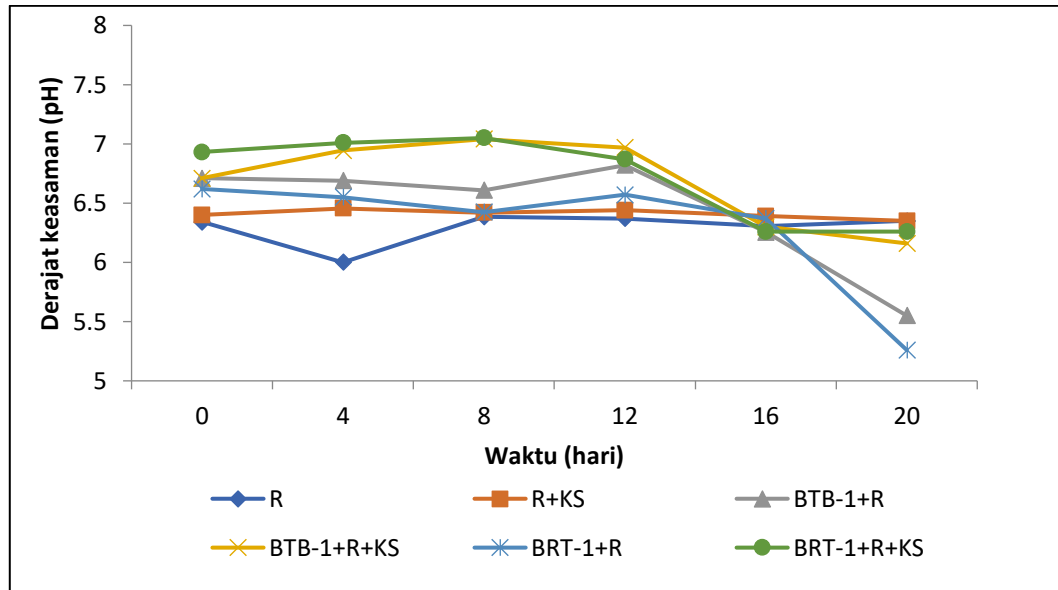
Perubahan pH selama pengomposan pada substrat TKKS relatif bersifat basa. Nilai pH tertinggi pada substrat TKKS dengan penambahan KS mencapai 10,3, sedangkan dengan penambahan bakteri selulolitik nilai pH rata-rata berkisar antara 7 - 9 (**Gambar 4**).



Gambar 4. Perubahan pH TKKS selama 20 hari pengomposan

Nilai pH ini berbeda pada substrat rerumputan dimana pH relatif sama dan stabil, yaitu berkisar antara 5 - 7 (**Gambar 5**). Hasil analisis statistik menunjukkan

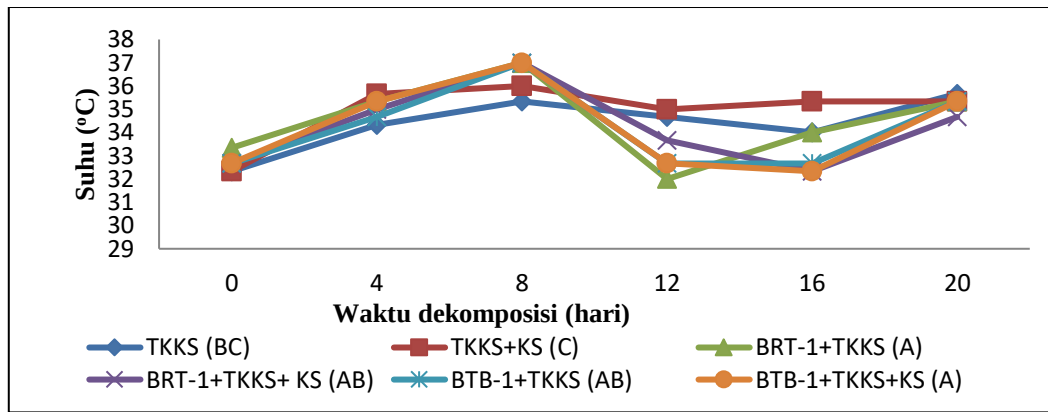
bahwa tidak ada efek dari petak utama dan anak petak terhadap perubahan pH selama 20 hari pengomposan.



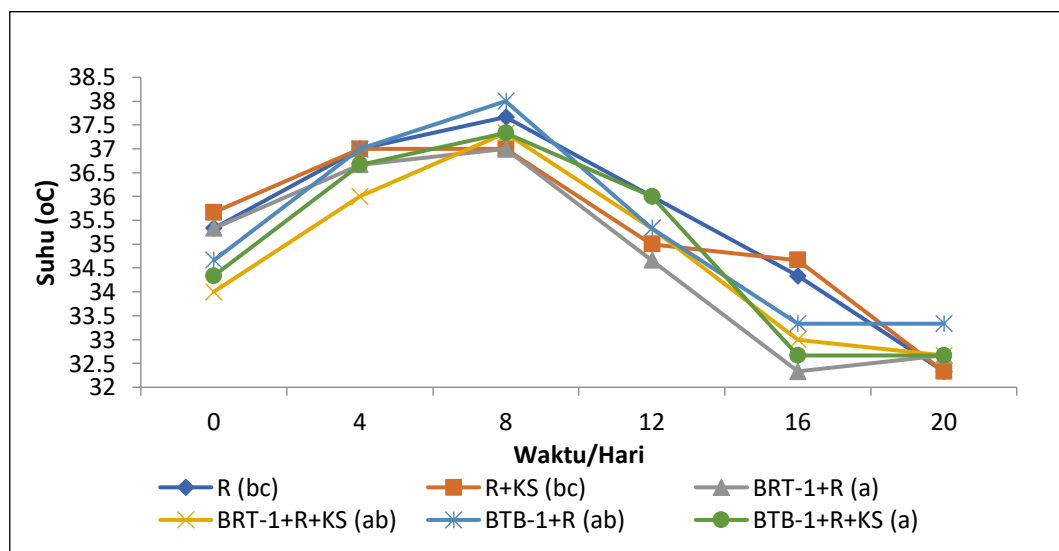
Gambar 5. Perubahan pH rerumputan selama 20 hari pengomposan

Suhu TKKS pada pengomposan mengalami peningkatan dan penurunan selama 20 hari pengamatan. Suhu tertinggi pada semua sampel substrat TKKS dicapai pada hari ke 8 pengomposan, kemudian kembali turun dan stabil hingga hari ke 20 pengomposan (**Gambar 6**). Hal yang sama juga terjadi pada substrat rerumputan, suhu optimum dicapai pada hari ke 8 dan terus menurun hingga hari ke 20 pengomposan (**Gambar 7**). Hasil analisis statistik

menunjukkan bahwa petak utama dan anak petak tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan suhu selama 20 hari pengomposan, kecuali pada hari ke 16 pengomposan dimana anak petak memberikan pengaruh. Perlakuan BRT-1 merupakan perlakuan yang paling mempengaruhi kemudian diikuti dengan BTB-1+KS, BTB-1, BRT-1+KS, substrat tanpa perlakuan dan substrat dengan penambahan KS.



Gambar 6. Perubahan suhu TKKS selama 20 hari pengomposan, huruf yang sama dalam kurung menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji *Tamhane* dalam taraf kepercayaan 95% pada hari ke 16 pengomposan



Gambar 7. Perubahan suhu rerumputan selama 20 hari pengomposan, huruf yang sama dalam kurung menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji *Tamhane* dalam taraf kepercayaan 95% pada hari ke 16 pengomposan

Berdasarkan hasil pengukuran pada semua parameter tersebut, maka dibuat peringkat (ranking) untuk memperlihatkan perlakuan yang menghasilkan kompos terbaik. Kompos TKKS terbaik yaitu pada sampel BTB-1+ KS, sedangkan pada rerumputan kompos terbaik didapat pada sampel BTB-1. Hal ini membuktikan bahwa sampel dengan penambahan BTB-1

pada kedua limbah pertanian yang digunakan adalah yang terbaik. Ranking kompos terbaik kemudian diikuti dengan penambahan BRT-1, penambahan kotoran sapi, dan terakhir sampel limbah tanpa perlakuan. Pemberian ranking tersebut disajikan pada (Tabel 3 dan 4) untuk masing-masing kompos TKKS dan rerumputan.

Tabel 3. Ranking perlakuan selama pengomposan TKKS menggunakan bakteri selulolitik *indigenus*

Perlakuan	Ranking					Rerata
	CH ₄	CO ₂	C-organik	pH	Suhu	
TKKS	4	6	6	1	3	4
TKKS+KS	6	5	5	6	2	4,8
BRT-1+TKKS	3	1	4	2	2	2,4
BRT-1 +TKKS+KS	2	3	3	5	1	2,8
BTB-1+TKKS	5	2	2	3	2	2,8
BTB-1 +TKKS+KS	1	4	1	4	2	2,4

Keterangan: Ranking berdasarkan nilai paling rendah (1) hingga paling tinggi (6); emisi CH₄ terendah hingga tertinggi, emisi CO₂ terendah hingga tertinggi, kadar C-organik terendah hingga tertinggi, pH terendah hingga tertinggi dan suhu terendah hingga tertinggi

Tabel 4. Ranking perlakuan selama pengomposan rerumputan menggunakan bakteri selulolitik *indigenus*

Perlakuan	Ranking					Rerata
	CH ₄	CO ₂	C-organik	pH	Suhu	
R	2	4	5	5	1	3,4
R+KS	3	1	6	5	2	3,4
BRT-1+R	4	3	3	1	3	2,8
BRT-1+R+KS	6	6	4	4	3	4,6
BTB-1+R	1	5	1	2	3	2,4
BTB-1+R+KS	5	2	2	3	3	3

Keterangan: Ranking berdasarkan nilai paling rendah (1) hingga paling tinggi (6); emisi CH₄ terendah hingga tertinggi, emisi CO₂ terendah hingga tertinggi, kadar C-organik terendah hingga tertinggi, pH terendah hingga tertinggi dan suhu terendah hingga tertinggi

Pembahasan

Emisi gas CH₄ dan CO₂

Penambahan BRT-1 pada penelitian ini menghasilkan emisi lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan BTB-1. Namun hasil uji statistik menunjukkan bahwa perlakuan pengomposan dengan penambahan bakteri selulolitik dari genus *Bacillus* pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh nyata terhadap emisi CH₄ dan CO₂. Pernyataan ini diperkuat dengan hasil penelitian El Bied *et al* (2024) yang menunjukan bahwa ada pengaruh

nyata dari penambahan bakteri genus *Bacillus* jika dikombinasikan dengan bahan aditif biologis lainnya dalam reduksi emisi gas metana, karbon dioksida, dan ammonia, tetapi jika digunakan secara terpisah maka menunjukkan hasil yang berbeda.. Penggunaan dua jenis limbah pada penelitian ini juga tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap emisi CH₄ dan CO₂. Limbah TKKS dan rerumputan memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin yang cukup tinggi. Seperti halnya tanaman yang umumnya terdiri atas

berbagai macam komponen, diantaranya 15-60% selulosa, 10-30% hemiselulosa, 5-30% lignin, 2-15% protein, 10% gula, asam amino dan asam organik (Rao, 2001). Sehingga pada prosesnya, penambahan bakteri selulolitik dalam mempercepat proses perombakan komposisi kandungan substrat tidak dipengaruhi oleh jenis limbah.

Emisi total CH₄ tertinggi dihasilkan pada perlakuan BRT-1+KS dari substrat rerumputan yaitu sebesar 0,00346 g/m²/20 hari atau setara dengan 0,06314 g/m²/tahun. Perlakuan BRT-1+KS dari substrat rerumputan ini juga merupakan sampel yang menghasilkan emisi CH₄ tertinggi selama 6 hari pengomposan. Sedangkan emisi total CH₄ paling rendah dihasilkan pada perlakuan BTB-1+KS dari substrat TKKS, yaitu sebesar -3,2009 g/m²/20 hari atau setara dengan -58,4172 g/m²/tahun. Seperti halnya emisi CH₄, emisi CO₂ yang dihasilkan selama pengomposan juga didominasi oleh perlakuan BRT-1+KS substrat rerumputan yaitu sebesar 23,128 g/m²/20 hari atau setara dengan 422,089 g/m²/tahun. Sedangkan emisi terendah dihasilkan oleh BRT-1 substrat TKKS yaitu sebesar -136,95 g/m²/20 hari atau setara dengan -2499,33 g/m²/tahun.

Emisi total CH₄ tertinggi sebesar 0,00345 g/m²/20 hari pada penelitian ini jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan emisi pada beberapa penelitian lain. Seperti

pada pengomposan limbah kotoran babi yang menghasilkan emisi CH₄ sebesar 0,6 hingga 385 g CH₄/m³ dengan pengendalian aerasi dan pengomposan sampah rumah secara anaerobik yang menghasilkan emisi CH₄ sebesar 9,5 mg/m²/hr (Osada *et al.* 2000; Chan *et al.* 2009). Demikian halnya dengan emisi CO₂ tertinggi pada penelitian ini sebesar 422,080 g/m²/tahun yang juga dapat dikatakan rendah jika dibandingkan dengan nilai emisi pada penelitian Luske (2010) yang menghasilkan 3,23 ton CO₂/ha/tahun selama pengomposan. Sehingga dapat dikatakan bahwa pengomposan pada penelitian ini tidak memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan emisi gas di lingkungan.

Selama pengomposan terjadi perubahan unsur kimia, yaitu: (1) karbohidrat, selulosa, hemiselulosa, lemak dan lilin menjadi CO₂ dan H₂O. (2) penguraian senyawa organik menjadi senyawa sederhana yang mampu diserap oleh tanaman (Prihandini, 2007). Isolat bakteri selulolitik BRT-1 dan BTB-1 merupakan genera *Bacilli* yang bersifat fakultatif anaerob, asidofilik atau alkalifilik, psikrofilik atau termofilik (Hatmanti, 2000) serta mampu mendegradasi senyawa organik seperti selulosa, pati, protein, hidrokarbon dan agar. Isolat bakteri selulolitik BRT-1 dan BTB-1 merupakan bakteri yang memiliki kemampuan

hidrolisis selulosa yang dinyatakan dalam nilai indeks selulolitik (Ramadhani, 2012).

Isolat bakteri selulolitik BRT-1 memiliki indeks selulolitik sebesar 4,32 lebih besar dibandingkan dengan isolat bakteri BTB-1 yang memiliki indeks selulolitik sebesar 2,40 (Nur & Krisdianto, 2009). Besaran indeks selulolitik ini menunjukkan kemampuan enzim selulase yang mampu memotong ikatan lignoselulosa yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin serta kandungan organik lain yang ada pada limbah pertanian (Hatmanti, 2000). Kemampuan dalam memutus ikatan ini menghasilkan CH₄ dan CO₂ sebagai hasil perombakan kandungan organik dari limbah (Waluyo, 2005).

Emisi paling tinggi pada penelitian ini dihasilkan pada 10 hari pertama pengomposan dan semakin berkurang hingga hari 20. Hal ini juga berkaitan dengan aktivitas selulase dan pertumbuhan sel harian isolat bakteri selulolitik BRT-1 dan BTB-1 yang digunakan pada penelitian ini. Isolat bakteri selulolitik BRT-1 memiliki aktivitas dan waktu optimum terbaik pada hari ke-2, sedangkan isolat bakteri selulolitik BTB-1 pada hari ke-6 (Ramadhani, 2012). Penurunan emisi pada penelitian ini seiring dengan penelitian Osada *et al.* (2000) dan Szanto *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa pada awal pengomposan dihasilkan emisi yang tinggi

dan akan semakin menurun seiring lamanya pengomposan berlangsung.

Kompos dengan pengelolaan yang baik mampu menekan emisi (Suprihatin, 2002). Bahkan pemakaian kompos sebagai medium tumbuh juga dapat menggantikan gambut dalam mengurangi emisi (Boldrin *et al.*, 2009). Beberapa penelitian lain juga membuktikan bahwa pengomposan mampu mengurangi kontribusi emisi dari limbah. Luske (2010) dalam penelitiannya membuktikan bahwa pengomposan mampu menurunkan emisi hingga 90% dari perhitungan perkiraan emisi awal yang dihasilkan. Sesuai dengan penelitian Patter *et al.* (2005) yang menyatakan bahwa pengomposan berpotensi menurunkan emisi CO₂, dimana penimbunan kotoran ternak menghasilkan 1,46 kali CO₂ lebih tinggi dibandingkan dari pengomposan menggunakan pupuk kandang. Hasil pengukuran emisi selama 20 hari pengomposan menunjukkan adanya nilai positif dan negatif. Nilai negatif pada emisi CH₄ dan CO₂ yang terukur selama pengomposan mengindikasikan bahwa substrat kompos maupun bakteri yang berperan selama pengomposan mampu berperan sebagai perosot (*sink*). Seperti yang dilaporkan oleh Inubushi *et al.* (2003), Inoue *et al.* (2011) dan Cheng (2008) bahwa nilai negatif mengindikasikan adanya perosot (*sink*) emisi gas atau juga bisa berarti bahwa gas yang keluar

terperangkap kembali. Sedangkan nilai positif menunjukkan terjadinya pelepasan CH_4 dan CO_2 ke atmosfer (Paretta, 2009).

Selain penggunaan limbah padat organik, pengomposan pada penelitian ini juga menggunakan penambahan kotoran sapi. Pengukuran emisi pada perlakuan dengan penambahan bakteri selulolitik dan kotoran sapi pada penelitian ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa penambahan kotoran sapi. Hal ini dikarenakan kotoran hasil metabolisme anaerob pada ternak merupakan salah satu penghasil emisi gas. Seperti halnya yang dilaporkan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change/IPCC* (1994) bahwa emisi CH_4 (kg CH_4 /ekor/tahun) dihasilkan salah satunya dari pengelolaan ternak masing-masing sapi perah 27, sapi pedaging 2, babi 7, kerbau 3, kambing 0,37, domba 0,23, kuda 2,77, unggas (ayam dan bebek) 0,157. Data ini diasumsikan bahwa kotoran ternak tersebut dikelola dengan cara dikeringkan. Demikian halnya dengan yang disampaikan oleh Departemen Pertanian (2007) yang menyatakan bahwa salah satu sumber emisi gas CH_4 berasal dari aktivitas pengelolaan kotoran ternak, seperti hasil aktivitas dekomposisi secara anaerobik. Selain itu, aktivitas dari arkea bakteri metanogen juga mungkin menjadi penyebab peningkatan emisi dari CH_4 yang kemudian bernilai negatif. Munculnya arkea bakteri

metanogen ini disebabkan oleh kondisi anaerob yang kemudian menstimulasi populasi dan aktivitas arkea bakteri tersebut (Paretta, 2009).

Selama 20 hari pengomposan, emisi CO_2 yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan CH_4 . Terdapat berbagai macam cara yang mampu memicu peningkatan emisi CO_2 selama pengomposan. Salah satunya proses respirasi yang dilakukan oleh mikroorganisme dan menurunnya kandungan O_2 selama pengomposan (Osaki *et al.* 2011; Szanto *et al.*, 2007). Degradasi dari C-organik substrat selama pengomposan juga mempengaruhi pelepasan CH_4 dan CO_2 ke atmosfer. Selain itu, kemungkinan terjadinya oksidasi CH_4 menjadi CO_2 juga merupakan salah satu kemungkinan tingginya emisi CO_2 selama pengomposan (Boldrin *et al.*, 2009). Sehingga pada pengomposan dalam kondisi aerob maupun anaerob berpotensi menghasilkan emisi CO_2 .

Perubahan kadar C-Organik

Penambahan dekomposer (bakteri selulolitik isolat BTB-1 dan BRT-1) pada penelitian ini memberikan pengaruh yang nyata terhadap perubahan kadar C-organik. Limbah TKKS dan rerumputan memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi, sehingga dua bakteri selulolitik yang digunakan pada pengomposan ini mampu

bekerja maksimal dalam merombak kandungan senyawa penyusun dalam substrat tersebut menggunakan kompleks enzim selulase. Pengomposan yang dilakukan pada penelitian ini berhasil menurunkan kadar C-organik pada TKKS dan rerumputan selama 20 hari. Kadar C-organik akan berkurang seiring dengan lamanya waktu pengomposan, demikian halnya pada pengomposan dalam penelitian ini. Penurunan kadar C-organik ini semakin cepat apabila pengomposan dilakukan dengan menggunakan bioaktivator/biodekomposer. Hal serupa juga terjadi pada pengomposan limbah sayuran menggunakan *Pseudomonas aeruginosa* selama 20 hari dan pengomposan sampah rumah tangga dengan penambahan berbagai macam dekomposer selama 4 minggu (Sulistyaningsih *et al.*, 2007; Krismawati & Asnita, 2011). Bahkan pada penelitian Manurung (2009) berhasil menurunkan kadar C/N limbah biji jarak pagar hanya dalam waktu 2 minggu. Penelitian-penelitian tersebut berkesesuaian dalam membuktikan bahwa penambahan biodekomposer sebagai pemicu, dapat menurunkan kadar C-organik pada tanaman secara signifikan pada pengomposan Jerami padi menggunakan inokulan bakteri selulolitik dan xilanolitik (Nur dkk, 2009).

Kadar C-organik paling rendah pada kompos ini didominasi oleh penambahan

isolat bakteri selulolitik BTB-1. Pada substrat TKKS, kadar C-organik paling rendah ditunjukkan oleh perlakuan BTB-1+KS sebesar 7,55. Sedangkan pada substrat rerumputan, C-organik paling rendah ditunjukkan oleh perlakuan BTB-1 sebesar 6,74. Penurunan kadar C-organik pada kedua substrat terjadi secara signifikan bahkan pada hari ke 4 setelah pengomposan. Hal ini sesuai dengan aktivitas selulase pada isolat bakteri selulolitik BRT-1 dan BTB-1 yang mampu bekerja optimum dimulai pada hari ke-2 dan ke-6 (Ramadhani, 2012). Kadar C-organik menurun dengan cepat pada awal pengomposan. Hal ini berbanding terbalik dengan peningkatan emisi CH₄ dan CO₂ yang meningkat pada awal pengomposan. Hal tersebut terjadi karena adanya perubahan unsur kimia dari selulosa, hemiselulosa, karbohidrat, lemak dan lilin pada tanaman menjadi CO₂ dan H₂O (Prihandini, 2007). Selain itu, keterkaitan antara kadar C-organik dengan emisi CH₄ dan CO₂ kemungkinan terjadi karena perombakan unsur karbon dan oksigen menjadi kalori dan karbondioksida oleh mikroba (Krismawati & Asnita, 2011).

Manurung (2009) dalam penelitiannya menyatakan bahwa selama 2 minggu pengomposan, EM₄ yang digunakan sebagai pemicu pengomposan akan mati dan unsur penyusun tubuh mikroorganisme tersebut akan dilepaskan. Kondisi ini

menyebabkan kadar C-organik menjadi lebih rendah karena banyak karbon yang berubah menjadi CO₂ dan menguap diudara. Dalam penelitian ini, bakteri yang berperan selama pengomposan dan menurunkan kadar C-organik adalah isolat BRT-1 dan BTB-1 yang merupakan bakteri selulolitik. Bakteri selulolitik memiliki kemampuan dalam merombak rantai oligo-sakarida menjadi selobiosa menggunakan enzim selulase (Meryandini, 2009). Tanaman umumnya memiliki kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin pada dinding selnya (Rao, 2001). Selulosa umumnya terbungkus dan terikat secara ikatan kovalen maupun non-kovalen pada lignin dan hemiselulosa sehingga mengganggu aktivitas enzim selulase yang spesifik memotong ikatan β -1,4-glikosidik. Oleh karena itu, dilakukan pemotongan untuk memperluas permukaan substrat dan memperbesar kontak antara enzim selulase dan komponen selulosa (Meryandini *et al.*, 2009).

Isolat bakteri selulolitik BRT-1 memiliki indeks selulolitik yang lebih besar jika dibandingkan dengan BTB-1, yakni 4,32 dan 2,40 (Nur & Krisdianto, 2009). Perbedaan nilai indeks selulolitik ini tidak menjadi acuan bahwa isolat bakteri BRT-1 mampu memecah selulosa lebih baik dibandingkan isolate bakteri BTB-1. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pada penelitian ini yang menunjukkan bahwa C-

organik terendah diperoleh pada kompos dengan penambahan BTB-1. Kemampuan BTB-1 yang lebih baik dibandingkan BRT-1 kemungkinan terjadi karena BTB-1 merupakan bakteri selulolitik *indigenous* asal *rhizosphere* bambu, sedangkan BRT-1 merupakan bakteri selulolitik *indigenous* asal *rhizosphere* talas (Nur & Krisdianto, 2009).

Perubahan pH dan suhu

pH atau derajat keasaman merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas kompos. pH yang diharapkan dari proses pengomposan berkisar antara 6,5 – 8,0 (Krismawati & Asnita, 2011). pH substrat TKKS selama pengomposan dengan penambahan bakteri selulolitik dan kotoran sapi berkisar antara 7 – 9 yang berarti bahwa pH selama pengomposan ini tidak jauh berbeda dengan yang diharapkan. Namun hal ini tidak berlaku terhadap sampel TKKS tanpa perlakuan, dimana pH bahkan mencapai hingga 10. Berbeda dengan pH TKKS yang memiliki perbedaan antara sampel dengan perlakuan dan tanpa perlakuan, pH pada rerumputan relatif sama. pH rerumputan berkisar antara 5 – 7, sesuai dengan kriteria kompos menurut SNI-19-7030-2004.

Kondisi pH yang relatif basa untuk substrat TKKS dan relatif netral pada rerumputan tidak memberikan pengaruh pada proses pengomposan. Hal ini

ditunjukkan dengan tidak adanya pengaruh baik pada petak utama, anak petak maupun ulangan terhadap pH pengomposan dalam penelitian ini. Kondisi ini bahkan memiliki dampak yang positif terhadap proses dekomposisi karena pada kondisi ini ikatan lignoselulosa menjadi lebih mudah dipecah, salah satunya oleh enzim selulase dari bakteri selulolitik. Selain itu, kisaran pH ini juga tidak menghambat kerja bakteri selulolitik yang digunakan dalam pengomposan ini, karena isolat bakteri selulolitik BTB-1 dan BRT-1 mampu bekerja pada kisaran pH optimum 4,0 sampai 7,0 (Nur & Krisdianto, 2009). Selain itu, pH juga mempengaruhi pembentukan gas CH₄. Wang *et al.* (1993) mengemukakan bahwa pembentukan CH₄ maksimum terjadi pada pH 6,9 hingga 7,1. Perubahan pada pH akan menyebabkan menurunnya pembentukan CH₄. Pada pH di bawah 5,75 atau di atas 8,75 menyebabkan pembentukan CH₄ terhambat. Hal ini menjelaskan kenapa emisi CH₄ paling rendah dihasilkan pada substrat TKKS dengan pH substrat mencapai 9.

Suhu merupakan salah satu faktor yang juga mempengaruhi kualitas kompos. Suhu optimal pengomposan berlangsung pada 30-45°C (Krismawati & Asnita, 2011). Apabila suhu pengomposan lebih dari 20°C maka menunjukkan aktivitas mikrob cukup baik dan laju metabolisme meningkat cepat.

Namun jika suhu dalam proses pengomposan berkisar kurang dari 20°C maka kompos dinyatakan gagal (Firmansyah, 2010). Selama 20 hari pengomposan, suhu TKKS berkisar antara 32°C hingga 37°C. Sampel dengan penambahan dekomposer sebagai pemicu proses dekomposisi mencapai suhu optimum hingga 37°C pada hari ke-8 dan semuanya mengalami penurunan pada hari ke-12 hingga mencapai 32°C kemudian kembali naik hingga hari ke-20 mencapai 35°C. Hal serupa juga terjadi pada kompos rerumputan, dimana pada hari ke 8 suhu substrat mengalami kenaikan hingga mencapai 38°C dan kembali menurun pada hari berikutnya.

Peningkatan suhu yang terjadi tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap semua perlakuan pada kedua jenis limbah. Hal ini juga ditunjukkan dari hasil analisis yang menunjukkan tidak adanya pengaruh dari petak utama, anak petak dan ulangan terhadap perubahan suhu selama pengomposan.

Proses pengomposan berlangsung secara mesofilik karena berkisar antara suhu 32 – 37°C, tidak lebih dari kisaran suhu mesofilik yaitu antara 23 – 45°C. Selain itu, kondisi aerob maupun anaerob juga mempengaruhi kisaran suhu selama pengomposan. Seperti yang disampaikan oleh Szanto *et al.* (2007) bahwa

pengomposan secara aerob menunjukkan adanya peningkatan suhu yang signifikan pada kompos hingga mencapai 60°C setelah 6 hari pengomposan. Hal serupa juga disampaikan Osada *et al.* (2000) yang membuktikan bahwa pada pengomposan dengan aerasi kurang dari 38,51/m³/min atau oksigen <5% akan memperlambat kerja dari mikroorganisme aerob sehingga suhu yang terukur selama pengomposan tidak menunjukkan kenaikan yang signifikan. Namun pada penelitian ini kisaran suhu pengomposan tidak dipengaruhi secara optimal oleh isolat bakteri BRT-1 maupun BTB-1 yang memiliki aktivitas optimum pada suhu 70-80°C (Nur & Krisdianto, 2009). Hal ini kemungkinan dikarenakan rendahnya tumpukan kompos dalam *chamber* selama pengomposan. Pengomposan dinyatakan selesai dan memberikan hasil yang baik jika sudah mendekati tekstur dan kandungan hara mirip tanah (SNI-19-7030-2004). Pengomposan yang dilakukan dengan menggunakan bakteri selulolitik *indigenous* pasang surut selama 20 hari telah menunjukkan kriteria mendekati kompos yang baik. Tekstur substrat TKKS dan rerumputan yang semula keras dan berwarna coklat muda, setelah 20 hari pengomposan menjadi lembek dan berwarna hitam. Hal ini membuktikan bahwa pengomposan yang dilakukan

selama waktu 20 hari telah berlangsung dengan baik.

KESIMPULAN

1. Penambahan bakteri selulolitik *indigenous* memberikan efek terhadap perubahan kadar C-organik substrat tetapi tidak memberikan efek terhadap emisi CH₄ dan CO₂.
2. Pemanfaatan dua jenis limbah TKKS dan rerumputan tidak berpengaruh terhadap emisi gas yang dihasilkan. Emisi CH₄ tertinggi dihasilkan pada substrat rerumputan dengan perlakuan BRT-1+KS sebesar 0,00346 g/m²/20 hari dan terendah pada substrat TKKS perlakuan BTB-1+KS sebesar 3,20094 g/m²/20 hari. Emisi CO₂ tertinggi dihasilkan oleh substrat rerumputan perlakuan BRT-1+KS sebesar 23,12815 g/m²/20 hari dan terendah pada substrat TKKS perlakuan BRT-1 sebesar 136,95 g/m²/20 hari.
3. Pemakaian dua jenis limbah TKKS dan rerumputan tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap perubahan kadar C-organik. Kadar C-organik diakhir pengomposan pada substrat TKKS paling rendah sebesar 7,55% dan substrat rerumputan 6,74% dengan perlakuan BTB-1+KS untuk TKKS

dan BTB-1 untuk rerumpunan
berdasarkan pemerangkapan

parameter pengomposan dan emisi
gas

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2009. *Perkembangan Beberapa Indikator Utama Sosial-Ekonomi Indonesia, Trends of the Selected Socio-Economic Indicators of Indonesia*. Badan Pusat Statistik, Jakarta-Indonesia.
- Agus, F. 2005. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Boldrin, A., Andersen, J.K., Møller, J., Christensen, T.H. 2009. Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and global Warming Contributions. *Waste Management and Research*. 2009: 27: 800-812.
- Campaign, P.O.G.D. 2011. *Manfaat Minyak Sawit bagi Perekonomian Indonesia*. Arlington.
- Chan, Y.C., Sinha, R.K., Wang, W.J. 2009. *Emission of Greenhouse Gases from Home Aerobic Composting, Anaerobic Digestion and Vermicomposting of Household Wastes in Brisbane (Australia)*. Griffith University, Nathan, QLD 4111, Australia.
- , K. Inubushi., Md.M. Hoque., H. Sasaki., K. Kobayashi., K. Yagi., M. Okada., T. Hasegawa. 2008. Effect of Elevated [CO₂] on Soil Bubble and CH₄ Emission from a Rice Paddy: A Test by ¹³C Pulse-Labeling under Free-Air CO₂ Enrichment. *Geomicrobiology Journal*, 25:396-403, 2008.
- Departemen Pertanian. 2007. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian. *Agenda Nasional [2008-2015] dan Rencana Aksi [2008-2009]*.
- El Bied, MAT Turbi, MG Garrido, AF Cano, and JA Aeosta. 2024. Reducing Methane, Carbon Dioxide, and Ammonia Emissions from Stored Pig Slurry Using Bacillus-Biological Additives and Aeration. *Environments* (2024) 11(8) 171.
- Firmansyah, M.A. 2010. Teknik Pembuatan Kompos. *Pelatihan Petani Plasma Kelapa Sawit*. BPTP Kalimantan Tengah, 2010.
- Hadi, A. 2001. *Effect of Land-Use Management on Greenhouse Gas Emissions from Peat Soil*. Thesis Graduate School of Science and Technology Chiba University, Chiba.
- Hatmanti, A. 2000. Pengenalan *Bacillus* spp. *Oseana*, Volume XXV, Nomor 1, 2000:31-41.
- Inoue, G., M. Kawasaki., Kobayashi, N., Osaki, M., Hirose. K. 2011. MRV of Carbon Dioxide Emission Estimation by Lateral Flux Method. *Proceedings of 2nd International Workshop on "Wild Fire and Carbon Management in Peat-Forest in Indonesia*. Palangka Raya, Indonesia, 28-29 September 2010. Hal 117-121.
- Inubushi, K. A. Pratoto., M. Hashitani., H. Kasai. 2007. Effect of Empty

- Fruit Bunch Dumping on Greenhouse Gas Emissions in Oil-Palm Plantation.
- , W. Cheng., S. Aonuma., M.M. Hoque., K. Kobayashi., S. Miura., H.Y. Kim., M. Okada. 2003. Effect of Free-air CO₂ Enrichment (FACE) on CH₄ Emission from a Rice Paddy Field. *Global Change Biology* (2003) 9, 1458-1464.
- Kaharudin & S.M. Farida. 2010. *Manajemen Umum Limbah Ternak Untuk Kompos dan Biogas*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian NTB.
- Krismawati, A. & R. Asnita. 2011. Ragam Inovasi pendukung Pertanian Daerah. *Sinartani* Edisi 3-9 Agustus 2011 No. 3417 Tahun XLI Badan Litbang Pertanian, Jakarta.
- Luske, B. 2010. *Reduced GHG Emissions Due to Compost Production and Compost Use in Egypt*. Louis Bolk Institute, Egypt.
- Manurung, H. 2009. Kecepatan Dekomposisi Limbah Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) dengan Aplikasi Bioaktivator EM₄ dan Tricolant (Analisis Ratio C/N). *Bioprospek*, volume 6, Nomor II, September, 2009.
- Mattjik, A.A., M. Sumertajaya. 2002. *Perancangan Percobaan dengan Aplikasi SAS dan Minitab*. IPB Press, Bogor.
- Mitchell, R. 1992. *Environmental Microbiology*. Wiley-Liss, Inc. New York.
- Ministry of Enviroment Republic of Indonesia. 2010. *Indonesia Second National Communication Under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ministry of Environment Republic of Indonesia, Jakarta.
- Nasrul & T. Maimun. 2009. Pengaruh Penambahan Jamur Pelapuk Putih (*White Rot Fungi*) pada Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Vol. 7, No. 2, hal. 194-199, 2009.
- Nur,HS, A. Meryandini, Hamim. 2009. Pemanfaatan Bakteri Selulolitik dan Xilanolitik untuk Dekomposisi Jerami Padi. *J Tanah Trop* (2009) 14(1): 71-80.
- Nur, H.S. & Krisdianto. 2009^a. *Isolasi dan Seleksi Selulase Bakteri Asal Rizosfer Pertanian Pasang Surut dalam Upaya Menggali Bioaktivator untuk Dekomposisi Limbah Pertanian*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru (tidak dipublikasikan).
- , 2010^b. *Isolasi dan Seleksi Selulase Bakteri Asal Tanah Pertanian Pasang Surut dalam Upaya Menggali Bioaktivator untuk Dekomposisi Limbah Pertanian*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Lanjutan, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru (tidak dipublikasikan).
- , Meryandini, A., Hamim. 2009. Pemanfaatan Bakteri Selulolitik dan Xilanolitik yang Potensial untuk Dekomposisi Jerami Padi. *J. Tanah Trop.*, Vol. 14, No. 1, 2009 :71-80.
- Nurmayani, D. 2007. *Isolasi dan Uji Potensi Mikroorganisme Selulolitik Asal Tanah Gambut dan Kayu sedang Melapuk dalam Mendekomposisikan Kayu*. Skripsi Fakultas

- Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Obidzinski, K. 2013. *Berkas Fakta – Indonesia Pimpin Produksi Minyak Sawit Dunia*. http://blog.cifor.org/17819/berkas-fakta-indonesia-pimpin-produksi-minyak-sawit-dunia#.Usru9_uPBDk
Diakses tanggal 06 Januari 2014
- Osada, T., Kuroda, K., Yonaga, M. 2000. Determination of Nitrous Oxide, Methane, and Ammonia Emissions from a Swine Waste Composting Process. *J Mater Cycles Waste Manag* (2000) 2:51-56.
- Osaki, M., H. Takahashi., T. Honma., H. Hayasaka., T. Kohyama., T. Shunitz. K. Hirose., H. Segah., S. Shiodera., E. Momota., B. Setiadi., H. Simbolon., A. Hidayat., N. Masripatin., K. Widen. 2011. *Proceedings of 2nd International Workshop "Wild Fire and Carbon Management in Peat forest in Indonesia"* 28-29 September 2010, Palangka Raya, Indonesia.
- Paretta, E. 2009. *Pengaruh Slag (AgriPower) Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi Serta Emisi Gas Rumah Kaca (CH₄ dan N₂O)*. Skripsi Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Patter, E., Trzcinski, M.K., Desjardins, R.L. 2005. Quantifying the Reduction of Greenhouse Gas Emissions as a Result of Composting Dairy and Beef Cattle Manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystem* (2005) 72:173-187.
- Pointing, S.B. 1999. Qualitative Methods for the Determination of Lignocellulolytic Enzyme production by Tropical Fungi. *Fungal Diversity* 2 (March 1999).
- Prihandini, P.W., T. Purwanto. 2007. *Petunjuk Teknis Pembuatan Kompos Berbahan Kotoran Sapi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan, Pasuruan.
- Ramadhani, D. 2012. *Pertumbuhan dan Aktivitas Enzim Selulase Isolat Bakteri Selulolitik BRT-1, BTB-1, SJSK-2 pada Sumber Karbon dan Nitrogen Berbeda*. Skripsi Program Studi Biologi, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Rao, S. N.S. 2001. *Soil Microbiology*. Fourth edition : *Soil Microorganisms and Plant Growth*. Science Publishers, Inc., New York.
- Subdit Pengelolaan Lingkungan. 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Departemen Pertanian, Jakarta.
- Sulistyaningsih, N., W.S. Wahyuni dan A. Mudjiharjati. 2007. Potensi Pseudomonas aeruginase dalam Ekstrak Pupuk Kompos Limbah Sayuran sebagai Biofertilizer tembakau Cerutu. *Jurnal Pertanian mapeta* Vol. 10 No. 1 Desember 2007 : 42-50.
- Suprihatin, N. S. Indrasti., M. Romli. 2002. Potensi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Melalui Pengomposan Sampah. *Jurnal Teknologi Industri pertanian*. Vol. 18(1), 53-59.
- Suwardi. 2004. *Teknologi Pengomposan Bahan Organik sebagai Pilar Pertanian Organik*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Szanto, G.L., H.V.M. Hamelers, W.H. Rulkens, A.H.M. Veeken. 2007.

NH₃, N₂O and CH₄ Emissions During Passively Aerated Composting of Straw-Rich Pig Manure. *Bioresource Technology* 98 (2007) 2659-2670.

Waluyo, L. 2005. *Mikrobiologi Umum*. UMM Press, Malang.

Wang L, Longxiang T, Maosong X, Guifen X, Jiaseng H, Yide X. 1993. Dehydrogenation and Aromatization of Methane Under Non-Oxidazing Conditions. *Catalysis Letters* 21(35-41).