

**BIOKONVERSI *PALM KERNEL MEAL* (PKM)
DAN POLA SUKSESI BAKTERI PADA BIOKONVERSI
PALM KERNEL MEAL TERKONVERSI (PKMK)
OLEH LARVA *Hermetia illucens* L. (MAGGOT)**

AULIA

0706298905



UNIVERSITAS INDONESIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM**

PROGRAM PASCASARJANA

PROGRAM STUDI BIOLOGI

DEPOK

2009

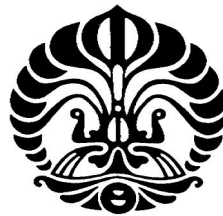
**BIOKONVERSI *PALM KERNEL MEAL* (PKM)
DAN POLA SUKSESI BAKTERI PADA BIOKONVERSI
PALM KERNEL MEAL TERKONVERSI (PKMK)
OLEH LARVA *Hermetia illucens* L. (MAGGOT)**

TESIS

Oleh:

AULIA

0706298905



UNIVERSITAS INDONESIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM PASCASARJANA**

PROGRAM STUDI BIOLOGI

DEPOK

2009

Judul : **Biokonversi *Palm Kernel Meal* (PKM) dan Pola Suksesi Bakteri Pada Biokonversi *Palm Kernel Meal* Terkonversi (PKMK) Oleh Larva *Hermetia illucens* L. (maggot)**

Nama : **Aulia**

NPM : **0706298905**

Program Studi : **Biologi**

Menyetujui,

1. Komisi Pembimbing

Dr. Wibowo Mangunwardoyo, M.Sc.
Pembimbing I

Dr. Saurin Hem, M.Sc.
Pembimbing II

2. Penguji

Prof. Dr. Indrawati Gandjar
Penguji I

Dra. Lestari Rahayu, M.Sc.
Penguji II

3. Ketua Pascasarjana Biologi

4. Ketua Program Pascasarjana FMIPA UI

Dr. Lutfiralda Sjahfirdi, M.Biomed.

Dr. Adi Basukriadi, M.Sc.

Name : Aulia (0706298905) **Date** : July, 17, 2009
Title : PALM KERNEL MEAL BIOCONVERSION AND BACTERIAL
SUCCESSION IN PALM KERNEL MEAL BIOCONVRERSION
BY *Hermetia illucens* L. LARVAE (MAGGOT).

Thesis supervisors : Dr. Wibowo Mangunwardoyo, M.Sc;
Dr. Saurin Hem, M.Sc.

SUMMARY

Indonesia is the second world producer of palm oil after Malaysia. Beside production of the palm oil, the industry is also yields a huge of amounts of palm kernel meal (PKM or Bungkil sawit). Utilization of PKM is still limited for cosmetic industrial and margarine. Hem *et al.* 2008a reported that PKM fermentation was used to bioconversion of maggot larvae. The most popular insect used in this particular case is the Black Soldier (BS) fly, *Hermetia illucens* L (maggot) (Stratiomyidae, Diptera). *Hermetia illucens* L. is a non-pest tropical and warm-temperate insect that has been found useful for managing large concentrations of bio-solids as well as other by-products and wastes (O'Mara *et al.*1999; Choct 2001). Many research studies on the larvae of *Hermetia illucens* L. have also been conducted in Southeast Asian countries and expanded in Indonesia. As previously reported, *Hermetia illucens* L. has been found effective in reducing the mass of solid wastes (Lim *et al.* 2001).

PKM bioconversion was attempted by simply mixing (Hem *et al.* 2008a). After one week incubation, microorganisms through their complex

enzymes in the PKM. Bacteria and their enzymes breaking down the cellulose of the PKM (Lim *et al.* 2001).

Research study of Palm Kernel Meal conversion and bacterial succession by *Hermetia illucens* L. larvae (maggot). The objective of this research are: to observed how to PKM conversion occurred, isolation the bacteria, study bacterial succession, to observe changing of physical parameters of substrate and storage room, and analyze the proximate value. The study consists of two part: (1) to describe the process of PKM bioconversion. (2) to describe bacterial succession by *Hermetia illucens* L. larvae (maggot). The research was carried out at the Loka Riset Budidaya Ikan Hias Air Tawar; *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) Laboratory, Depok; Microbiology Laboratory -Department of Biology, FMIPA, University of Indonesia, Depok during July 2008 -- June 2009.

The study of the *Palm Kernel Meal* (PKM) naturally conversion of *Hermetia illucens* L. larvae was carried out. The substrate of PKM was added by sterilized water with the composition of 1:2 (Hem *et al.* 2008a). The natural conversion was done for 7 days. Sampling and isolation bacteria from PKM bioconversion was carried out every day. The isolation of bacteria was done with dilution methods by Otoguro (2006) and purification was carried out with quadrant methods by Cappucino and Sherman (2002).

The result showed that the five isolates bacteria, namely B1, B2, B3, B4, and B5 which are isolated in the PKM bioconversion. The t-Test analysis

showed that total of bacteria B1, B2, B3, B4, and B5 remain stable during the bioconversion of PKM. The temperature, pH, Aw, and Rh remain stable during bioconversion. The proximate analysis yielded resulted that total of nitrogen was increasing after bioconversion, but the lipid decreased.

Bioconversion is a natural process which consists of the transfer of nutrients via biodegradation using the larvae of an insect. This method has been considered to clean, most efficient and most economical way to recycle waste products. Since the bioconversion does not require electricity, chemicals not even water, it does not produce any greenhouse gass, and the process does not require any imported technology (Hem *et al.* 2008b).

Bioconversion initiate with addition of the Palm Kernel Meal conversion (PKMK) with the eggs of maggot and incubated for 14 days. During bioconversion was also studied the succession of bacteria. The result showed that quantities of growth rate three bacteria B1, B2 , and B3, on the treatment was decreased, however, the growth rate on the control were increased up to 21 days incubation. The B4 bacteria was decreased until 11 days, but the B5 bacteria did not appear since the 7th days up to 11, and than absent until the end of bioconversion processed. The others cause of competition of the bacteria suppose it should be degradating succession to utilize nutrient in the substrate of PKMK. There was an increased growth of the maggot which indicated by wet weight and length at the end of the bioconversion. The maggot was also possible that larvae feed the bacteria to support the growth. Quantitative measurment was done to

physical parameter of isolated storage room, substrate and proximate analysis during the bioconversion. All of the factors in bioconversion cause the succession by bacteria. Similarly with the maggot, the growth indicate double weight and length after the end of bioconversion. The temperature, pH, Aw, and Rh remain stable during the bioconversion. The proximate analysis resulted that total nitrogen was increased after degradation, but the lipid was decreased. The increasing total nitrogen might caused by the moulting phase of the larvae which produced the chitine, bacteria and excretion of the maggot. The decreasing of lipid on the proximate analysis due to the utilization of the lipid by bacteria and consumption by maggot.

x + 111pp; 6 appendix; 24 plates; 6 tables.

Bibl : 68 (1975—2009).

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah yang telah memberi nikmat dan curahan rahmat kepada ummat yang mau berbuat kebaikan. Alhamdulillah robbil 'alamin semoga selalu tercurah kepada Allah atas kekuatan yang diberikan untuk merampungkan Tesis.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Departemen Agama atas beasiswa dan kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menambah ilmu pada jenjang pascasarjana, *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD), serta Loka Riset Budidaya Ikan Hias Air Tawar (LRBIHAT) Depok, atas sarana dan prasarana penelitian.

Terima kasih tak terhingga kepada Dr. Wibowo Mangunwardoyo, M.Sc. (Universitas Indonesia) dan Dr. Saurin Hem, M.Sc. (IRD) selaku pembimbing, atas curahan ilmu yang mudah-mudahan selalu bermanfaat bagi masyarakat, Departemen Biologi FMIPA UI: pengajar dan pekarya, kepada Prof. Dr. Indrawati Gandjar dan Dra. Lestari Rahayu, M.Sc. selaku penguji tesis, Dr. Luthfirda Sjahfirdi, M.Biomed. dan Dr. Nisyawati selaku koordinator Pascasarjana Biologi Universitas Indonesia, serta Dr. Wellyzar Sjamsuridzal selaku pembimbing selama belajar di Center of Exelent Indegeneous Biodiversity Research Genome Study.

Terima kasih yang tak terhingga kepada suami tercinta Abuya Mahmud Zainal Abidin, Ananda Ahmad Hamid Zen, Ibunda, Almarhum Abah,

Mama, dan adik-adik tersayang atas segala doa, semangat, dan kepercayaannya. Salam takdim penulis sampaikan kepada K.H.Abdul Hamid (Almaghfurlah), K.H. M.Idris Hamid dan Ibu Nyai Hj.Kuni Zakiyah beserta santri Pondok Pesantren Salafiyah Pasuruan atas kesempatan dan kepercayaan untuk menambah ilmu. Kepada Melta R. Fahmi, M.Si, Ika Ayunungtyas S.Si, Rakhmawati S.Si, Rubi Vidia S.Pi, Sawung Cindelaras S.Si, Rina Hirnawati S.Pi, Irma, Kadek, Mbak Nina terima kasih atas segala bantuan teknis. Semua teman-teman Pascasarjana Biologi angkatan tahun 2007, khususnya penerima beasiswa, mbak Devin, Handa, Bu Nur, Henik, Andre, Anggi, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah membantu penelitian maupun penyusunan tesis ini.

Penelitian dan penyusunan tesis tentunya masih jauh dari sempurna, sehingga saran dan kritik sangat penulis harapkan. Semoga karya sederhana ini turut memberikan sumbangsih dan bermanfaat.

Penulis

2009

DAFTAR ISI

	Halaman
SUMMARY	i
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
PENGANTAR PARIPURNA	1
MAKALAH I BIODIVERSI <i>PALM KERNEL MEAL</i> (PKM) UNTUK PAKAN LARVA <i>Hermetia illusens</i> L. (MAGGOT).....	4
Pendahuluan	4
Bahan dan cara kerja	7
Hasil dan pembahasan	19
Kesimpulan dan saran	42
Daftar acuan	43
Lampiran	51
MAKALAH II POLA SUKSESI BAKTERI PADA BIODIVERSI <i>PALM KERNEL MEAL TERKONVERSI</i> (PKMK) UNTUK PAKAN LARVA <i>Hermetia illusens</i> L. (maggot)	55
Pendahuluan	55
Bahan dan cara kerja	58
Hasil dan pembahasan	63
Kesimpulan dan saran	87
Daftar acuan	88
Lampiran	97
DISKUSI PARIPURNA	100
RANGKUMAN KESIMPULAN DAN SARAN	106
DAFTAR ACUAN	108

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
I.1.	Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi.....	33
I.2.	Hasil perhitungan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada PKM selama biokonversi	34
I.3.	Nilai rerata hasil analisis proksimat hari ke-0 (H0) dan hari ke-7 (H7).....	38
II.1.	Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	64
II.2.	Hasil perbandingan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat perlakuan dan kontrol selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	65
II.3.	Nilai rerata analisis proksimat selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
I.1. Perubahan warna PKM selama proses biokonversi	24
I.2. Grafik suhu dan kelembapan nisbi ruang penyimpanan selama biokonversi	26
I.3. Perubahan suhu substrat selama biokonversi.....	26
I.4. Perubahan pH substrat selama biokonversi.....	28
I.5. Perubahan aW substrat selama biokonversi.....	29
I.6. Perubahan RH substrat selama biokonversi.....	31
I.7. Morfologi makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi.....	32
I.8. Hasil pewarnaan Gram isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi.....	33
I.9. Grafik jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat yang ditemukan selama biokonversi PKM.....	35
I.10. Kurva pertumbuhan bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5	37
I.11. Grafik hasil analisis proksimat hari ke-0 (H_0) dan hari ke-7 (H_7)	39
II.1. Morfologi makroskopis koloni isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	63
II.2. Hasil pewarnaan Gram isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	63
II.3. Grafik perbandingan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat perlakuan dan kontrol selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	66
II.4. Grafik penambahan panjang maggot pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}).....	72

II.5.	Grafik penambahan berat maggot pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}).....	73
II.6.	Perbandingan morfologi maggot pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21})	75
II. 7.	Hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	76
II. 8.	Perubahan suhu substrat selama biokonversi PKM oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).....	77
II. 9.	Perubahan pH substrat selama proses biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).....	79
II. 10.	Perubahan aW substrat selama proses biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).....	80
II.11.	Perubahan RH substrat selama proses biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).....	81
II.12.	Perubahan warna PKM selama proses biokonversi PKMK oleh maggot.....	82
II.13.	Grafik analisis proksimat pada H_0 , H_7 , dan H_{21} selama biokonversi PKMK oleh maggot	84

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran I.1. Skema kerja penelitian I	51
Lampiran I. 2. Metode isolasi bakteri pada substrat PKM berdasarkan Ootoguro 2006 modifikasi.....	52
Lampiran I. 3.a. Hasil pengukuran parameter fisika ruang penyimpanan selama biokonversi.....	53
Lampiran I. 3. b. Hasil pengukuran parameter fisika substrat PKM selama biokonversi.....	51
Lampiran I.4. Hasil perhitungan <i>Total Plate Count</i> (TPC) bakteri B1,B2,B3,B4, dan B5 selama biokonversi PKM	54
Lampiran II.1. Skema kerja penelitian II.....	97
Lampiran II. 2. a. Hasil pengukuran panjang maggot (mm).....	98
Lampiran II. 2. b. Hasil pengukuran berat maggot (gram).....	98
Lampiran II. 3.a. Hasil pengukuran parameter fisik ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	99
Lampiran II. 3.b. Hasil pengukuran parameter lingkungan selama biokonversi PKMK oleh maggot.....	96

PENGANTAR PARIPURNA

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi terbesar ekspor non migas di Indonesia. Semua komponen kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku berbagai sektor industri seperti: *Crude Palm Oil* (CPO) untuk minyak goreng dan *Palm Kernel Oil* (PKO) yang dapat digunakan sebagai bahan pembuat margarine; pakan ternak; sabun; dan bahan campuran kosmetika. PKO diperoleh dengan cara pengepresan secara mekanik, limbah yang dihasilkan berupa bungkil inti sawit atau *Palm Kernel Meal* (PKM) (Onwueme & Sinha 2003 lihat Kolade *et al.* 2007; Chin 2002 lihat Hem *et al.* 2004).

Menurut Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (2007), PKM yang tersisa dari produk buangan mencapai sekitar 2,5%. PKM sering tidak dimanfaatkan secara maksimal sehingga kelimpahan PKM akan menjadi limbah dan memunculkan masalah pencemaran lingkungan. Perez (1997) dan Iluyemi *et al.* (2006) melaporkan bahwa di dalam produk PKM terdapat beberapa senyawa organik antara lain: 18—20% protein, 12—20% lemak, serta sangat kaya kandungan asam amino seperti: arginin, leusin, dan sistein. Berdasarkan informasi tersebut, *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) telah berhasil memanfaatkan PKM melalui cara biokonversi yang memanfaatkan larva *Hermetia illucens* L. (maggot) sebagai alternatif pakan ikan, dalam bentuk pelet maupun pakan alami .

Biokonversi merupakan pemanfaatan suatu bahan organik seperti sisa-sisa hewan atau tumbuhan untuk menghasilkan sumber energi melalui proses biologi dengan melibatkan agen, seperti mikroorganisme atau enzim (Anonim, 2001). Biokonversi yang dilakukan oleh Hem *et al.* 2004 dan Fahmi *et al.* 2009 adalah dengan cara menambahkan telur *Hermetia illucens* L. (maggot) ke dalam substrat PKM. Biokonversi PKM dilakukan selama tujuh hari, dengan cara menambahkan air ke dalam PKM dengan perbandingan antara PKM dan air sebesar 1:2 (Hem *et al.*, 2008a). Biokonversi bertujuan untuk mendegradasi PKM menjadi bentuk lebih halus agar mudah dikonversi oleh maggot. Hasil dari biokonversi PKM disebut sebagai PKM terkonversi (PKMK). Penambahan telur bertujuan untuk mempersiapkan telur tersebut menjadi biomassa larva dan pupa. Hem *et al.* (2008a) melaporkan bahwa larva *Hermetia illucens* L. (maggot) mampu mengonversi nutrisi PKMK untuk metabolisme dan perkembangan.

Selama proses biokonversi berlangsung, diduga ada peran mikroorganisme dalam mendegradasi dan mengubah nutrisi PKMK agar lebih mudah dicerna maggot. Kandungan PKMK yang kaya akan nutrisi seperti protein, lemak, dan asam amino diduga banyak dimanfaatkan dan diuraikan oleh berbagai macam bakteri untuk pertumbuhan bakteri tersebut. Namun, informasi mengenai jenis bakteri yang berperan selama biokonversi PKMK untuk pakan maggot belum banyak diketahui. Selain itu, perubahan faktor lingkungan ruang penyimpanan PKMK seperti suhu dan kelembapan, serta substrat PKMK di antaranya suhu, pH, kelembapan (RH), dan aktifitas air

(aW) penting untuk diketahui. Isolasi dan identifikasi bakteri perlu dilakukan, untuk mengetahui jenis bakteri yang berperan di dalam proses biokonversi, sehingga dapat diketahui pola suksesi yang terjadi.

Penelitian yang dilakukan ditulis dalam dua judul makalah. Makalah pertama berjudul “Biokonversi *Palm Kernel Meal* (PKM)” bertujuan untuk meneliti biokonversi PKM menjadi PKM terkonversi (PKMK). Proses yang diamati meliputi perubahan warna PKM, perubahan lingkungan dan fisik PKM, keberadaan bakteri yang berperan selama proses biokonversi, dan perubahan kadar proksimat pada awal (hari ke-0) dan akhir biokonversi (hari ke-7). Makalah kedua berjudul “Pola suksesi bakteri pada biokonversi *Palm Kernel Meal* terkonversi (PKMK) oleh larva *Hermetia illucens* L. (maggot)” bertujuan untuk meneliti macam-macam bakteri yang berperan selama proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot. Pola suksesi dan interaksi bakteri yang ditemukan pada PKMK, perubahan lingkungan dan fisik PKMK, serta perubahan kadar proksimat pada hari ke-7, ke-14, dan ke-21 biokonversi PKMK, diamati pada penelitian kedua.

MAKALAH I

BIOKONVERSI *PALM KERNEL MEAL* (PKM)

Aulia

auiamasrurin@yahoo.com

ABSTRACT

Palm Kernel Meal (PKM) was bioconverted 7 days. Sterilized water was added to the PKM with a ratio of 1:2 (v/w). Daily, during 7 days, samples of the PKM were taken for bacterial isolations and chemical analysis. Physical conditions of the PKM was also observed. Five bacterial isolates, respectively B1, B2, B3, B4, and B5 were obtained from the conserved PKM. Quantitatively, the growth of bacterial showed that day by day there was increased until 7 days bioconversion. The log phase regeneration of the B1, B2, and B3 bacterias at 9 times, but B4 bacteria at 12 times, and B5 bacteria at 15 times. During the bioconversion no differences were observed for the temperature, pH, aW, and RH. The proximate analysis showed that the total nitrogen was increased, while the lipid was decreased.

Keywords: Bacteria; bioconversion; isolation; Palm Kernel Meal; proximate analysis.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas unggulan yang memberikan kontribusi penting pada pembangunan ekonomi Indonesia, khususnya pada pengembangan agroindustri. Produksi *Crude Palm Oil* (CPO) pada tahun 2008 sudah mencapai 19 juta ton (Balitbangtan, 2008). Tahun 2010 luas perkebunan kelapa sawit direncanakan mencapai 7 juta Ha, dengan produksi CPO lebih dari 22 juta ton (Hariadi, 2008). Sektor industri sawit Indonesia mengeksport minyak inti sawit sebesar 48,3%, sisa industri tersebut merupakan ekspor produk olahan lain seperti sisa perasan minyak untuk bahan campuran industri margarin dan kosmetik (Hem *et al.* 2008a).

Semua komponen buah sawit dapat dimanfaatkan secara maksimal. Buah sawit memiliki daging dan biji sawit (*kernel*). Daging sawit (*mesocarp*) dapat diolah menjadi *Crude Palm Oil* (CPO), sedangkan buah sawit (*endocarp*) diolah menjadi *Palm Kernel Oil* (PKO). *Palm Kernel Meal* (PKM) atau bungkil inti kelapa sawit merupakan salah satu limbah dalam industri minyak kelapa sawit. PKM dihasilkan melalui proses pemerasan mekanis (*mechanical screw pressing*) atau proses ekstraksi dengan pelarut (Onwueme & Sinha 2003 lihat Kolade *et al.* 2007; Chin 2002 lihat Hem *et al.* 2008 a).

Produk PKM di Indonesia sangat berlimpah (FAO, 2002). Menurut Lembaga Riset Perkebunan Indonesia (2007), PKM yang tersisa dari produk buangan mencapai sekitar 2,5%. PKM sering tidak dimanfaatkan secara maksimal sehingga kelimpahan PKM akan menjadi limbah dan memunculkan masalah pencemaran lingkungan.

Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kegunaan PKM yaitu melalui biokonversi. Konsep biokonversi telah dilakukan oleh *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD) pertama kali pada tahun 2004 untuk program pengembangan akuakultur di Republik Guinea. Penelitian tersebut kemudian dikembangkan di Indonesia melalui Badan Riset Kelautan dan Perikanan pada tahun 2005, dan pada tahun 2006 program biokonversi mulai dikembangkan di Jambi hingga saat ini (Hem *et al.* 2008b).

Biokonversi PKM bertujuan untuk mendegradasi nutrisi dari bentuk sangat kompleks menjadi bentuk lebih sederhana. Selama biokonversi

diduga ada berbagai macam bakteri di dalam PKM yang belum diketahui identitas dan peranannya. Bakteri merupakan agen yang berperan sangat penting dalam merombak senyawa-senyawa organik pada PKM seperti protein, lemak, dan serat. Lim *et al.* (2001) melaporkan bahwa hanya ruminansia yang mampu menguraikan PKM di dalam saluran pencernaannya secara maksimal dengan bantuan mikroorganisme (bakteri dan fungi), karena enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut dapat menghidrolisis dinding selulosa PKM. Selain itu, keberadaan bakteri sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan (RH), pH, dan kadar air (Aw)(Madigan dan Martinko, 2005). Perbedaan fluktuasi lingkungan selama proses biokonversi diduga akan menyebabkan perbedaan warna dan tekstur substrat (PKM).

Penelitian dilakukan dengan tujuan meneliti biokonversi PKM menjadi PKM terkonversi (PKMK). Proses yang diamati meliputi perubahan warna PKM, perubahan lingkungan dan fisik PKM, keberadaan bakteri yang berperan selama proses biokonversi, dan perubahan kadar proksimat pada awal (hari ke-0) dan akhir biokonversi (hari ke-7). Melalui penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses biokonversi PKM, bakteri yang berperan selama biokonversi, serta perubahan parameter lingkungan fisik dan PKM.

BAHAN DAN CARA KERJA

BAHAN

Substrat

Substrat PKM berasal dari pabrik pengolahan minyak kelapa sawit dengan metode satu kali proses pengepresan (*mechanical pressing screw*), di Kota Lampung. PKM dihancurkan dengan cara digiling menggunakan gilingan beras, lalu disaring dengan saringan berukuran 3 *mesh*, setelah itu dikering anginkan.

Bahan kimia

Bahan kimia yang digunakan untuk isolasi bakteri antara lain: *Rose Bengal* (Wako), sikloheksamida (Sigma), alkohol teknis, tablet Kjeldahl, H_2SO_4 96%, NaOH, asam borat, ethanol, methyl blue 0,1%, methyl red 1%, hexan, oktanol (*antifoaming agent*).

Medium

Medium yang digunakan untuk isolasi dan pemeliharaan isolat bakteri adalah *Nutrient Agar* (NA) (Sigma), untuk menghitung *colony forming unit* (cfu) bakteri adalah *Plate Count Agar* (PCA) (Difco).

Peralatan

Alat yang digunakan untuk penelitian penguraian PKM, yaitu wadah plastik persegi (Lion Star), penggiling tepung, plastik penutup, rak besi untuk

penyimpanan substrat, alat pengukur kelembapan dan pH media (*pH and Humidity Soil Tester*), dan *colour standart paper*. Peralatan laboratorium untuk keperluan mikrobiologi, seperti: Autoclave (Kobata), timbangan analitik (Sartorius), pemanas air, meja transfer, mikroskop (S.A.R.L. Montpelleir France), tabung reaksi 10 ml (Pyrex), Erlenmeyer 250 dan 500 ml (Pyrex), mikropipet (Eppendorf), mikrotips (Eppendorf), *spatel dryglaski*, gelas objek, gelas penutup, dan peralatan standar laboratorium mikrobiologi lain. Alat untuk analisis proksimat, antara lain: desikator, untuk uji lemak (Electromantle ME), uji serat kasar (Gerhardt), uji protein (distillation unit BUchi 321), pengeringan (Cryo Rivoire S.A.R.L. Montpelleir France).

CARA KERJA

Skema penelitian untuk makalah I (H₀—H₇) secara lengkap tercantum pada Lampiran I.1.

Pembuatan medium

Medium NA dan PCA dibuat sesuai dengan petunjuk yang terdapat pada kemasan. Medium ditimbang sesuai dengan takaran masing-masing, kemudian disterilkan menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121⁰ C tekanan 2 atm. Setelah suhu mencapai ± 50⁰ C, medium dituang ke dalam cawan petri sebanyak ± 20 mL dan dibiarkan hingga mengeras.

Biokonversi PKM

Biokonversi PKM dilakukan sesuai dengan metode Hem *et al.* (2008a), berlangsung selama tujuh hari, dan dihitung sejak awal penambahan air. Sebanyak 0,5 kg PKM dimasukkan ke dalam wadah plastik berbentuk persegi, berukuran panjang 28 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 20 cm, ditambahkan air sebanyak 1 L yang sudah direbus hingga mendidih, perbandingan volume PKM dengan air sebesar 1 : 2. Campuran PKM diaduk hingga homogen, selanjutnya ditutup dengan kain strimin dan penutup plastik yang sudah diberi lubang. Proses pencampuran dilakukan secara aseptis.

Wadah substrat yang berisi PKM diletakkan pada rak besi dengan posisi berjajar. Rak besi berisi wadah PKM diletakkan pada ruang penyimpanan yang sudah dibersihkan. Biokonversi PKM dilakukan secara alami selama satu minggu hingga menjadi PKM terkonversi (PKMK).

Pengukuran parameter lingkungan substrat dan ruang penyimpanan

Selama proses biokonversi PKM untuk pakan maggot berlangsung, dilakukan pengukuran parameter substrat (PKM yang dikonversi) yang terdiri dari: suhu (termometer), pH dan kelembapan (RH) (*pH and Humidity Soil Tester*), dan kadar air (*available water* atau aW) dihitung berdasarkan konversi dari pengukuran RH dengan rumus $aW = RH/100$. Parameter suhu dan kelembapan ruang penyimpanan diukur dengan menggunakan alat *Humidity and Temperature Electrical Tester*.

Pengambilan sampel PKM

Sampel PKM diambil secara acak dari enam titik PKM di dalam wadah pada bagian permukaan, tengah, dan bawah. Pengambilan sampel PKM dilakukan secara aseptis menggunakan spatel dan dibungkus dengan aluminium foil steril.

Isolasi bakteri

Metode isolasi bakteri pada proses penguraian PKM untuk pakan maggot dilakukan dengan cara dilusi berdasarkan metode Otaguro (2003) modifikasi. Isolasi bakteri dilakukan setiap hari, mulai awal penguraian (H_0 , PKM sebelum proses penguraian) sampai hari ke-7 (H_7). Metode kerja isolasi bakteri dapat dilihat pada Lampiran I.2.

Sebanyak 1 g PKM dimasukkan ke dalam 99 ml akuades steril dan dihomogenkan dengan *vortex* selama kurang lebih 1 menit (Otaguro, 2003). Dituangkan 100 μ L larutan suspensi PKM ke dalam cawan petri berisi medium NA, diratakan dengan spatel *dryglasski*, dan diinkubasi pada suhu ruang ($25\text{--}27^\circ\text{C}$) selama tujuh hari.

Koloni-koloni bakteri dari sampel diseleksi berdasarkan penampakan morfologi makroskopis seperti: warna, permukaan, tekstur, profil atau tepi koloni, dan jumlah bakteri. Isolasi dilakukan pada koloni-koloni yang mewakili penampakan morfologi yang sama (Musfira, 2005). Koloni tersebut selanjutnya ditumbuhkan menggunakan tusuk gigi steril pada medium NA yang telah diberi garis-garis kotak pada bagian bawah cawan petri untuk

dijadikan pustaka koloni (Cappucino dan Sherman 2002), diinkubasi selama 24—72 jam pada suhu ruang (25—27⁰ C). Apabila tampak pertumbuhan koloni pada medium pustaka koloni, biakan dimurnikan sebanyak tiga kali untuk mendapat biakan murni bakteri.

Pemurnian isolat

Prosedur pemurnian isolat bakteri dilakukan berdasarkan metode kuadran (Cappucino dan Sherman, 2002). Biakan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang (25—27⁰ C). Pemurnian dilakukan sebanyak tiga kali hingga diperoleh koloni-koloni tunggal. Koloni tunggal tersebut selanjutnya dijadikan biakan asli (*original culture*). Tahap selanjutnya, biakan asli dipindahkan ke dalam enam tabung berisi medium NA miring, diinkubasi pada suhu ruang (25—27⁰ C) selama 48 jam. Tiga tabung digunakan sebagai *working culture*, dan tiga tabung lainnya disimpan di lemari es bersuhu 4⁰ C digunakan sebagai *stock culture*.

Pemilihan isolat-isolat bakteri terpilih

Isolat-isolat bakteri dipilih berdasarkan penampakan morfologi makroskopis berdasarkan metode Reynolds (2005) dan Jutono (1972). Penampakan morfologi makroskopis yang diamati adalah permukaan koloni (mengkilap atau kusam), tekstur (licin atau kerut), profil samping (datar atau menggunung), profil tepi (rata atau bergerigi), dan penampakan koloni (tembus pandang atau tidak tembus pandang). Isolat-isolat bakteri terpilih selanjutnya dilakukan pengecatan Gram.

Pengecatan Gram isolat-isolat bakteri terpilih

Sebelum dilakukan pengecatan Gram, terlebih dahulu dilakukan persiapan preparat bakteri. Tahap pertama adalah membersihkan dan memanaskan *object glass* (untuk membersihkan dari lemak yang menempel) kemudian ditunggu hingga dingin. Isolat bakteri diambil dengan tusuk gigi steril dan dioleskan di atas *object glass* setipis mungkin. Selanjutnya *object glass* dipanaskan hingga olesan mengering dalam jarak 20 cm dari pemanas.

Tahap kedua adalah pengecatan preparat bakteri. Langkah pertama preparat bakteri ditetesi dengan cat Gram A (kristal violet) selama 1 menit. Setelah itu cat Gram A dibuang, dengan cara mencuci preparat dengan air, sehingga bakteri akan berwarna ungu. Preparat digenangi dengan cat Gram B (lugol iodin) selama 1 menit. Setelah meresap dan cat Gram B dibuang, preparat dibilas air. Diharapkan pemberian cat Gram B menghasilkan warna bakteri menjadi lebih baik. Selanjutnya preparat ditetesi cat Gram C (aseton atau alkohol), akan menghasilkan 2 kemungkinan, warna bakteri tetap ungu karena tidak luntur terhadap alkohol (bakteri Gram positif), atau warna bakteri pucat karena luntur terhadap alkohol (bakteri Gram negatif). Tahap berikutnya preparat digenangi dengan cat Gram D (safranin) selama 1 menit. Tujuan pewarnaan Gram D supaya bakteri gram positif yang sudah mengikat Gram A, tidak mampu mengikat Gram D, sehingga didapat warna akhir bakteri menjadi violet. Bakteri Gram negatif akan mengikat Gram D karena Gram A telah luntur, warna akhir merah.

Pengamatan morfologi mikroskopik isolat-isolat bakteri terpilih

Pengamatan morfologi secara mikroskopik dilakukan terhadap ukuran dan bentuk sel bakteri (bulat, batang, atau ellips). Morfologi sel bakteri diamati dengan perbesaran 1000x (Reynolds, 2005).

Uji Proksimat (Cockerel 1975; Association of Official Analytical Chemists 1995; Nessler *et al.* 2004; Moereu, 2005)

Uji proksimat dilakukan pada awal (hari ke-0) dan hari terakhir biokonversi (hari ke-7). Uji proksimat dilakukan melalui tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. Uji kadar kering sampel (*dry matter*)

Sebanyak 0,5 g sampel ditimbang dalam aluminium foil (yang sudah diketahui beratnya), dikeringkan dalam oven pada suhu 105° C selama 12 jam dimasukkan dalam desikator selama ± 10 menit, setelah beratnya stabil dilakukan penimbangan. Prosedur dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Kadar sampel kering dihitung menggunakan rumus:

Rumus hitung kadar kering:

$$\% \text{ Kadar Kering (Dry Matter)} = \frac{BO - BK}{BI - BK} \times 100\%$$

Keterangan:

Kadar kering : kadar kering (%)

BK : bobot aluminium foil kosong (g)

BI : bobot aluminium foil yang berisi sampel sebelum dioven (g)

BO : bobot aluminium foil yang berisi sampel setelah dioven (g)

2. Uji kadar abu (*ash*)

Sejumlah 0,5 g sampel dimasukkan ke dalam aluminium foil (yang sudah diketahui beratnya). Sampel dikeringkan ke dalam oven pada suhu $\pm 105^{\circ}$ C selama 12 jam. Setelah dioven, sampel dimasukkan dalam desikator selama ± 10 menit, setelah beratnya stabil dilakukan penimbangan. Sampel yang sudah dikeringkan (bobot kering) dimasukkan ke dalam tanur pembakar pada suhu 500° C selama 4 jam. Sampel dikeluarkan dan disimpan dalam desikator selama ± 15 menit. Setelah berat sampel stabil, ditimbang untuk mengetahui perubahan bobot. Prosedur dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Sampel dihitung sebagai bobot abu dengan menggunakan rumus:

Rumus hitung kadar abu (*ash*):

$$\% \text{ Kadar Abu (Ash)} = \frac{BKr - BK}{BA - BK} \times 100\%$$

Keterangan :

Abu (*Ash*) : kadar abu (%)

BK : bobot aluminium foil kosong (g)

BKr : bobot sampel setelah dioven (g)

BA : bobot abu setelah dimasukkan ke dalam tanur (g).

3. Uji kadar protein (*crude protein*)

a. Proses oksidasi

Sebanyak 0,1 g sampel PKM dimasukkan dalam tabung Kjeldahl. Selanjutnya ditambahkan 3 buah batu didih pada tiap-tiap tabung, ½ tablet Kjeldahl, dan 10 ml larutan H_2SO_4 96%. Dilakukan proses oksidasi selama 60 menit pada suhu $375^\circ C$. Setelah proses selesai, sampel diangkat dan dinginkan.

b. Proses destilasi

Sebanyak 30 ml H_2O dan 20 ml NaOH (0,1 N) ditambahkan ke dalam hasil oksidasi (penambahan NaOH ke dalam tabung Kjeldahl maksimal 100 ml, saat penambahan NaOH, larutan harus sampai berwarna gelap/kecoklatan). Larutan asam borat, air, dan etanol (methyl blue 0,1%, methyl red 1%) ditambahkan ke dalam Erlenmeyer sebagai wadah penampung hasil destilasi. Didestilasi selama ± 5 menit sampai volume gelas ukur ± 80 ml. Setelah destilasi selesai, dilanjutkan dengan proses titrasi.

c. Proses titrasi

Titrasi dilakukan dengan menambahkan $1/25$ Mol larutan H_2SO_4 , dihentikan apabila larutan hasil destilasi berubah warna (hijau menjadi ungu). Dicatat volume H_2SO_4 yang ditambahkan.

4. Uji kadar lemak (*crude fat*)

Sebanyak 1,0 g sampel uji (bobot sampel) dimasukkan dalam selongsong lemak (*extraction trimble*), ditutup dengan kapas, tujuannya agar sampel tidak bercampur pada saat proses uji. Selongsong lemak dimasukkan ke dalam *soxhlet glass tube*. Selanjutnya diambil labu uji lemak berukuran 100 mL, dan ditimbang (bobot kosong). Dimasukkan 100 ml *hexan* dan dipasang rangkaian labu lemak dan selongsong lemak pada *extractor soxhlet* dengan benar. Thermostat dihidupkan hingga level maksimum. Proses ditunggu hingga 3 jam (perhitungan waktu dimulai setelah larutan mendidih).

Setelah tiga jam, labu disimpan ke dalam desikator hingga mengering, tujuannya untuk menguapkan campuran lemak dan *hexan* dalam labu. Hasil ekstraksi di dalam labu yang berisi lemak, selanjutnya diuapkan dalam oven suhu 105° C selama 1 malam (*overnight*) untuk menghilangkan sisa *hexan* dan uap air. Dinginkan labu dan lemak di dalam desikator selama 30 menit. Ditimbang berat labu alas bulat yang berisi lemak sampai berat stabil. Dicatat berat lemak hasil ekstraksi. Dihitung persentase lemak total. Prosedur dilakukan sebanyak tiga kali ulangan.

Rumus hitung lemak total:

$$\% \text{ Lemak total} = \frac{BL - BK}{BS} \times 100 \%$$

Keterangan:

Lemak total : kadar lemak total (%)

BL	: bobot labu setelah ekstraksi (g)
BK	: bobot kosong labu (g)
BS	: bobot sampel (g)

5. Uji serat kasar

Sebanyak 0,5—1,0 g sampel uji (bobot sampel) yang sudah dikeringkan dan digiling, selanjutnya dilakukan pengasaman, netralisasi, filtrasi, pengeringan, dan pembakaran.

a. Pengasaman

Sebanyak 200 ml akuades dan 6,8 ml H_2SO_4 40% (konsentrasi akhir 1,25%) ditambahkan ke dalam *beaker glass* 1000 ml. Ditambahkan 2 tetes 1-oktanol (*antifoaming agent*). *Beaker glass* dirangkaikan pada *crude fiber system*. Dihidupkan thermostat hingga level ke-3 (suhu maksimum), ditunggu hingga mendidih. Setelah mendidih, diturunkan thermostat menjadi level ke-2, tujuannya untuk menjaga agar suhu tidak terlalu panas (tetap stabil sesuai dengan panas yang diinginkan). Sampel dimasukkan, dibiarkan mendidih selama kurang lebih 30 menit.

b. Netralisasi

Sebanyak 6,8 ml NaOH 40% ditambahkan ke dalam sample untuk menetralsasi larutan hingga pH menjadi 7. Thermostat diturunkan menjadi level ke-1 agar larutan tetap hangat selama proses filtrasi berlangsung.

c. Proses filtrasi

Larutan ekstrak PKM dituang ke dalam tabung sentrifugasi dan diseimbangkan berat tabung. Diputar pada 2000 rpm selama 1 menit. Supernatan dituang pada *filter funnel* (no.1), sentrifugasi dilanjutkan hingga larutan dalam *beaker glass* habis. Setelah itu tabung sentrifugasi dibilas dengan 30 ml air hangat, dilakukan sebanyak dua kali. Dituangkan sisa ekstrak PKM yang menempel pada tabung sentrifugasi pada bilasan terakhir.

d. Pengeringan

Filter funnel (no.1) yang mengandung ekstrak PKM diambil, dicuci bagian bawah *filter funnel* untuk membuang semua sisa supernatan. Dimasukkan *filter funnel* yang berisi ekstrak PKM ke dalam oven yang bersuhu 105° C selama 12 jam.

e. Pembakaran

Filter funnel yang mengandung ekstrak PKM kering dipindahkan dari oven ke dalam desikator. *Filter funnel* yang mengandung ekstrak kering ditimbang (bobot kering) dan dimasukkan dalam tanur yang bersuhu 500° C. selama 4 jam. *Filter funnel* yang mengandung ekstrak abu dipindahkan dari tanur ke dalam desikator, ditimbang ekstrak abu (bobot abu).

Rumus hitung serat kasar:

$$\text{Serat Kasar (Crude Fiber)} = \frac{BKr - BA}{BS} \times 100$$

Keterangan:

BKr : bobot kering sampel (g)

BA : bobot abu (g)

BS : bobot sampel (g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biokonversi PKM

Hasil analisis proksimat PKM sebelum biokonversi menunjukkan bahwa di dalam PKM masih terdapat 12,74% lemak dan 25,10% serat. Tingginya kandungan lemak dan serat merupakan penyebab sulitnya degradasi PKM selama biokonversi. Zahari dan Alimon (2005) melaporkan bahwa sulitnya degradasi karena serat PKM merupakan suatu gabungan dari selulosa dan lignin, seperti pada tumbuhan kelompok kayu. Pendapat tersebut diperkuat oleh Murni *et al.* (2008) yang melaporkan bahwa faktor pembatas pendegradasian PKM untuk dimanfaatkan sebagai pakan ternak karena kandungan serat dan lignin yang tinggi, anti nutrisi, dan kadar air yang rendah.

Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan bentuk linier dari polisakarida yang dibangun dari monomer terluar glukosa yang berikatan dengan 1-4 glukosida. Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman dan hampir tidak pernah ditemui dalam keadaan murni di alam, melainkan berikatan dengan bahan lain, yaitu lignin dan hemiselulosa membentuk suatu lignoselulosa. Struktur berkrystal serta adanya lignin dan hemiselulosa di

sekeliling selulosa merupakan hambatan utama dalam menghidrolisis selulosa (Murni *et al.* 2008). Namun demikian peran populasi mikroorganisme dalam jumlah besar sangat berguna untuk mempercepat degradasi selulosa (Ljungdahl 1985 & Donnely 1990 *lihat* Hatami 2008).

Bakteri yang berperan selama biokonversi PKM merupakan bakteri yang dapat menghasilkan enzim-enzim untuk menguraikan kandungan selulotik maupun lignoselulotik (Lynch, 1992). Enzim yang dihasilkan bakteri berfungsi membantu mempercepat perombakan senyawa kompleks PKM menjadi senyawa sederhana sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal oleh maggot.

Kirk dan Farrel 1986 *lihat* Hatami 2008 mengemukakan bahwa enzim yang dihasilkan mikroba selama biokonversi, akan memecah untaian rantai kompleks partikel selulotik dari bahan organik melalui mekanisme metabolisme di dalam tubuh mikroba. Enzim yang berperan mendegradasi selulosa antara lain Endoglukanase (1-4- β -glucan glucanohydrolase = CM ase = C₁ = E.C. 3.2.1.4) bekerja menghancurkan secara acak ikatan β -1-4 glikosida, Eksoglukanase (1-4- β -glucan cellobiohidrolase = Avicellase = C_x; E.C. 3.2.1.91) bekerja memotong selo-oligosakarida menjadi selobiosa, dan β -Glukosidase bekerja memotong selobiosa menjadi glukosa (Lynd *et al.* 2002).

Bakteri merupakan salah satu agen biokonversi yang berperan dalam hidrolisis materi selulotik. Jenis bakteri selulotik yang dapat berperan sebagai agen biokonversi antara lain jenis bakteri aerob yaitu *Cellulomonas gelida*, *Azospirillum sp.* atau *Bacillus macerans* (Stewart *et al.* 1976 &

Dorothy *et al.* 1985 lihat Hatami 2008), jenis bakteri anaerob yaitu *Clostridium josui* (bakteri berspora), *Coprococcus* sp. (Sukhumavasi *et al.* 1988) dan *Ruminococcus albus* (Pavlostathis *et al.* 1998).

Düsterhöft (1993); O'Mara *et al.* (1999); Choct (2001) melaporkan bahwa mikroorganisme (kapang dan bakteri) memiliki enzim yang sangat kompleks sehingga menjadi kunci utama untuk melakukan biodegradasi dalam menguraikan PKM. Bakteri mendegradasi selulosa dengan cara memanfaatkan glukosa dalam bahan berserat (PKM) sebagai sumber karbon. Sebelum bakteri mendegradasi lignin dari PKM, diperlukan senyawa karbon yang lebih sederhana yang berperan sebagai kosubstrat. Apabila glukosa pada PKM sudah habis, bakteri akan optimal mendegradasi selulosa PKM.

Laju degradasi PKM menurun disebabkan beberapa faktor, antara lain yaitu denaturasi selulase yang menyebabkan terjadinya pengeluaran *amorfous* selulosa lebih awal sehingga bertambahnya proporsi selulosa kristal yang lebih rentan terhadap hidrolisis. Faktor lain adalah derajat polimerisasi yang rendah saat pemecahan selobiose menjadi glukosa sehingga menghambat kerja enzim eksoselulase untuk mendegradasi glukosa (Crawford 1981; Knapp 1985; Lestan *et al.* 1990; Henriksson *et al.* 1995).

Penurunan laju selulosa PKM juga dapat disebabkan oleh kehadiran selobiose yang dihasilkan dari kerja enzim selobiodehidrogenase (CDH) secara acak. Henrikson *et al.* (1996) melaporkan bahwa selobiose dapat

menghambat aktifitas enzim endo 1,4- β -glukanase dan β -gluko-sidase. Kehadiran glukosa juga dapat menghambat aktifitas ekso β 1,4 selobiohidrolase. Lestan *et al.* (1990) melaporkan bahwa CDH berfungsi untuk mereduksi Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} dengan bantuan H_2O_2 , menghasilkan hidroksi radikal yang sangat reaktif menyerang lignin dan selulosa. Enzim CDH sangat diperlukan dalam degradasi lignin karena dapat meningkatkan aktivitas ligninase.

Van Soest (1994) *lihat* Trautmann dan Olynciw (2008) melaporkan bahwa aktinomisetes dapat menghasilkan enzim yang dapat mengurai 20% lignin pada bahan organik dari sel-sel tumbuhan. Akan tetapi, Basaglia *et al.* (1992) *lihat* Trautmann dan Olynciw (2008) mengemukakan bahwa sebenarnya penguraian lignin lebih efektif jika dilakukan dengan cara fermentasi anaerob, meskipun dilakukan untuk waktu yang lebih lama. Knapp (1985) melaporkan bahwa degradasi bahan berserat optimal dilakukan pada suhu 37°C , pH 5, dan dilakukan selama sepuluh hari.

Selain degradasi serat, pada proses biokonversi juga terjadi degradasi lemak yang masih terdapat di dalam PKM. Komponen lemak dalam bentuk yang lebih sederhana, lebih mudah diserap oleh mikroba sebagai sumber energi (Koeker dan Jaeger 1986 *lihat* Arini 2005). Arini (2005) melaporkan bahwa dalam proses biokonversi yang memanfaatkan PKM sebagai sumber karbon dilakukan melalui tahap gliserolisis yang bertujuan untuk memecah triasilgliserol (TAG) menjadi komponen-komponen lemak seperti diasilgliserol (DAG), monoasilgliserol (MAG), asam lemak bebas (ALB), gliserol, dan sisa

TAG. Prakash *et al.* (2007) melaporkan bahwa bakteri yang berperan dalam degradasi lemak antara lain, yaitu *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Micrococcus luteus*, *Serratia marcescens*, dan *Staphylococcus aureus*.

Pelczar dan Chan (2005) mengemukakan bahwa aktivitas lipase dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: pH, suhu, dan waktu pertumbuhan.

Degradasi lemak pada PKM dapat diindikasikan antara lain dari perubahan warna. Setelah tujuh hari biokonversi, PKM menjadi produk *Palm Kernel Meal* terkonversi (PKMK).

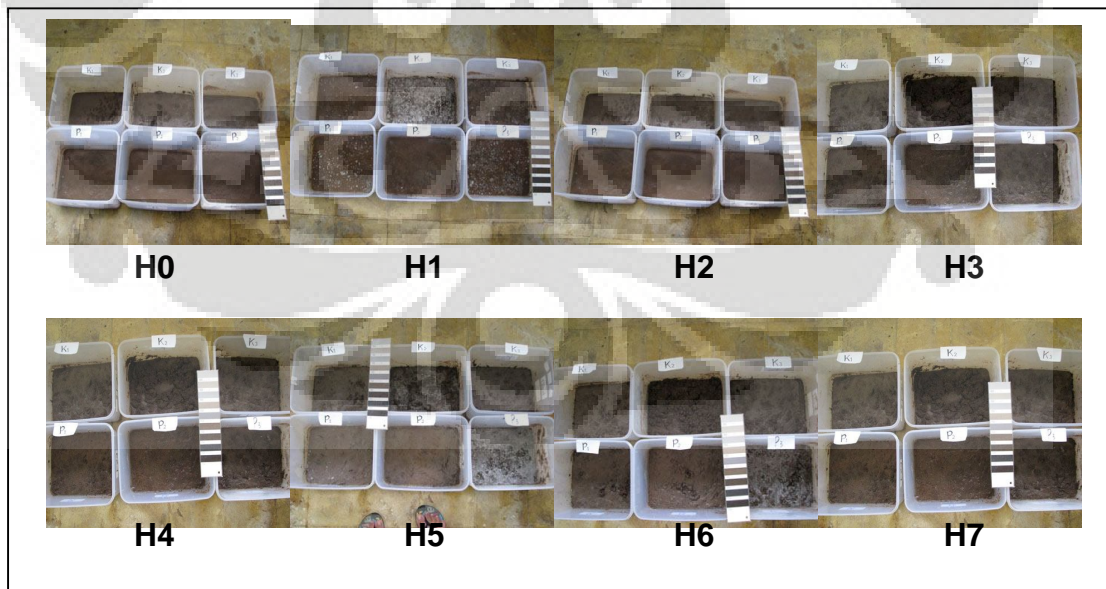
Perubahan warna PKM selama biokonversi

Perubahan warna perlu diamati untuk mengetahui pengaruh degradasi PKM terhadap perubahan warna. Perubahan warna selama biokonversi disebabkan oleh peran bakteri dalam menguraikan substrat. McArthur (2006) menyatakan bahwa bakteri akan tumbuh dan berkembang dengan cara memanfaatkan nutrisi yang ada di dalam substrat, baik yang berupa protein, lemak, serat, karbohidrat, maupun kandungan unsur-unsur mineral. Selain tumbuh dan berkembang, umumnya bakteri juga menghasilkan metabolit sekunder berupa pigmen warna dan enzim-enzim yang dibutuhkan (Haug 1993 lihat Salyers *et al.* 1994). Said *et al.* (1990) menyatakan bahwa mikroba akan memproduksi metabolit sekunder dalam bentuk pigment pada fase akhir siklus pertumbuhan (idiofase).

Selama biokonversi PKM berlangsung, terjadi perubahan warna berdasarkan *Standart Colour Paper* yang digunakan sebagai parameter

perubahan warna. Hari ke-0 (H_0) sampai hari ke-1 (H_1) warna substrat terlihat cenderung pada kode nomor 465 (coklat muda), sedangkan hari ke-2 (H_2) sampai hari ke-7 (H_7) biokonversi pada kode nomor 466 (coklat tua).

Perubahan warna selama biokonversi, diduga akibat bakteri telah mendekomposisi PKM dan menghasilkan materi organik serta produk lainnya sebagai sumber makanan bagi saprofit. Selain itu perubahan warna juga disebabkan oleh ketengikan dari lemak yang terjadi selama biokonversi. Martin *et al.* (1983) menyatakan bahwa ketengikan adalah perubahan kimia yang menimbulkan bau, rasa tidak enak, dan perubahan warna pada bahan yang mengandung lemak. Oksigen dari udara menyerang ikatan rangkap pada asam lemak untuk membentuk ikatan peroksida yang menyebabkan terjadinya ketengikan. Perubahan warna PKM selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 1.



Gambar I.1. Perubahan warna PKM selama biokonversi.
Keterangan: H_0 -- H_1 = coklat muda; H_2 — H_7 = coklat tua.

Harper (1995) menjelaskan bahwa setiap proses perubahan suatu senyawa akan terjadi perubahan warna akibat dari penguraian atau penggabungan untai rantai pada unsur-unsur penyusun substrat yang berperan selama proses berlangsung. Pelczar dan Chan (2005) menyatakan bahwa beberapa bakteri seperti *Bacillus* spp. dan *Clostridium* spp. memproduksi pigmen yang dapat merusak warna asli substrat dan menghasilkan lendir. Said *et al.* (1990) mengemukakan bahwa selama sepuluh hari proses fermentasi substrat padat terjadi perubahan warna dari bahan dasar tumbuhan menjadi coklat, yang disebabkan oleh degradasi mikroorganisme yang berperan selama fermentasi.

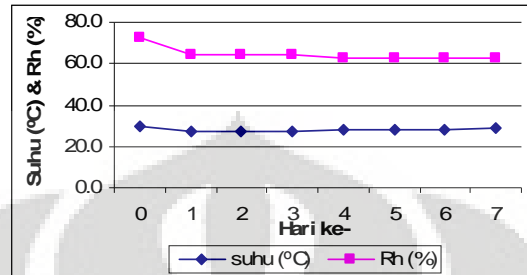
Parameter ruang penyimpanan dan substrat PKM selama biokonversi

Selama biokonversi berlangsung, dilakukan pengukuran parameter lingkungan ruang penyimpanan dan substrat PKM. Pengukuran parameter ruang penyimpanan terdiri dari pengukuran suhu dan kelembapan nisbi (RH). Pengukuran parameter lingkungan substrat terdiri dari pengukuran suhu, pH, kelembapan nisbi (RH), dan kadar air (*available Water* atau aW).

1. Parameter ruang penyimpanan selama biokonversi

Selama biokonversi berlangsung, suhu ruang penyimpanan berkisar antara 27—30° C dan kelembapan nisbi berkisar antara 62,5—72,5%. Lim *et al.* (2001) melaporkan bahwa suhu ruang dan substrat PKM untuk pakan pada awal fermentasi sebesar 30° C. Hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan tercantum dalam Lampiran I. 3. a. Grafik suhu dan

kelembapan nisbi ruang penyimpanan selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I.2.



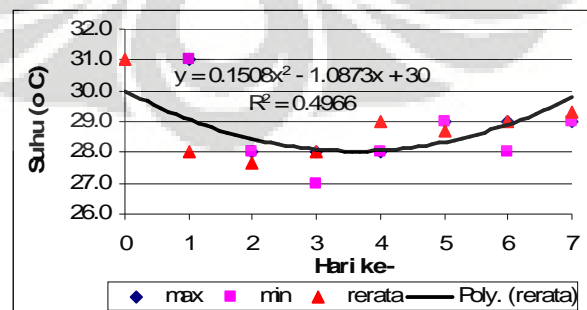
Gambar I.2. Grafik suhu dan kelembapan nisbi ruang penyimpanan selama biokonversi.

2. Parameter substrat PKM selama biokonversi

Selama biokonversi, dilakukan pengukuran parameter substrat PKM yang terdiri dari pengukuran suhu, pH, aW, RH, dan perubahan warna. Hasil pengukuran parameter substrat PKM tercantum dalam Lampiran I. 3. b.

a. Parameter suhu

Selama biokonversi berlangsung dilakukan pengukuran suhu substrat untuk mengetahui fluktuasi suhu yang terjadi. Grafik perubahan suhu substrat selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 3.



Gambar I.3. Perubahan suhu substrat selama biokonversi

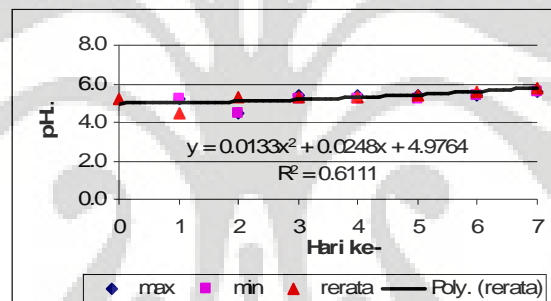
Hasil pengukuran suhu selama biokonversi PKM memperlihatkan bahwa pada substrat fluktuasi suhu berkisar antara 27—31⁰ C, rerata suhu menunjukkan kisaran 29⁰ C. Berdasarkan hasil pengamatan, maka fluktuasi suhu pada substrat rendah dalam mendukung biokonversi PKM untuk pakan maggot. Kenaikan suhu pada substrat selama biokonversi disebabkan oleh respirasi bakteri yang melepaskan panas pada substrat. Semakin banyak bakteri pada substrat, berdampak semakin cepat kenaikan suhu akibat respirasi bakteri. Secara umum populasi bakteri tertinggi akan dicapai pada substrat bersuhu 20—37⁰ C, pada kondisi tersebut populasi bakteri dimungkinkan akan didominasi oleh bakteri mesofilik (Atlas, 1998).

Purwadaria (2007) melaporkan bahwa fermentasi bungkil kelapa sayur untuk pakan itik lebih cepat terurai pada suhu penyimpanan 50⁰ C dibandingkan penyimpanan pada suhu ruang. Kolade *et al.* (2007) menjelaskan bahwa suhu awal fermentasi PKM untuk pakan babi sebesar 30⁰ C dan akan terus meningkat hingga mencapai 58⁰ C setelah hari ke-12 fermentasi, dan akan mencapai kondisi stabil (suhu 28⁰ C) setelah hari ke-42 fermentasi. Adeoye dan Srinidhar (2003) lihat Adeoye *et al.* (2007) melaporkan bahwa pada proses pengomposan *Palm Kernel Meal* (PKM) terjadi peningkatan suhu hingga mencapai 52⁰ C. Fermentasi substrat padat efektif dikondisikan pada suhu 25—30⁰ C selama 1—2 minggu penyimpanan, peningkatan suhu selama fermentasi dapat terjadi akibat respirasi mikroorganisme yang terdapat pada substrat (Said *et al.* 1990). Pelczar dan Chan (2005) mengemukakan bahwa respirasi sel

mikroorganisme menyebabkan hilangnya sebagian energi, antara lain dalam bentuk gas karbon atau metan yang dapat meningkatkan suhu. Atlas (1998) menyatakan bahwa fluktuasi suhu yang terjadi berdampak pada parameter lingkungan yang lain, seperti pH, dan kelembapan nisbi (RH).

b. Parameter pH selama biokonversi

Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui derajat keasaman substrat. Perubahan pH pada substrat selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 4.



Gambar I. 4. Perubahan pH substrat selama biokonversi

Mikroorganisme secara umum tidak dapat hidup pada pH yang ekstrim. Madigan dan Martinko (2005) menjelaskan bahwa umumnya bakteri dapat berkembang dengan baik ada pH 5,0—7,0. Kisaran pH substrat PKM antara 4,4—5,8, dengan rerata pH mencapai 5,4. Hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa substrat tergolong kondisi asam. Martin *et al.* (1983) menyatakan bahwa nilai pH < 7,0 menunjukkan kondisi asam, sedangkan nilai pH > 7,0 menunjukkan kondisi basa.

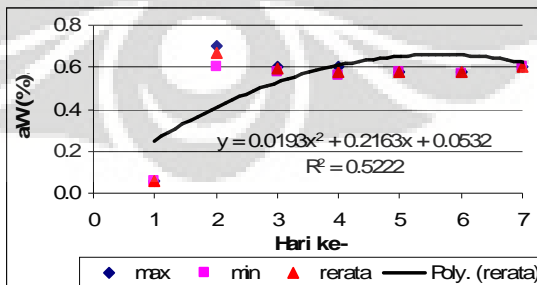
Bakteri sangat membutuhkan pH optimum untuk pertumbuhan dan metabolisme enzim. Said *et al.* (1990) mengemukakan bahwa pH ekstrim

akan menurunkan beberapa komponen protein pada substrat. Ingledew (1990) & Kroll (1990) *lihat* Madigan & Martinko (2005) menyatakan bahwa pada kondisi asam, beberapa mikroba tidak dapat menghidrolisis komponen sel, dan enzim yang ada di dalam tubuh akan terdenaturasi. Adeoye *et al.* (2007) melaporkan bahwa rata-rata pH yang terjadi pada pengkomposan PKM selama enam minggu sebesar 7,35.

c. Parameter kadar air (aW) selama biokonversi

Air merupakan komponen penting pada banyak reaksi biokimia dan sangat menentukan sifat-sifat dari makromolekul seperti protein (Martin *et al.* 1983). Kadar air merupakan parameter yang selalu diperhatikan di dalam menentukan status kelembapan. Kadar air di dalam lingkup mikrobiologi dapat diartikan sebagai *available Water* (Atlas, 1998) atau *activity Water* (Madigan dan Mantinko 2005; Gandjar 2007, komunikasi pribadi).

Pengukuran kadar air (aW) dilakukan untuk mengetahui kadar air pada substrat selama proses biokonversi. Perubahan aW pada substrat selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 5.



Gambar I. 5. Perubahan aW substrat selama biokonversi

Atlas (1998) mengemukakan bahwa mikroorganisme sangat tergantung kondisi air yang terdapat pada lingkungan hidupnya. Umumnya kadar air di atmosfer tergolong rendah dan memperlambat pertumbuhan mikroba (Gregory 1973 *lihat* Atlas 1998). Suhu yang rendah di kawasan tropis menyebabkan kadar air (a_w) dan kelembapan nisbi (RH) udara tinggi, sehingga mikroba dapat tumbuh dengan baik. Tanaka dan Fukui (1982) *lihat* Smith (1990) menjelaskan bahwa air merupakan bahan penting protoplasma sel bakteri yang berfungsi sebagai pelarut nutrisi. Said *et al.* (1990) menyatakan bahwa mikroba yang berperan pada biokonversi substrat padat dapat bertahan dan berkembang biak secara cepat pada kondisi a_w rendah. Pendapat tersebut diperkuat oleh Smith (1990) yang menyatakan bahwa bakteri yang hidup pada kondisi kadar air di bawah 0,2 laju metabolisme berjalan lebih cepat, dan akan berjalan lambat jika kadar air mencapai $> 0,6$. Jika pada lingkungan hidup bakteri tidak ada air, kelembapan akan rendah, maka aktivitas hidup bakteri akan berhenti (Krebs 1978 *lihat* McArthur, 2006).

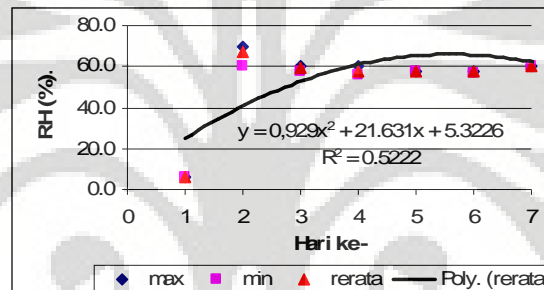
Nilai a_w pada PKM sebesar 0,6—0,7, dengan nilai rerata sebesar 0,6. Substrat PKM tergolong basah, dan mempunyai kadar air tinggi. Kondisi tersebut diduga menghambat bakteri tumbuh dengan baik, meskipun ada sebagian bakteri yang tetap dapat beradaptasi dan berkembang dengan baik.

Atlas (1998) menjelaskan bahwa umumnya mikroorganisme dapat melakukan metabolisme secara aktif pada kondisi a_w 0,96, sedangkan bakteri berfilamen dapat hidup pada kondisi $A_w < 0,60$ (*xerotolerant*).

Martinko dan Madigan (2005) mengemukakan bahwa bakteri banyak ditemukan pada substrat yang mempunyai nilai a_w tinggi (1,00).

d. Parameter kelembapan nisbi (RH) selama biokonversi

Pengukuran kelembapan nisbi (RH) dilakukan untuk mengetahui kelembapan nisbi pada substrat dan ruang penyimpanan selama proses biokonversi. Perubahan RH pada substrat selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 6.



Gambar I. 6. Perubahan RH substrat selama biokonversi

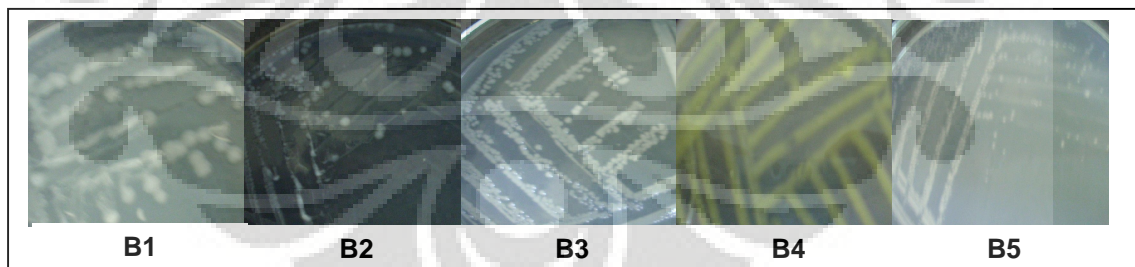
Nilai RH pada substrat berkisar antara 58—70%, kecuali pada substrat sebelum biokonversi kadar RH hanya sebesar 5,8%, dan nilai rerata mencapai 60%. Rata-rata kelembapan pada ruang penyimpanan lebih tinggi daripada substrat, yaitu sebesar 64%. Fluktuasi suhu dan kurangnya sinar matahari akibat dari pergantian musim, menyebabkan ruang penyimpanan lebih lembap daripada kondisi sebelum biokonversi. Kelembapan nisbi pada suatu lingkungan atau substrat sangat dipengaruhi oleh kadar air.

Jennings *et al.* (1996) melaporkan bahwa kadar air pada substrat dapat berkurang tidak hanya disebabkan oleh berkurangnya kadar air, tetapi juga dipengaruhi oleh porositas substrat untuk menyerap air. Kolade *et al.*

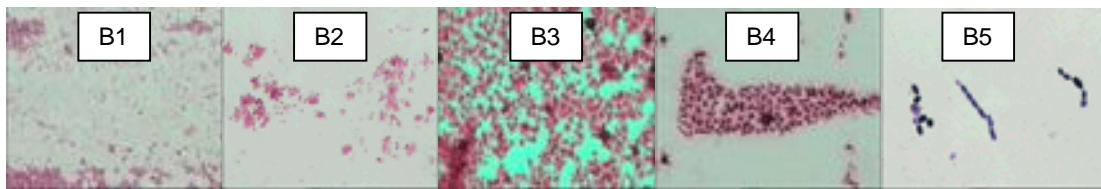
(2007) menjelaskan bahwa pada proses biokonversi PKM untuk biofertilizer, kelembapan PKM pada media rata-rata mencapai 58,92%.

Keberadaan bakteri selama biokonversi

Isolasi yang dilakukan selama biokonversi, dihasilkan lima jenis isolat bakteri dari sampel substrat PKM. Bakteri-bakteri yang diisolasi diberi kode B1, B2, B3, B4, dan B5. Hal tersebut menunjukkan sedikitnya isolat representatif bakteri dalam PKM. Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 7. Hasil pewarnaan Gram isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi dapat dilihat pada Gambar I. 8. Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi dapat dilihat pada Tabel I. 1. Hasil perhitungan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada PKM yang ditemukan selama biokonversi dapat dilihat pada Tabel I.2.



Gambar I. 7. Morfologi makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi.



Gambar I. 8. Hasil pewarnaan Gram isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi.

Tabel I.1. Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi.

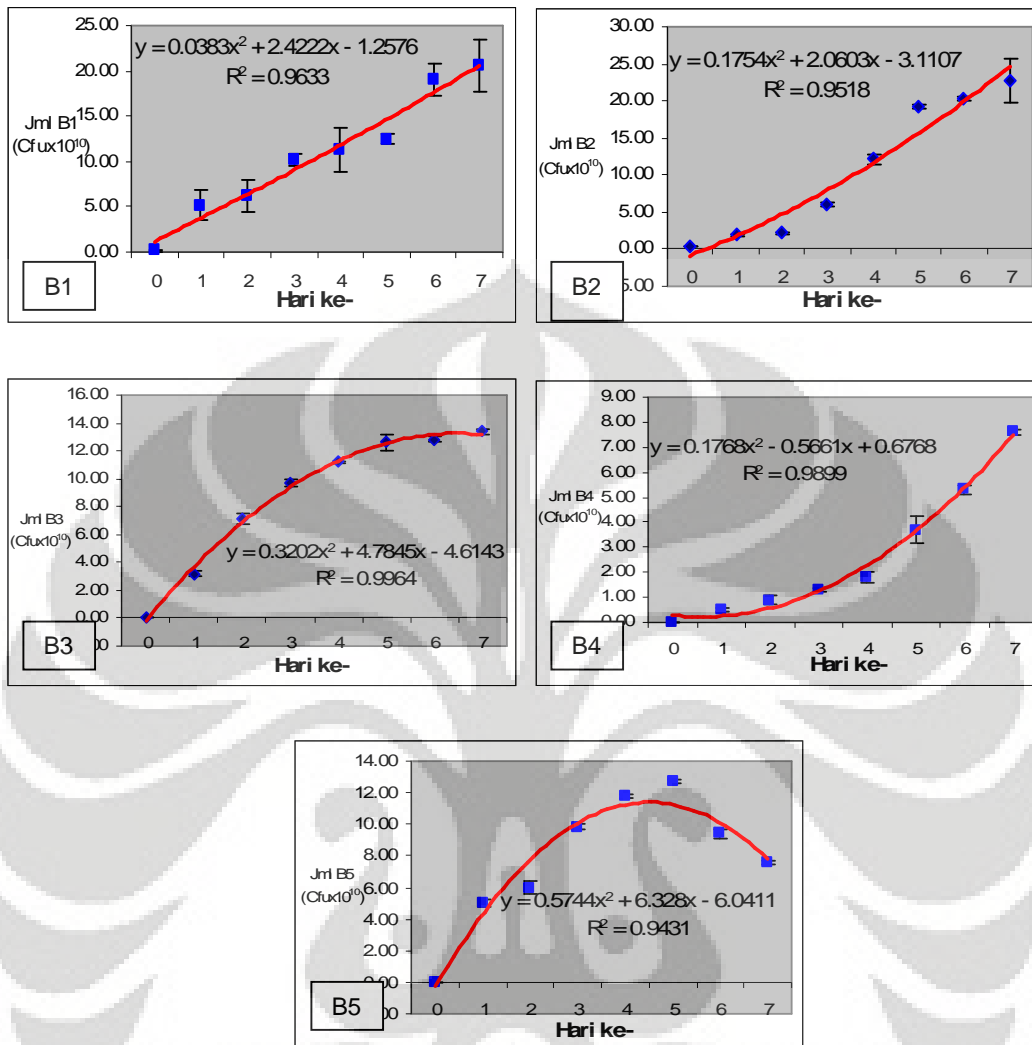
Isolat Bakteri	Warna dan Permukaan koloni	Tekstur	Profil samping	Profil tepi	Penampakan koloni	Gram Stain	Bentuk sel
B1	Krem mengkilap	Licin	Menggunung	Rata	Tidak tembus pandang	+	Koko basilus
B2	Putih bening Mengkilap	Licin	Datar	Rata	Tembus pandang	+	Basilus
B3	Putih kusam	Licin	Menggunung	Rata	Tidak tembus pandang	+	Koko basilus
B4	Kuning mengkilap	Licin	Menggunung	Rata	Tidak tembus pandang	+	Kokus
B5	Putih kusam	Kerut	Datar	Bergerigi dan berserabut	Tidak tembus pandang	+	Basilus

Tabel I. 2. Hasil perhitungan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada PKM yang ditemukan selama biokonversi

Kode bakteri	Jumlah total (cfu x 10 ¹⁰)	Rerata (cfu x 10 ¹⁰)	P – value ($\alpha < 0,05$)
B1	111.61 ± 8.27	13.95 ± 8.27	0.397 a
B2	85.07 ± 9.18	10.63 ± 9.18	0.242 a
B3	70.00 ± 4.93	8.75 ± 4.93	0.433 a
B4	56.13 ± 8.32	7.02 ± 8.32	0.178 a
B5	61.00 ± 5.14	7.63 ± 5.14	0.945 a

Keterangan : tanda abjad sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil tidak berbeda nyata.

Hasil perhitungan rerata jumlah bakteri menunjukkan bahwa B1 ($111,60 \times 10^{10}$ cfu/mL) merupakan bakteri terbanyak selama proses biokonversi, diikuti dengan bakteri B2 ($85,07 \times 10^{10}$ cfu/mL), B3 ($70,00 \times 10^{10}$ cfu/mL), B5 ($6,10 \times 10^{10}$ cfu/mL), dan B4 ($5,61 \times 10^{10}$ cfu/mL). Secara perhitungan polinomial, pertumbuhan bakteri B1 menunjukkan taraf kepercayaan sebesar 96,33%, bakteri B2 sebesar 95,18%, bakteri B3 sebesar 99,64%, bakteri B4 sebesar 98,99%, dan bakteri B5 sebesar 94,31%. Grafik jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi PKM dapat dilihat pada Gambar I.9.



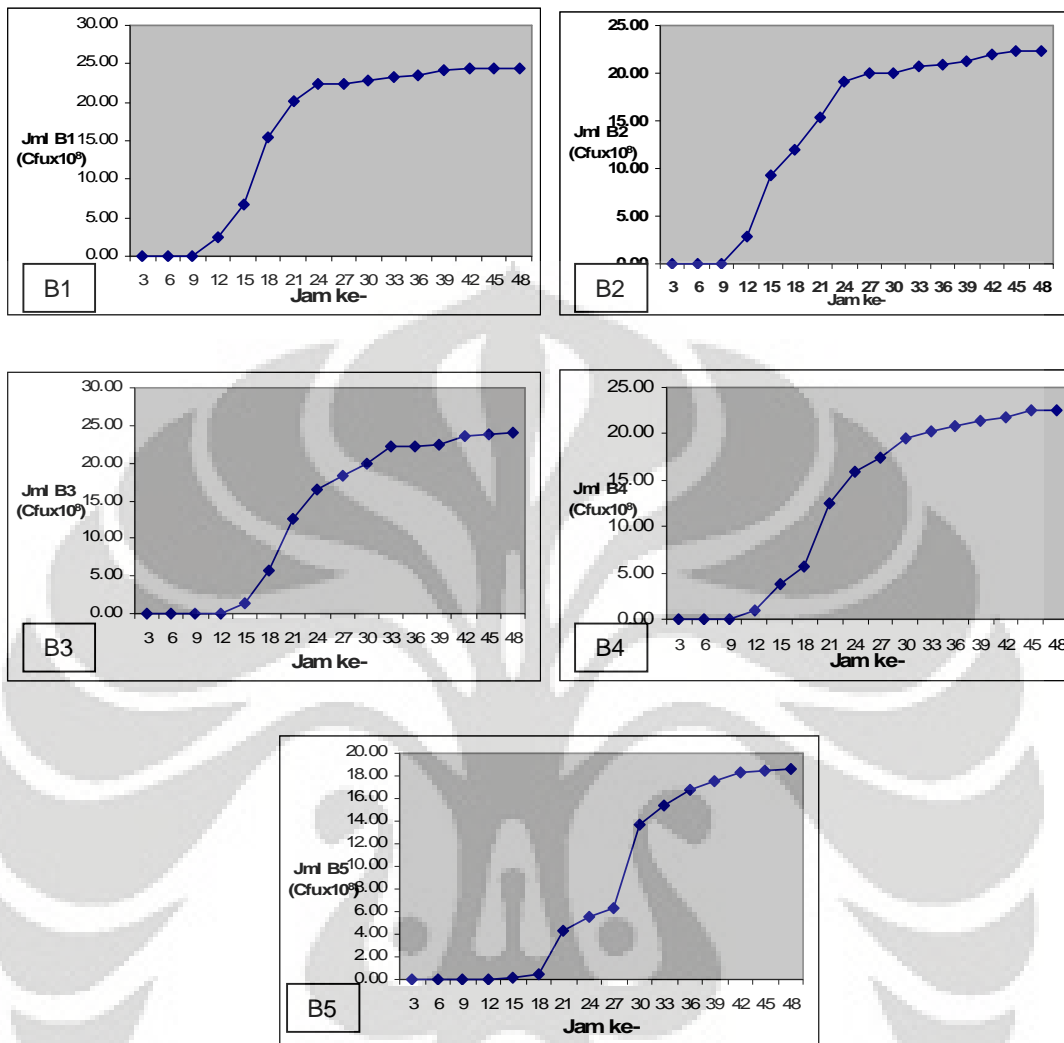
Gambar I.9. Grafik jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat yang ditemukan selama biokonversi PKM. Keterangan : ■ = hasil perhitungan bakteri; — = polinomial hasil perhitungan bakteri.

Secara umum peningkatan jumlah bakteri pada substrat dipengaruhi oleh waktu biokonversi, nutrisi PKM dan perubahan parameter lingkungan. Puncak pertumbuhan bakteri B1, B2, B3, dan B4 terjadi pada hari ke-7 (H_7) biokonversi. Berbeda halnya dengan bakteri B5, puncak pertumbuhan terjadi pada hari ke-5 (H_5), hari selanjutnya mengalami penurunan hingga hari ke-7 (H_7) biokonversi. Lubis (1992) mengemukakan bahwa komponen-komponen

penyusun buah kelapa sawit seperti karbohidrat, lemak, protein, serat, dan mineral-mineral yang terdapat di dalamnya sangat mendukung pertumbuhan mikroba. Selain melihat bentuk persamaan polinomial peningkatan pertumbuhan bakteri, dilakukan pula perhitungan *Total Plate Count* (TPC cfu/mL) untuk menentukan kurva pertumbuhan bakteri.

Kurva pertumbuhan dibuat untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan bakteri mencapai akhir fase logaritmik. Jutono *et al.*(1972) menjelaskan bahwa kurva pertumbuhan dapat menentukan kinetika biokonversi dan mengikuti pola sigmoid, yang terdiri dari fase lag, fase eksponensial, dan fase stasioner.

Kurva pertumbuhan mengikuti pola sigmoid. Fase lag (lag phase) pada bakteri B1, B2, dan B3 terjadi pada jam ke-9, sedangkan B4 terjadi pada jam ke-12 dan bakteri B5 terjadi pada jam ke-15. Akhir fase eksponensial bakteri B1 terjadi pada jam ke-24, B2 pada jam ke-27, B3 dan B4 pada jam ke-33, dan B5 pada jam ke-36. Waktu regenerasi sel bakteri B1 terjadi selama 8,74 menit, B2 terjadi selama 10,52 menit, B3 terjadi selama 12,73 menit, B4 terjadi selama 18,08 menit, dan B5 selama 28,65 menit. Hasil perhitungan TPC (cfu/mL) dapat dilihat pada Lampiran I. 4. Kurva pertumbuhan bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 berdasarkan perhitungan TPC dapat dilihat pada Gambar I.10.



Gambar I.10. Kurva pertumbuhan bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 berdasarkan perhitungan TPC.

Sedikitnya isolat dan jumlah bakteri yang tumbuh selama biokonversi disebabkan kandungan nutrisi PKM. Selama biokonversi, penguraian PKM dari bentuk partikel besar menjadi partikel kecil banyak menghasilkan senyawa-senyawa maupun unsur-unsur organik penting untuk pertumbuhan bakteri, seperti karbon (C), nitrogen (N), dan mineral lainnya. Komponen-komponen kimia ini akan dimanfaatkan bakteri untuk melakukan metabolisme

dan menghasilkan enzim protease sehingga nilai retensi protein PKM meningkat.

Tingginya kandungan N total dapat memunculkan bakteri proteolitik yang mampu memanfaatkan substrat untuk menaikkan kadar protein pada PKM. Jenis bakteri proteolitik antara lain adalah *Pseudomonas fluorescens*, *P. fragi*, *P. aeruginosa* (Villi *et al.* 2008); *Bacillus cereus*, *Micrococcus luteus*, dan *Serratia marcescens* (Prakash *et al.* 2007).

Hasil analisis proksimat hari ke-0 (H0) dan hari ke-7 (H7) biokonversi

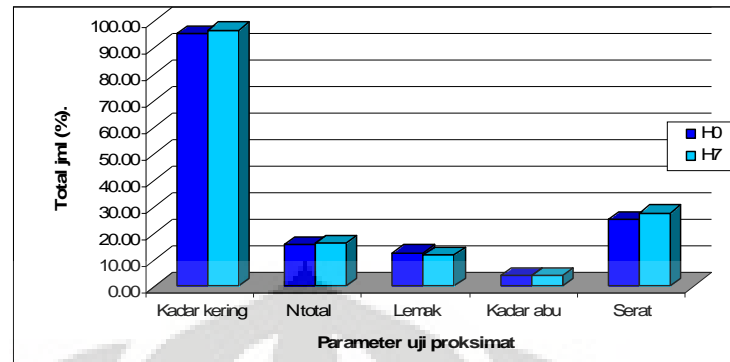
Analisis proksimat dapat diketahui dengan lima macam fraksi yaitu kadar air, kadar abu, total protein kasar, lemak kasar, dan serat kasar. Nilai rerata hasil analisis proksimat awal biokonversi (hari ke-0) dan akhir biokonversi (hari ke-7) dapat dilihat pada Tabel I.3.

Tabel I.3. Nilai rerata hasil analisis proksimat hari ke-0 (H0) dan hari ke-7 (H7) biokonversi

Parameter uji proksimat (%)	H0	H7	(Δ) H21-H7
Kadar kering	95.44	96.84	1.41
N total	15.76	16.25	0.49
Lemak	12.74	11.77	-0.97
Kadar abu	4.16	4.12	-0.04
Serat	25.10	27.61	2.51

Keterangan : H0 = pengambilan sampel pada hari ke-0; H7 = pengambilan sampel pada hari ke-7.

Diagram batang rerata hasil analisis proksimat hari ke-0 (H0) dan hari ke-7 (H7) biokonversi dapat dilihat pada Gambar I.11.



Gambar I.11. Diagram batang rerata hasil analisis proksimat hari ke-0 (H₀) dan hari ke-7 (H₇) biokonversi.

Perubahan hasil analisis proksimat hari ke-0 (H₀) dan hari ke-7 (H₇) menunjukkan bahwa kadar kering substrat mengalami kenaikan nilai dari 95,44% menjadi 96,84%. Kadar kering sangat dipengaruhi oleh kadar air substrat. Perubahan hasil analisis kadar kering selama biokonversi diduga banyak dipengaruhi oleh faktor suhu, daya serap PKM terhadap air, dan peran bakteri memanfaatkan air.

Kadar kering dari hasil analisis proksimat dapat dikatakan sesuai dengan standar yang dilakukan pada penelitian sebelumnya. Agunbiade *et al.* (1999) melaporkan bahwa kadar kering pada *Full Fat Palm Kernel* (FFPK) sebesar 91,97%, sedangkan kadar kering pada PKM sebesar 88,3%. Anonim (2007) menerangkan bahwa suhu rendah akan meningkatkan kadar air pada substrat. Gandjar (2007) melalui komunikasi pribadi, menjelaskan bahwa mikroorganisme sulit hidup pada kondisi kadar air kurang dari 75%.

Nilai N total protein substrat pada hari ke-7 (H₇) mengalami kenaikan 0,27% dari 16,51% menjadi 16,78%. N total diperoleh dari semua komponen

yang terdapat pada substrat PKM. Sylvester *et al.* 2002 lihat Iluyemi *et al.* 2006 melaporkan bahwa nitrogen merupakan komponen utama dari protein sel, sehingga konsumsi nitrogen berakibat langsung terhadap jalannya sintesis protein pada sel organisme dan mikroorganisme.

Kolade *et al.* (2007) menjelaskan bahwa sebelum difermentasi, di dalam PKM hanya terdapat sebanyak 42,79% karbon, 57,21% *volatile matter* (bahan mudah menguap), dan 0% nitrogen (tanpa nitrogen). Namun setelah dilakukan fermentasi, ketiga unsur tersebut mengalami peningkatan. Kandungan karbon meningkat menjadi 83,21%, nitrogen 13,62%, dan fosfor 4,07%. Peningkatan ketiga unsur tersebut disebabkan oleh peran bakteri dalam mengurai senyawa kompleks menjadi senyawa lebih sederhana. Pelczar dan Chan (2005) menyatakan bahwa salah satu sifat mikroorganisme adalah mengurai bahan dalam bentuk senyawa kompleks menjadi senyawa lebih sederhana untuk digunakan dalam pertumbuhan.

Mengingat biokonversi PKM hanya dilakukan dengan penambahan air, N total yang terkandung dalam PKM selama biokonversi dapat dikatakan tergolong masih memenuhi standar N total PKM yang pernah dilakukan dalam pengujian protein. Purwadaria (2007) melaporkan bahwa bungkil kelapa mengalami peningkatan protein kasar dari 21,7% menjadi 35,2% setelah dilakukan fermentasi menggunakan kapang *Aspergillus niger* NRRL 337.

Ng (2003) melaporkan bahwa proses fermentasi PKM menggunakan jamur *Trichoderma koningii* menunjukkan hasil peningkatan kandungan

protein PKM dari 17% menjadi 32%. Zahari dan Alimon (2005) menjelaskan bahwa faktor lain yang menyebabkan kurang maksimalnya hasil biokonversi karena keterbatasan PKM, seperti rendahnya kandungan protein (13—15,91%), terjadinya defisiensi asam amino, serta kandungan seratnya yang tinggi (18—20%). Anonim (2007) melaporkan bahwa biokonversi dengan *Aspergillus niger* NRFL 337 menggunakan bungkil kelapa dapat meningkatkan kadar protein kasar, kalsium, fosfor, daya cerna bahan kering, energi, dan serat kasar.

Kadar lemak substrat mengalami penurunan meskipun tidak terlalu besar. Kadar lemak substrat turun dari nilai 13,35% menjadi 12,15%. Hem *et al.* (2004) melaporkan bahwa PKM mengandung 12—20% lemak. Penurunan kadar lemak akibat dari penguraian lemak oleh bakteri lipolitik terhadap komponen lemak yang terkandung di dalam PKM.

Kadar abu substrat mengalami penurunan dari 4,23% menjadi 4,40%. Kadar abu pada substrat dipengaruhi oleh kadar air. Cockernel *et al.* (1975) menjelaskan bahwa kadar air yang tinggi pada sampel yang diuji dapat menyebabkan rendahnya kadar abu.

Analisis serat substrat mengalami kenaikan dari 26,30% menjadi 28,51%. Peningkatan kadar serat diduga karena selama proses biokonversi, substrat PKM banyak menyerap air sehingga serat PKM akan semakin mudah terurai dan terakumulasi lebih banyak menjadi serat. Lubis (1992) melaporkan bahwa kandungan serat PKM setelah proses pengolahan masih mencapai sekitar 20%.

Selain peran bakteri, diduga keberhasilan biokonversi PKM untuk biokonversi pakan maggot sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan kandungan nutrisi yang terdapat pada PKM. Hasil perhitungan jumlah bakteri selama biokonversi menunjukkan tidak berbeda nyata, hal tersebut diduga akibat fluktuasi suhu yang ekstrim, sehingga bakteri tidak dapat tumbuh dengan baik. Kemunculan bakteri sangat memengaruhi proses biokonversi, mengingat peran bakteri sebagai mikroorganisme pengurai.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Biokonversi PKM dapat dilakukan secara alami selama tujuh hari. Terjadi biodegradasi oleh bakteri pada PKM, dan diperoleh 5 isolat bakteri yaitu: B1, B2, B3, B4 dan B5 selama biokonversi. Kondisi lingkungan temperatur, pH, Aw dan Rh tidak berbeda pada substrat dan ruang penyimpanan selama biokonversi. Hasil analisis proksimat menunjukkan kenaikan kadar kering, total protein, dan serat serta terjadi penurunan kadar lemak dan kadar abu setelah biokonversi.

SARAN

Perlu dilakukan diidentifikasi jenis bakteri yang diisolasi, perbandingan air dan substrat perlu divariasikan, dan penambahan lama waktu biokonversi.

DAFTAR ACUAN

- Adeoye, G.O., M.K.C. Sridhar, N.A. Akinsoji, & O.O. Adeoluwa. 2005. Evaluation of naturally decomposed solid wastes from municipal dump sites for their manurial value in South West Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture*. **26**(4): 143—152.
- Akubuo, C.O. & B.E. Eje . 2002. Palm kernel and shell separator. *Biosyst. Eng.* 81: 193-199.
- Anonim. 2001. Palm kernel oil - composition and properties, *FOSFA International (Association for international trading in oils, fats and oilseeds)*. 4 hlm.
- Arini, N. 2005. *Isolasi dan penapisan mikroba penghasil lipase spesifik 1,3-gliserida serta penentuan kondisi optimum produksi diasilgliserol menggunakan minyak sawit mentah*. Tesis. Universitas Indonesia. 61 hlm.
- Association of Official Analytical Chemists. 1995. *Official methods of analysis*. 16th. Edn. Washington. D.C. 12—25.
- Atlas, R.M. 1998. *Respon of microbial population to environmental disturbance*. *Microb. Ecol.* 22: 249—256 hlm.
- Balitbangtan. 2005. *dalam* Departemen Pertanian. 2006. *Produksi kelapa sawit nasional*. 1 hlm. w.w.w database.deptan.go.id/bdspweb/74-free-frame.asp, dikunjungi 24 Agustus 2008, pk. 10.00.

- Cappucino, J.G. & N. Sherman. 2002. *Microbiology. A Laboratory Manual*. Benjamin Cumming Publishing Company, Inc. New York: xvii+491 hlm.
- Chin, F.Y. 2002. *Utilization of palm kernel cake (PKC) as feed in Malaysia*, Asian Livestock, FAO Regional Office Bangkok, Thailand, 19-- 23.
- Choct, M. 2001. Nutritional constraints to alternatives ingredians. American Soybean Association – Tech. Bull. AN31-2001 *Afr. J. Biotechnol.* 91—98.
- Cockerel, I., A. Halliday & D.J. Morgan. 1975. *Quality control in the animal feedstuffs manufacturing industry*. Top. Prod. Inst. G,97, London. 1—37.
- Crawford, R.L. 1981. *Lignin biodegradation and transformation*. New York: Jhon Wiley and Sons. 56 hlm.
- Düsterhöft, E.M. 1993. *Characterization and enzymic degradation of non-starch polysaccharides in lignocellulosic byproducts: a study on sunflower meal and palm-kernel meal*. Wageningen Dissertation Abstracts - WAU dissertation. hlm 1593.
- Departemen Pertanian. 2006. *Produksi kelapa sawit nasional*. 1 hlm. www.database.deptan.go.id/bdspweb/74-free-frame.asp. dikunjungi 2 Februari 2008, pk. 12.00 WIB.
- Food and Agriculture Organization. 2002. Utilization of palm kernel cake (PKC) as feed in Malaysia. *Asian Livestock* **26**(4): 19--23.
- Food and Agriculture Organization. 2006. *Export of palm oil 2004*.

1 hlm. www.fao.org/es/ess/toptrade/trade.asp?dir=exp&disp=countrybycomm&resource=257&year=2004, dikunjungi 2 Februari 2008, pk. 10.12 WIB.

- Hariadi. 2008. Potensi tanaman sawit di Indonesia. *Makalah Ilmiah*. Lokakarya Tanaman Sawit Indonesia. Sumatra Selatan. Indonesia. 7 hlm.
- Hanafi. 2004. *Pemanfaatan bungkil sawit untuk pakan itik*. Tesis. UNPAD. Bandung. iv+27 hlm.
- Harper. 1998. *Biokimia*. Gramedia. Jakarta. 98—108.
- Hatami, S., H.A. Alikhani, H. Besharati, N. Salehrastn, M. Afrousheh, & Z. Y. Jahromi. 2008. Investigation on aerobic cellulolytic bacteria in some of north forest and farming soil. *American-Eurasian. J. Agric. & Environ. Sci.*, **3**(5): 713—716.
- Hem, S. 2004. *Prospective works, results and plans for the future programs of bioconversion processing of by-products from agro-industries in Indonesia and their volarization via aquaculture: Application with palm kernel meal (PKM)*. Report for IRD. 11 hlm. (tidak dipublikasikan).
- Hem, S., S. Toure, C. Sagabla, & M. Legendre. 2008a. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea) *African Journal of Biotechnology*. **7**(8): 1192-1198.
- Hem, S., M. R. Fahmi, Chumaidi, Maskur, A. Hadadi, Supriyadi, Ediwarman,

- M. Larue & L. Pouyaud. 2008b. *Valorization of Palm Kernel Meal via Bioconversion*: Indonesia's initiative to address aquafeeds shortage. International Conference on Oil Palm and Environment (ICOPE), 15-16 November 2007, Bali, Indonesia.
- Henriksson, G., P. Ander, & G. Petersonn. 1995. Cellobiose dehydrogenase (cellobiose oxidase) from *Phanerochaete chrysosporium* as wood-degrading enzyme. Studies on cellulose, xylan and lignin synthetic. *Appl. Microbiol. Biothechnol.* 42: 792—796.
- Iluyemi, F.B., M.M.. Hanafi, O.Radziah, & M.S. Kamarudin. 2006. *Fungal solid state culture of palm kernel cake*. *Bioresour. Technol.* 97: 477-482.
- Jennings, D.H., & G.Lysek. 1996. *Fungal biology*. BIOS Scientific Publishers Limited. Oxford. 198 hlm.
- Jutono, S. Hartadi, S. Kabirun, S. Judoro, & D. Suhadi. 1972. *Panduan mata kuliah dan praktikum mikrobiologi*. Universitas Gadjah Mada. 78 hlm.
- Kolade, O. O., A.O. Coker, M.K.C. Sridhar, & G.O. Adeoye. 2007. Palm kernel waste management through composting and crop production. *Journal of Environmental Healt Research.* 5: 81—85.
- Knapp, J.S. 1985. *Biodegradasion of cellulose and lignins*. Dalam: Moo-Young, M.(ed). *Comprehensive Biothechnology*. New York: Pergomon Press. 87 hlm.
- Lestan, D., A. Srancar, & A. Perdihi. 1990. Influece of some oil and surfactans on lignolytic actifity, growth and lipid fatty acids of *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Microbiial Biotech.* 34: 426—428.

- Lim H-A., Ng W-K., S.L.Lim, & C.O. Ibrahim 2001. Contamination of palm kernel meal with *Aspergillus flavus* affects its nutritive value in pelleted feed for tilapia, *Oreochromis mossambicus*. School of Biological Sciences, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia. *Aquacult. Res.* 32: 895-905.
- Lynd, L.R., P.J. Weimer, Zyl, W.H., & I.S. Pretorius. 2002. Microbial cellulose utilization : Fundamental and Biotechnology. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 9: 506—577.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko & J. Parker. 1994. *Brock biology of microorganisms*. 7th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey: xvii + 909 hlm.
- Martin, D. W., P. A. Mayes, & V. W. Rodwel. 1983. *Biokomia*. EGC penerbit buku kedokteran. 19. 678 hlm.
- McArthur, J.V. 2006. *Microbial ecology*. An evolutionary Approach. Library of congress cataloging-in-Publication Data. Academic Press is an imprint of Elsevier. 416 hlm.
- Moereu. 2005. *Protocol proksimat analysis for fish*. Unpublish. IRD. France. 22 hlm.
- Musfira, A. 2005. *Inventarisasi dan identifikasi khamir dari Sungai Cikaniki dan Sungai Cikurutug di Taman Nasional Gunung Halimun*. Skripsi. FMIPA. Universitas Indonesia. Depok: xii+173 hlm.

- Murni, R., Suparjo, Akmal, B.L. Ginting. 2008. *Buku ajar teknologi pemanfaatan limbah untuk pakan*. Laboratorium Makanan Ternak Fakultas Peternakan Universitas Jambi. 20 hlm.
- Nessler, E.W., D.G. Anderson, C.E. Roberts, N.N. Pearsal & M.T. Nesler. 2004. *Microorganism in food and beverage production*. Alcoholic fermentation by yeast: *dalam* Microbiology: A human perspective wheatley, C.H.(Ed). 4th Edn. McGrawHill, N.Y. USA. 151—153.
- Ng W-K. 2003. The potential use of palm kernel meal in aquaculture feeds. *Aquaculture Asia* **8**(1): 38—39.
- Otoguro, M. 2003. *Soil dilution method*. Workshop on Isolation Methods of Microbes. 24-26 June 2003. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. hlm 33.
- O'Mara FP, Mulligan EJ, Cronin EJ, Rath M, Caffrey PJ (1999). The value of palm kernel meal measured in vivo and using rumen fluid and enzymatic techniques. *Livestock Prod. Sci.* 60: 305-316.
- Pelczar, M. J. & E.C.S. Chan. 2005. *Dasar-dasar mikrobiologi Jilid 1*. Terj. dari *Elements of microbiology*, oleh Hadioetomo, R.S., T. Imas, S.S. Tjitrosomo & S.L. Angka. UI-Press, Jakarta: viii + 443 hlm.
- Pérez R (1997). *Feeding pigs in the tropics* - Chapter 4 African oil palm. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Purwadaria, T. 2007. *Bungkil kelapa fermentasi untuk pakan itik*. Jurnal Veteriner. Balai Penelitian Ternak. Bogor. 24: 9-10.

- Prakash, M., K. Rajasekar, & N. Karmegam. 2007. Bacterial population of raw milk and their proteolytic and lipolytic activities. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*. **3**(6): 848—851.
- Pavlostathis, S.G., T.L. Miller, & M.L. Wolin. 1998. Fermentation of insoluble cellulose by continuous culture of *Ruminococcus albus*. *Appl. Environ. Microbiol.* **43** (4): 8—11.
- Reynolds, J. 2005. Bacterial Colony Morphology. *Microbiology experiment*. www.colony.morp.rc.au.id. dikunjungi 11 Januari 2007. pukul 16.04 WIB.
- Said, E. G., A.A. Darwis, & M. Judoatmidjojo. 1990. *Teknologi biokonversi*. PAU-Biotek. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 333 hlm.
- Salyers, A., & D.D. Whitt. 1994. *Bacterial Pathogenesis: A Molecular Approach*. American Society for Microbiology. Washington, D.C.
- Smith, J.E. 1990. *Prinsip bioteknologi*. Penerbit Gramedia. Jakarta. 202 hlm.
- Sukhumavasi, J., K. Ohmiya, M. S-A, & S. Shimizu. 1998. *Conversion of agricultural waste to ethanol and acetic acid by cellulolytic anaerobic bacteria*. School of Agriculture, Nagoya University. Japan. 17 hlm.
- Sundu, B. & J. Dingle. 2003. Use of enzymes to improve the nutritional value of palm kernel meal and copra meal. *Proc. Queensland Poult. Sci. Symp. Australia* **11**(14): 1--15.
- Swick, R.A. 1999. *Consideration in using protein meals for poultry and swine*. *ASA Technical Bulletin*. **21**: 1--11.

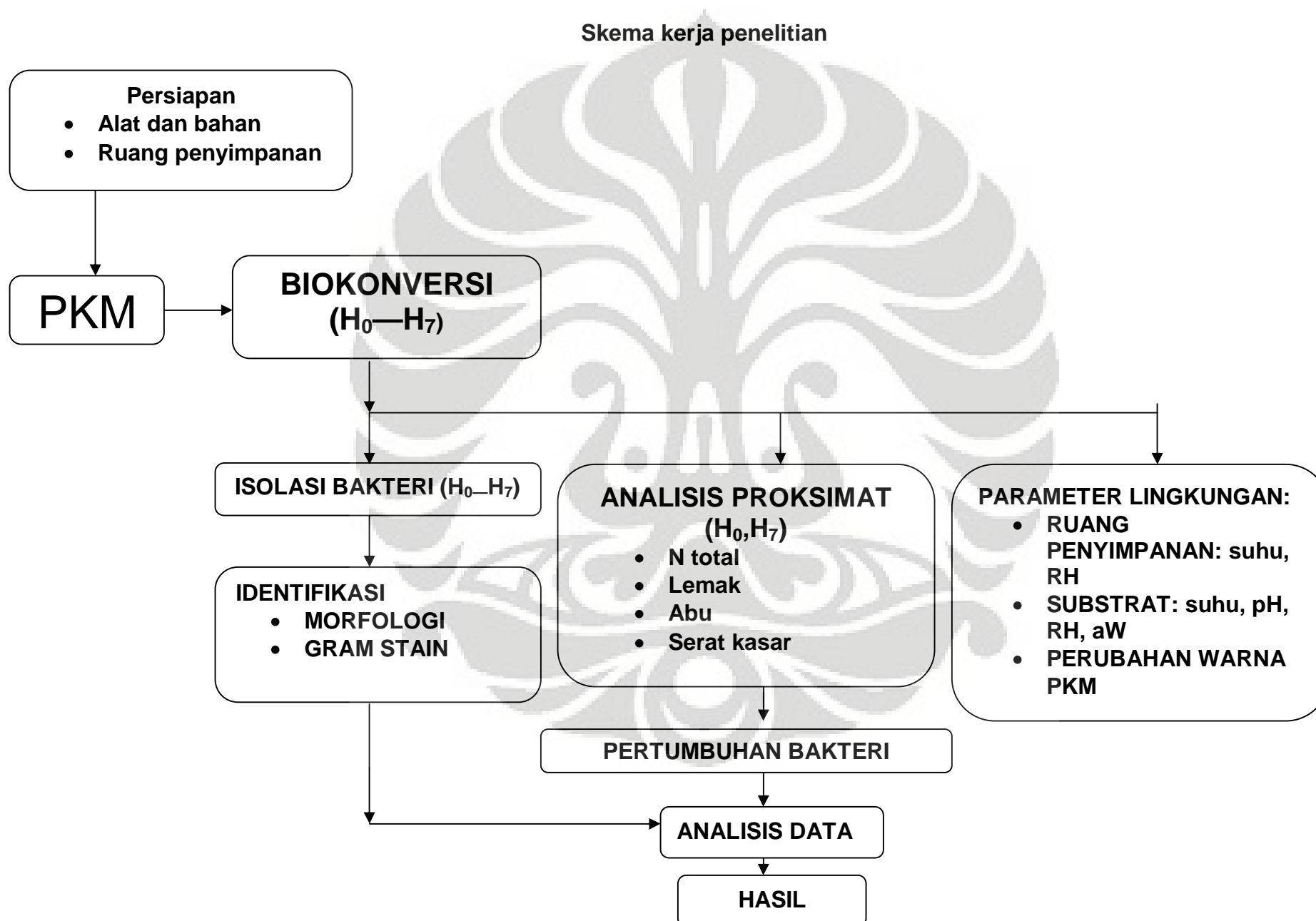
Trautmann, N & W. Olynciw. 2008. *Observing compost microorganism from plants*. Institute of Environmental Sciences. New York.

Villi, R.A. & G. Kumaresan. 2008. *Incidence of Pseudomonas sp. in pasteurized milk*. *Jour. Veterinary & Animal Sciences*. **4**(2): 56—59.

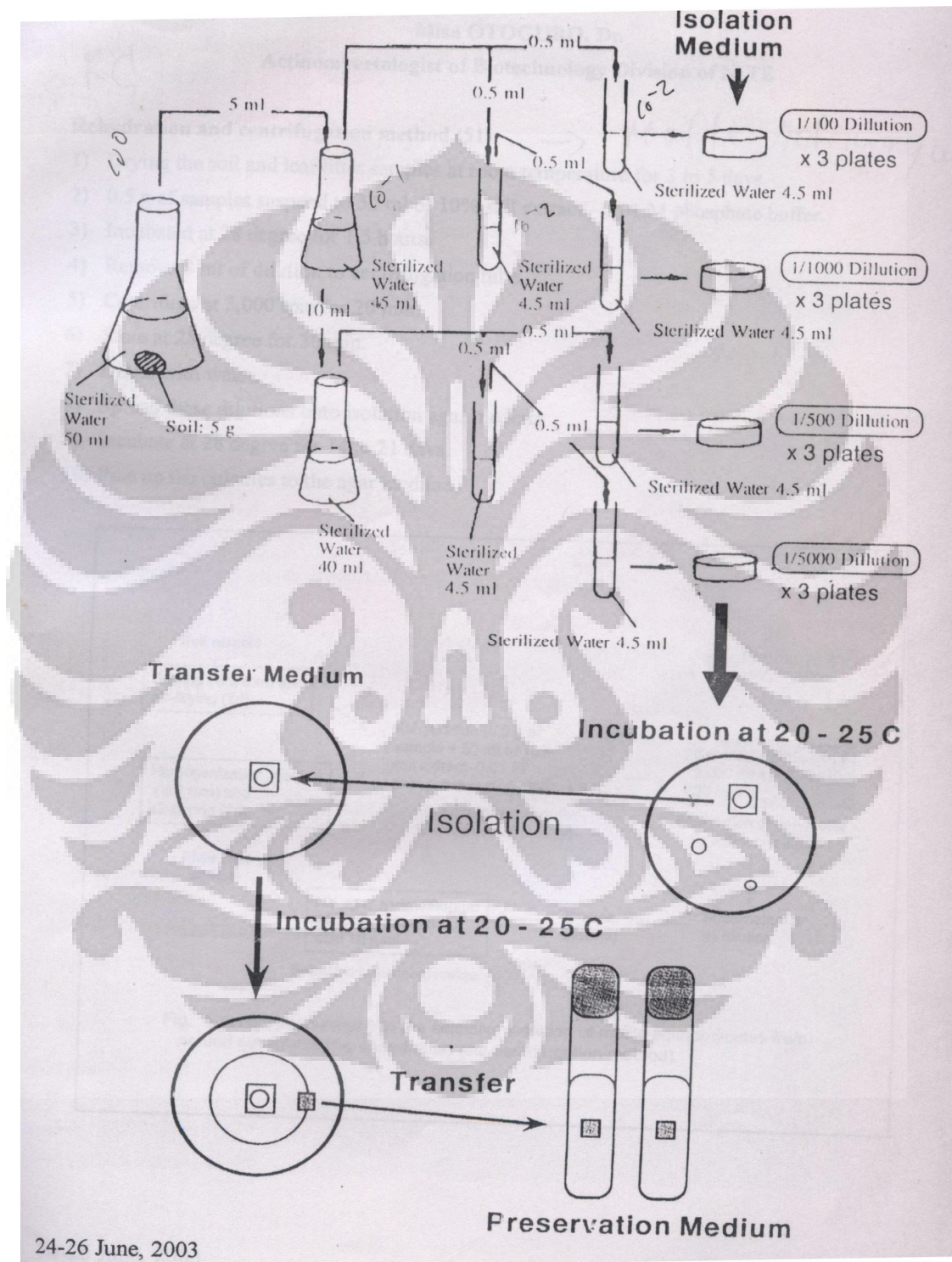
Zahari, M.W. & A.R. Alimon. 2005. Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed. *Palmas journal* **26**(1): 5--9.



Lampiran I. 1. Skema kerja penelitian Makalah I.



Lampiran I. 2. Metode isolasi bakteri pada substrat PKM berdasarkan Otoguro 2006 modifikasi.



Lampiran I. 3.a. Hasil pengukuran parameter fisika ruang penyimpanan selama biokonversi.

Hari	Parameter terukur	
	Suhu (°C)	RH (%)
0	30.0	72.5
1	27.0	64.0
2	27.0	64.0
3	27.5	64.0
4	28.0	62.5
5	28.0	62.5
6	28.0	62.5
7	28.5	62.5

Lampiran I. 3. b. Hasil pengukuran parameter fisika substrat PKM selama biokonversi.

Hari	Parameter lingkungan substrat			
	Suhu (°C)	pH	RH (%)	aW
0	31.0	5.2	5.8	0.1
1	28.0	4.4	70.0	0.7
2	28.7	5.1	62.7	0.6
3	28.5	5.2	54.0	0.6
4	29.0	5.3	58.7	0.6
5	28.3	5.3	58.0	0.6
6	29.0	5.6	60.0	0.6
7	29.2	5.7	63.3	0.6

Lampiran I. 4. Hasil perhitungan *Total Plate Count* (TPC) bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 selama biokonversi PKM.

Kode bakteri	Pengenceran	Jumlah koloni bakteri (Cfu x 10 ⁻⁸) pada jam ke-																Rerata
		3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	
B1	10 ⁶	0.00	0.00	0.00	0.24	0.30	0.51	0.59	0.63	0.66	0.67	0.69	0.70	0.71	0.72	0.72	0.72	0.49
	10 ⁷	0.00	0.00	0.00	0.95	2.40	4.85	5.55	6.20	6.30	6.30	6.50	6.55	6.65	6.75	6.80	6.80	4.54
	10 ⁸	0.00	0.00	0.00	6.00	17.50	41.00	54.00	60.50	60.50	61.50	63.00	63.00	65.00	65.50	66.00	66.00	43.09
	x	0.00	0.00	0.00	2.40	6.73	15.45	20.05	22.44	22.49	22.82	23.40	23.42	24.12	24.32	24.51	24.51	16.04
B2	10 ⁶	0.00	0.00	0.00	0.02	0.12	0.35	0.56	0.61	0.62	0.62	0.62	0.64	0.64	0.66	0.66	0.66	0.42
	10 ⁷	0.00	0.00	0.00	0.50	2.95	3.40	4.05	4.95	5.25	5.45	5.60	5.65	5.95	6.25	6.35	6.35	3.92
	10 ⁸	0.00	0.00	0.00	8.00	25.00	32.00	41.50	51.50	54.00	54.00	56.00	56.50	57.00	59.00	60.00	60.00	38.41
	x	0.00	0.00	0.00	2.84	9.36	11.92	15.37	19.02	19.96	20.02	20.74	20.93	21.20	21.97	22.34	22.34	14.25
B3	10 ⁶	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	0.18	0.37	0.49	0.52	0.56	0.57	0.62	0.67	0.68	0.69	0.69	0.38
	10 ⁷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	1.80	3.25	4.70	5.10	6.05	6.20	6.30	6.40	6.55	6.55	6.70	3.76
	10 ⁸	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	15.00	34.00	44.50	49.50	53.00	60.00	60.00	60.50	63.50	64.50	64.50	35.78
	x	0.00	0.00	0.00	0.01	1.36	5.66	12.54	16.56	18.37	19.87	22.26	22.31	22.52	23.58	23.91	23.96	13.31
B4	10 ⁶	0.00	0.00	0.00	0.01	0.21	0.33	0.35	0.42	0.55	0.58	0.60	0.60	0.60	0.67	0.69	0.69	0.39
	10 ⁷	0.00	0.00	0.00	0.75	1.90	3.00	3.75	4.55	5.00	5.70	6.10	6.10	6.30	6.40	6.40	6.55	3.91
	10 ⁸	0.00	0.00	0.00	2.00	9.00	14.00	33.50	42.50	47.00	52.50	54.00	56.00	57.50	58.00	60.50	60.50	34.19
	x	0.00	0.00	0.00	0.92	3.70	5.78	12.53	15.82	17.52	19.59	20.23	20.90	21.47	21.69	22.53	22.58	12.83
B5	10 ⁶	0.00	0.00	0.00	0.18	0.25	0.33	0.42	0.48	0.50	0.53	0.56	0.62	0.63	0.63	0.64	0.64	0.40
	10 ⁷	0.00	0.00	0.00	0.05	0.30	0.85	3.05	3.85	4.00	5.10	5.50	5.65	5.85	6.15	6.15	6.20	3.29
	10 ⁸	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	12.50	14.50	35.50	40.00	44.00	46.00	48.00	48.50	49.00	21.72
	x	0.00	0.00	0.00	0.08	0.18	0.39	4.32	5.61	6.33	13.71	15.35	16.76	17.49	18.26	18.43	18.61	8.47

MAKALAH II

SUKSESI BAKTERI PADA BIOKONVERSI PALM KERNEL MEAL TERKONVERSI (PKMK) OLEH LARVA *Hermetia illucens* L. (maggot)

Aulia

auiamasrurin@yahoo.com

ABSTRACT

Bacterial converted the PKM conversion (PKMK) was added by the eggs of *Hermetia illucens* L. (maggot) and incubated for 14 days. The results showed that bacterial isolates, respectively B1, B2, B3 decreased during the treatment. The B4 isolate decrease in number until the 11th day, and the B5 isolate was not found after the 7th day treatment. The maggot showed an increase in massa weight and length at the end of the experiment. The temperature, pH, aW, and RH remain stable. The proximate analysis of the PKM showed an increase in total Nitrogens and an decrease in lipid after degradation.

Keywords: Bacteria; bioconversion; Hermetia illucens L; Palm Kernel Meal conversion, proximat analysis; succession.

PENDAHULUAN

Palm Kernel Meal (PKM) atau bungkil inti kelapa sawit merupakan salah satu limbah dalam industri minyak kelapa sawit. PKM dihasilkan melalui proses pemerasan mekanis (*mechanical screw pressing*) atau proses ekstraksi dengan pelarut (Onwueme dan Sinha 2003 *lihat* Kolade *et al.* 2007; Chin 2002 *lihat* Hem *et al.* 2004).

Produk PKM di Indonesia tersedia dalam jumlah sangat berlimpah. Kelimpahan PKM akan menjadi limbah dan memunculkan masalah pencemaran lingkungan. FAO (2002) melaporkan bahwa dari 100 ton pengolahan kelapa sawit dihasilkan 2,1 ton PKM yang belum dimanfaatkan secara maksimal.

Salah satu cara untuk meningkatkan nilai kegunaan PKM melalui biokonversi. Tujuh hari setelah melalui tahap biokonversi, PKM disebut sebagai PKM terkonversi (PKMK). Hem *et al.* (2008b) melaporkan bahwa biokonversi PKMK dilakukan dengan melibatkan larva *Hermetia illucens* L. (maggot). Maggot dipilih sebagai organisme biokonversi karena lebih menguntungkan dibandingkan lalat hijau (*Musca* sp). (Hem *et al.* 2008a). Leclercq (1997) menyatakan bahwa keuntungan penggunaan maggot sebagai organisme biokonversi karena serangga ini bersifat saprofagus bagi materi organik baik hewani maupun nabati. Warburton *et al.* (2002) melaporkan bahwa maggot memiliki toleransi pH luas, sehingga cocok hidup di berbagai substrat, seperti PKM dan bungkil kopi. Selain itu, pengelolaan limbah dalam memproduksi maggot sangat sederhana, tidak memerlukan teknologi tinggi, serta tidak memerlukan biaya operasional yang besar (Hem *et al.* 2008a).

Maggot dapat hidup secara optimal pada suhu 29,3 °C dan tersebar pada lintang 40° utara hingga 45° selatan (Leclercq, 1997). Furman *et al.* (1959) lihat Newton *et al.* (1995) melaporkan bahwa maggot dikenal bukan sebagai hama, karena bentuk dewasanya tidak tertarik pada habitat manusia

atau makanan. Maggot betina akan meletakkan telur-telurnya pada bermacam-macam substrat organik, baik tumbuhan maupun hewan yang membusuk seperti buah-buahan, sayur-sayuran, kompos, humus, ampas kopi, bahan-bahan pangan (kecap, madu, polen), kotoran ternak dan manusia, bangkai hewan dan manusia, serta di dalam sarang rayap (Leclercq, 1997).

Selama proses biokonversi PKMK oleh maggot berlangsung, diduga bakteri masih berperan di dalam menguraikan PKMK. Bakteri merupakan agen yang sangat berperan penting dalam merombak senyawa-senyawa organik pada PKMK. Lim *et al.* (2001) melaporkan bahwa hanya ruminansia yang dapat menguraikan PKM di dalam saluran pencernaannya secara maksimal dengan bantuan mikroorganisme (bakteri dan fungi), karena enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut dapat menghidrolisis dinding selulosa dari PKM.

Keberadaan dan jumlah bakteri yang berperan tidak sama selama proses biokonversi PKMK oleh maggot. Perbedaan jumlah dan jenis bakteri dapat memunculkan dinamika populasi dan mengalami proses suksesi. Suksesi yang dilakukan oleh bakteri dapat disebabkan oleh pemanfaatan nutrisi yang terkandung di dalam PKMK.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk meneliti macam-macam bakteri yang berperan selama biokonversi PKMK oleh maggot, pola suksesi dan interaksi bakteri selama biokonversi PKMK oleh maggot, perubahan lingkungan fisik dan substrat selama biokonversi PKMK oleh

maggot, serta perubahan kadar proksimat pada hari ke-7, hari ke-14, dan hari ke-21 biokonversi PKMK oleh maggot. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi peran bakteri selama biokonversi PKMK oleh maggot, dengan memperhatikan faktor lingkungan fisik dan kimiawi, serta pertumbuhan maggot.

BAHAN DAN CARA KERJA

BAHAN

Substrat

Substrat yang digunakan selama penelitian berasal dari PKM yang sudah dikonversi selama tujuh hari (PKMK), prosedur dilakukan sesuai dengan cara kerja pada Lampiran II.1.

Bahan kimia

Bahan kimia yang digunakan antara lain: *Rose Bengal* (Wako), sikloheksamida (Sigma), *plastic wrap*, alkohol *teknis*, spiritus.

Medium

Isolasi dan pemeliharaan isolat bakteri menggunakan medium *Nutrient Agar* (NA) (Sigma), untuk menghitung populasi total bakteri adalah *Plate Count Agar* (PCA) (Difco).

Peralatan

Alat yang digunakan untuk penelitian yaitu wadah plastik persegi (Lion Star), penggiling tepung, plastik, rak besi untuk penyimpanan substrat, alat pengukur kelembapan dan pH media (*pH and Humidity Soil Tester*), colour standart paper. Peralatan laboratorium untuk keperluan mikrobiologi, seperti: Autoclave (Akubuo), timbangan analitik (Sartorius), pemanas air, meja transfer, mikroskop, tabung reaksi 10 ml, Erlenmeyer 250 dan 500 ml, mikropipet (Eppendorf), mikrotips (Eppendorf), *spatel dryglaski*, gelas objek, gelas penutup, dan peralatan standar laboratorium mikrobiologi lain. Alat untuk analisis proksimat, antara lain: untuk uji lemak (Electromantle ME), serat kasar (Gerhardt), protein (distillation unit BUchi 321), pengeringan (Cryo Rivoire S.A.R.L. Montpelleir France).

CARA KERJA

Pembuatan medium

Medium NA dan PCA dibuat sesuai dengan petunjuk yang terdapat pada kemasan. Medium ditimbang sesuai dengan takaran masing-masing, kemudian disterilkan menggunakan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C bertekanan 2 atm. Setelah dingin, selanjutnya medium dituang ke dalam cawan petri sebanyak ± 20 mL dan dibiarkan hingga mengeras.

Biokonversi PKMK oleh maggot

Biokonversi dilakukan setelah PKM dikonversi menjadi PKMK.

Wadah yang digunakan selama penelitian berjumlah enam buah, masing-masing wadah berisi 1,5 kg PKMK. Tiga buah wadah digunakan untuk perlakuan, yaitu ditambahkan telur maggot dengan kode P₁, P₂, dan P₃, dan tiga buah wadah digunakan untuk kontrol, yaitu tidak ditambahkan telur maggot dengan kode K₁, K₂, dan K₃. Semua perlakuan dilakukan tiga kali pengulangan.

Standart pemberian telur maggot sebanyak dua ribu kali berat PKMK atau satu gram telur maggot per dua kilogram berat PKMK (Hem *et al.* 2008b). Berdasarkan standard tersebut maka penelitian ini menggunakan telur sebanyak 0,75 g untuk 1,5 kg PKMK. Telur maggot yang akan digunakan untuk biokonversi dipersiapkan dalam kondisi masih baru, sehat, dan belum menetas. Ciri-ciri telur sehat menurut Dress dan Jackman (1999) adalah bentuk utuh, warna putih terang, dan masih berada pada satu koloni kumpulan telur. Ketika baru diambil dari sarang, telur maggot harus diletakkan di atas kapas basah steril agar tidak kering dan mati. Kapas basah yang berisi telur maggot diletakkan pada cawan petri steril, selanjutnya ditempatkan di atas permukaan wadah plastik yang telah berisi PKMK, setelah itu ditutup dengan kain strimin steril dan plastik.

Pengukuran panjang dan berat maggot

Pengukuran panjang dan berat maggot dilakukan untuk mengetahui pertumbuhan maggot selama biokonversi. Pengukuran panjang maggot dilakukan dengan metode Image-J menggunakan kamera NIKON COOLPIX 8700. Pengukuran berat maggot dilakukan dengan cara penimbangan. Pengukuran panjang dan berat maggot dilakukan pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}).

Pengukuran parameter lingkungan substrat dan ruang penyimpanan

Selama proses biokonversi berlangsung dilakukan pengukuran parameter lingkungan substrat (PKMK) yang terdiri dari: suhu, pH, kelembapan (RH), dan kadar air (aW) dihitung berdasarkan konversi dari pengukuran RH dengan rumus $aW = Rh/100$. Sedangkan untuk parameter fisika ruang penyimpanan dilakukan pengukuran terhadap suhu dan kelembapan. Pengukuran dilakukan setiap hari, mulai hari ke-7 (H_7) sampai dengan hari ke-21 (H_{21}) penelitian.

Pengambilan sampel PKMK

Pengambilan sampel PKMK dilakukan setiap hari mulai dari hari ke-7 (H_7) sampai dengan hari ke-21 (H_{21}) penelitian, pada pukul 10.00 WIB. Pengambilan sampel PKMK dilakukan secara aseptis dengan cara acak dari enam titik PKMK di dalam wadah pada bagian permukaan, tengah, dan bawah.

Isolasi bakteri

Isolasi bakteri pada proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot dilakukan dengan cara pengenceran mulai dari 10^8 , 10^9 , dan 10^{10} menurut Otaguro (2003) modifikasi. Isolasi bakteri dilakukan setiap hari, mulai hari ke-7 (H_7) sampai dengan hari ke-21 (H_{21}) atau saat panen maggot. Cara kerja isolasi bakteri seperti pada Makalah I Lampiran I.2.

Pemurnian isolat

Prosedur pemurnian isolat bakteri dilakukan berdasarkan metode gores empat kuadran, sesuai dengan metode Cappucino dan Sherman (2002).

Pemilihan isolat-isolat bakteri terpilih

Isolat-isolat bakteri dipilih berdasarkan penampakan morfologi makroskopis berdasarkan metode Reynolds (2005) dan Jutono *et al.* (1972).

Pengecatan Gram dan pengamatan morfologi isolat-isolat bakteri terpilih

Pengecatan Gram terhadap isolat-isolat terpilih dilakukan sesuai dengan Makalah I (halaman 12).

Uji Proksimat Official Analytical Chemists 1995; Nessler *et al.* 2004; Moereu, 2005)

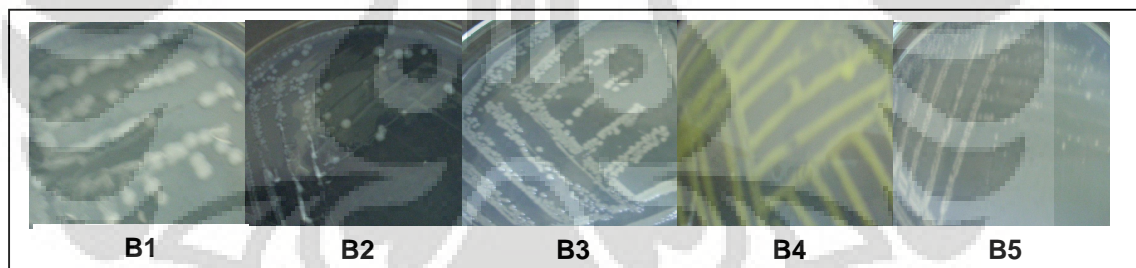
Uji proksimat selama biokonversi dilakukan pada hari ke tujuh, hari ke empatbelas, dan hari ke duapuluh satu penelitian. Uji proksimat dilakukan

sesuai dengan prosedur kerja uji proksimat pada Makalah I (halaman 13—18).

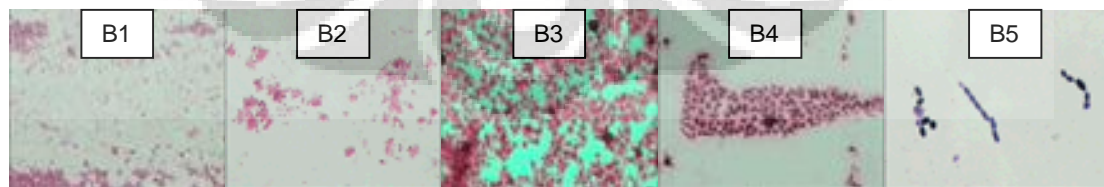
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola suksesi bakteri selama biokonversi PKMK oleh maggot

Selama biokonversi PKM menjadi PKMK oleh maggot, masih ditemukan lima isolat bakteri (B1, B2, B3, B4, dan B5). Penampakan makroskopis dan hasil pewarnaan Gram isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 1. dan Gambar II. 2. Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Tabel II. 1.



Gambar II. 1. Morfologi makroskopis koloni isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 selama biokonversi PKMK oleh maggot.



Gambar II. 2. Hasil pewarnaan Gram isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 selama biokonversi PKMK oleh maggot.

Tabel II.1. Penampakan makroskopis isolat bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 yang ditemukan selama biokonversi PKMK oleh maggot.

Isolat Bakteri	Warna dan Permukaan koloni	Tekstur	Profil samping	Profil tepi	Penampakan koloni	Gram Stain	Bentuk sel
B1	Krem mengkilap	Licin	Menggun ung	Rata	Tidak tembus pandang	+	Koko basilus
B2	Putih bening mengkilap	Licin	Datar	Rata	Tembus pandang	+	Basilus
B3	Putih kusam	Licin	Menggun ung	Rata	Tidak tembus pandang	+	Koko basilus
B4	Kuning mengkilap	Licin	Menggun ung	Rata	Tidak tembus pandang	+	Kokus
B5	Putih kusam	Kerut	Datar	Bergerigi dan berserabut	Tidak tembus pandang	+	Basilus

Hasil perhitungan *t-Test* 5% menunjukkan bahwa pada substrat perlakuan bakteri B1 rerata jumlah terbanyak (28.94×10^{10} cfu/mL) jika dibandingkan dengan jumlah bakteri B2, B3, B4, dan B5. Rerata jumlah bakteri secara berurutan sebagai berikut B2 = 20.81×10^{10} cfu/mL, B3 = 18.12×10^{10} cfu/mL, B4 = 4.70×10^{10} cfu/mL, dan B5 = 0.80×10^{10} cfu/mL. Selama biokonversi hasil perhitungan jumlah bakteri B1, B2, dan B3 pada substrat perlakuan berbeda nyata, sedangkan bakteri B4 dan B5 tidak berbeda nyata.

Rerata jumlah bakteri pada substrat kontrol lebih tinggi jika dibandingkan dengan jumlah bakteri pada substrat perlakuan. Secara berurutan rerata jumlah bakteri pada substrat kontrol sebagai berikut, bakteri B2 (59.11×10^{10} cfu/mL), B1 (51.76×10^{10} cfu/mL), B3 (41.95×10^{10} cfu/mL), B4 (10.17×10^{10} cfu/mL), dan B5 (1.24×10^{10} cfu/mL)

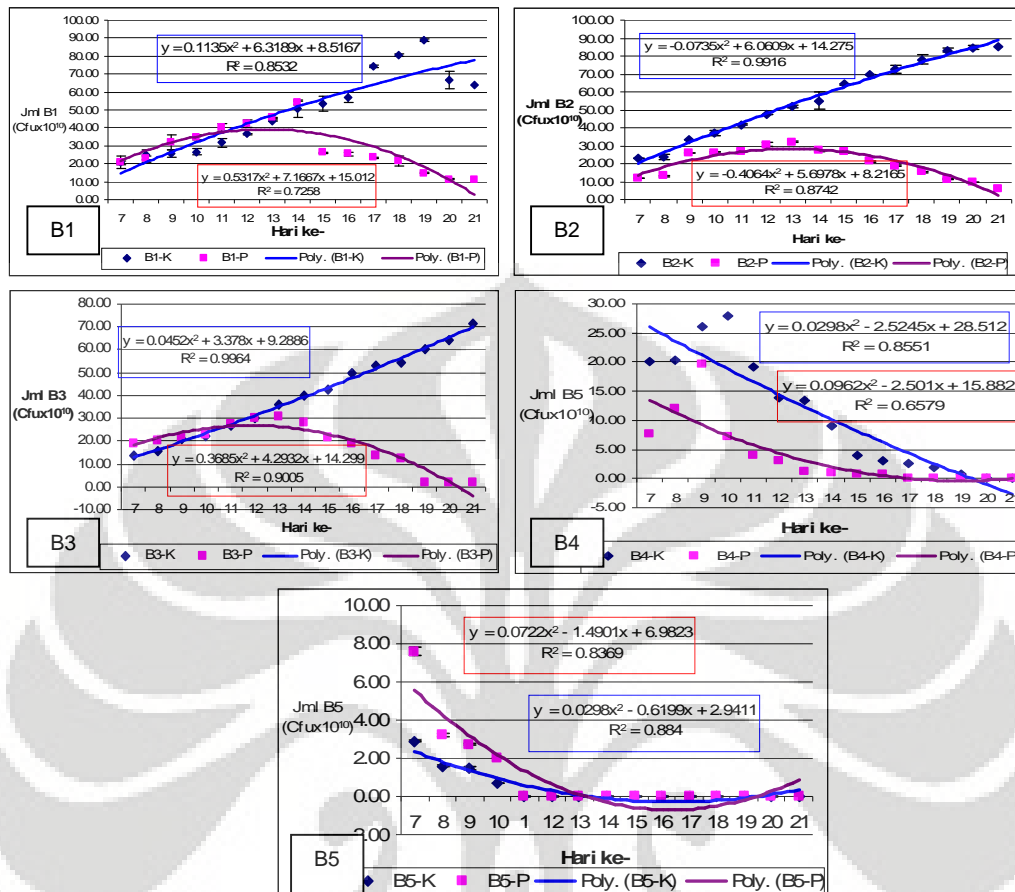
Hasil perbandingan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat perlakuan dan kontrol selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Tabel II. 2.

Tabel II. 2. Hasil perbandingan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat perlakuan dan kontrol selama biokonversi PKMK oleh maggot.

Kode bakteri	Perlakuan	Jumlah total (cfu x 10 ¹⁰)	Rerata (cfu x 10 ¹⁰)	p- value ($\alpha < 0,05$)
B1	TDM	724.70 ± 21.16	51.76 a ± 21.16	0.002
	DM	405.20 ± 13.12	28.94 b ± 13.12	0.002
B2	TDM	827.50 ± 20.63	59.11 a ± 20.63	0.000
	DM	291.40 ± 8.36	20.81 b ± 8.36	0.000
B3	TDM	587.30 ± 17.48	41.95 a ± 17.48	0.000
	DM	253.70 ± 10.45	18.12 b ± 10.45	0.000
B4	TDM	141.50 ± 9.94	10.17 a ± 9.94	0.084
	DM	65.85 ± 5.25	4.70 a ± 5.25	0.087
B5	TDM	17.40 ± 2.75	1.24 a ± 2.75	0.569
	DM	11.16 ± 0.91	0.80 a ± 0.91	0.573

Keterangan : TDM=tidak ditambahkan maggot; DM=ditambahkan maggot ;
 a. nilai rata-rata yang diikuti huruf yang *tidak sama* pada kolom yang sama menunjukkan *perbedaan yang nyata*,
 b. nilai rata-rata yang diikuti huruf yang *sama* pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang *tidak nyata* ($p < 0.05$) pada *t- Test* 5 %.

. Grafik perbandingan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat perlakuan dan kontrol selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 3.



Gambar II. 3. Grafik perbandingan jumlah bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada substrat perlakuan dan kontrol selama biokonversi PKMK oleh maggot. Keterangan : ■ = perhitungan bakteri perlakuan; ■ = perhitungan bakteri kontrol; - - = polinomial perhitungan bakteri perlakuan; - - = polinomial perhitungan bakteri kontrol.

Berdasarkan grafik, secara umum bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada PKMK perlakuan mengalami penurunan jumlah hingga akhir proses biokonversi pada hari ke-21 (H_{21}). Grafik II.3. menunjukkan bahwa puncak pertumbuhan bakteri secara berurutan sebagai berikut bakteri B1 terjadi pada hari ke-14 (H_{14}), bakteri B2 dan bakteri B3 terjadi pada hari ke-13 (H_{13}). Bakteri B1, B2, dan B3 setelah mengalami puncak pertumbuhan, hari

berikutnya mengalami penurunan jumlah hingga akhir biokonversi hari ke-21 (H_{21}). Puncak pertumbuhan bakteri B4 terjadi pada hari ke-9 (H_9), selanjutnya mengalami penurunan hingga hari ke-13 (H_{13}) dan tidak ditemukan lagi sampai hari ke-21 (H_{21}). Puncak pertumbuhan bakteri B5 terjadi pada hari ke-7 (H_7), selanjutnya mengalami penurunan hingga hari ke-12 (H_{12}) dan tidak ditemukan lagi sampai hari ke-21 (H_{21}).

Berbeda halnya yang terjadi pada bakteri di dalam PKMK kontrol, secara umum bakteri terlihat lebih panjang fase puncak pertumbuhannya. Berturut-turut puncak pertumbuhan bakteri sebagai berikut bakteri B1 terjadi pada hari ke-19 (H_{19}) hari selanjutnya mengalami penurunan hingga hari ke-21 (H_{21}), bakteri B2 dan bakteri B3 terjadi pada hari ke-21 (H_{21}), bakteri B4 terjadi pada hari ke-10 (H_{10}), dan bakteri B5 terjadi pada hari ke-7 (H_7). Secara umum jumlah bakteri B1, B2, dan B3 pada PKMK kontrol menunjukkan adanya peningkatan hingga akhir biokonversi, sedangkan jumlah bakteri B4 dan B5 mengalami penurunan, hari selanjutnya sampai akhir waktu biokonversi bakteri B5 sudah tidak ditemukan lagi.

Berdasarkan pola grafik yang terbentuk dan perhitungan persamaan jumlah bakteri, dapat dikatakan bahwa bakteri pada PKMK perlakuan dan kontrol mengalami suksesi. Suksesi bakteri diteliti secara kuantitatif berdasarkan keberadaan dan perubahan jumlah selama biokonversi PKMK oleh maggot. Suksesi didefinisikan oleh Clement pada tahun 1916 (*lihat* Krohne 2001) sebagai suatu proses perubahan komposisi jenis suatu komunitas secara kontinu dan searah melalui proses kepunahan dan

kolonisasi sampai terbentuk komunitas utuh dan tuntas. Namun, para ahli ekologi masakini, seperti Huston dan Smith pada tahun 1987 (*lihat* Krohne 2001) mendefinisikan suksesi sebagai perubahan sekuensial kelimpahan relatif suatu spesies dominan dalam suatu komunitas.

Hasil perhitungan jumlah dan keberadaan bakteri menunjukkan bahwa suksesi bakteri yang terjadi selama biokonversi merupakan suksesi degradatif. Suksesi degradatif atau disebut juga suksesi heterotrofik berlangsung pada waktu yang relatif singkat. Suksesi degradatif dapat berupa pengubahan suatu sumberdaya menjadi sumberdaya lainnya oleh detritivor dan mikroorganisme. Sumberdaya yang terdegradasi dapat berupa bangkai hewan, kotoran hewan, atau lapukan kayu. Jenis-jenis detritivor dan organisme akan datang dan pergi secara bergantian selama proses degradasi berlangsung. Proses tersebut akan berakhir ketika sumberdaya telah termetabolisasi dan termineralisasi secara sempurna (Begon *et al.* 1996; Krohne 2001).

Salah satu penyebab suksesi pada bakteri B1, B2, dan B3 di dalam PKMK perlakuan disebabkan penurunan jumlah bakteri akibat dimakan oleh maggot. Berbeda dengan bakteri B4 dan B5, selain dimakan oleh maggot, penurunan dan ketidakberadaan bakteri tersebut kemungkinan disebabkan kompetisi antara sesama bakteri dalam mengeksplorasi nutrisi di dalam pakan dan memperebutkan relung di dalam wadah substrat PKMK. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kehadiran maggot memberikan pengaruh bagi kelangsungan hidup bakteri di dalam substrat PKMK.

Peningkatan jumlah bakteri B1, B2, dan B3 pada PKMK kontrol diduga karena bakteri tersebut mampu memanfaatkan dan mendegradasi nutrisi untuk keperluan pertumbuhan. Bakteri B4 dan B5 pada substrat kontrol mengalami penurunan jumlah, disebabkan oleh persaingan antara kedua bakteri tersebut, dapat berupa antara lain: interferensi kimiawi, baik yang berasal dari sesama bakteri maupun dari substrat.

Lima isolat bakteri yang diisolasi dari PKMK selama biokonversi menunjukkan bahwa bakteri-bakteri tersebut termasuk jenis gram positif. Jenis bakteri gram positif merupakan bakteri yang mampu bertahan di alam. Atlas (1998) menyatakan bahwa pada dinding sel bakteri gram positif kandungan peptidoglycan lebih besar (90%), sehingga dapat memberi nilai kekokohan yang lebih dibandingkan bakteri gram negatif. Cappucino & Sherman (2002) menyatakan bahwa peptidoglikan terdiri dari protein, glikoprotein, dan polisakarida. Fungsi peptidoglikan adalah sebagai target aktivitas antimikroba, sehingga bakteri gram positif lebih mampu mempertahankan hidup di alam (De Wever *et al.* 2005).

Selama penelitian, bakteri B1, B2, dan B3 mendominasi, karena tingkat keberadaan dan jumlah bakteri tersebut paling tinggi dibandingkan bakteri B4 dan B5. Grafik perbandingan jumlah bakteri B1, B2, dan B3 pada PKMK perlakuan menunjukkan garis berbentuk seperti mangkok terbalik. McArthur 1991 *lihat* Begon *et al.* (1996) & Basukriadi (2006) mengemukakan model tersebut menandakan terjadinya interferensi antara sesama bakteri di dalam substrat. Selain itu bentuk grafik juga dimaknai sebagai adanya

kompetisi penyingkiran dapat terjadi melalui eksploitasi dan interferensi. Basukriadi (2006) menyatakan bahwa suatu persaingan disebut eksploitasi apabila kehidupan suatu individu dipengaruhi oleh jumlah sumberdaya yang telah dieksploitasi oleh individu lainnya pada waktu yang sama. Eksploitasi menurut Begon *et al.* (1996) dapat diartikan sebagai bentuk persaingan yang terjadi secara tidak langsung.

Selain faktor persaingan dan predatorisme, penurunan jumlah bakteri pada substrat PKMK diduga karena dimakan oleh maggot. Masuknya bakteri ke dalam saluran pencernaan maggot kemungkinan sengaja dimakan, terbawa atau menempel pada substrat ketika maggot memakan substrat PKMK, atau bakteri-bakteri tersebut sudah ada di dalam saluran pencernaan maggot. Selanjutnya bakteri akan ikut mendegradasi PKMK di dalam saluran pencernaan sehingga nutrisi-nutrisi penting lebih mudah diserap maggot. Tjakradidjaja & Wiryawan (2004) melaporkan bahwa ada lima macam bakteri yang bersimbiosis pada saluran pencernaan rayap yang dapat menghasilkan enzim selulolitik dan berperan dalam degradasi berbahan serat sawit dan jerami. Nessler (2004) menyatakan bahwa pada saluran gastrointestinal ikan yang diberi pakan PKM biokonversi, populasi mikroba dapat mengurai selulosa pakan dengan sempurna sehingga dapat meningkatkan bobot tubuh. Lim *et al.* (2001) melaporkan bahwa hewan ruminansia dapat menguraikan PKM di dalam saluran pencernaannya secara maksimal dengan bantuan mikroorganisme (bakteri dan fungi), karena enzim yang dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut dapat menghidrolisis dinding selulosa PKM.

Faktor lain yang berpengaruh terhadap keberadaan bakteri adalah faktor fisika lingkungan substrat PKMK. Atlas (1998) menyatakan bahwa kehidupan bakteri sangat dipengaruhi oleh suhu, pH, kelembapan nisbi (Rh) dan kadar air (aW) substrat.

Biokonversi PKM oleh maggot

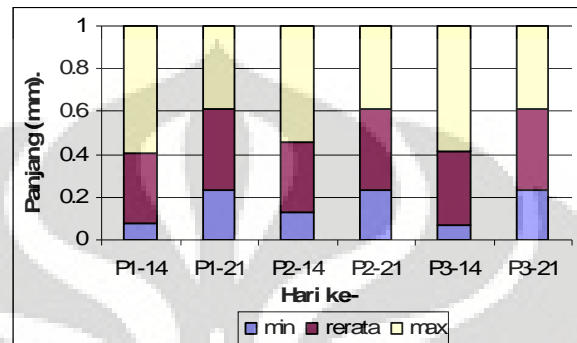
Selama biokonversi, terjadi perkembangan dan pertumbuhan maggot. Perkembangan maggot diindikasikan pada metamorfosis maggot dari fase telur sampai menjadi fase pupa (Newton *et al.* 2005). Pertumbuhan maggot diindikasikan pada pertambahan panjang dan berat maggot. Pengukuran panjang dan berat maggot dilakukan bertujuan untuk membandingkan perkembangan maggot pada hari ke-14 dan hari ke-21. Hasil pengukuran panjang dan berat maggot tercantum pada Lampiran II. 2.

Hasil pengukuran pada hari ke-14 (H_{14}) menunjukkan bahwa rerata panjang maggot mencapai 6,00—6,54 mm, sedangkan pada hari ke-21 (H_{21}) rerata panjang mencapai 19,66—19,97 mm. Pertambahan panjang maggot pada hari ke-21 (H_{21}) mencapai tiga kali lipat panjang maggot pada pengukuran hari ke-14 (H_{14}).

Leclercq (1997) melaporkan bahwa perkembangan stadia dewasa maggot berukuran sangat kecil (1,8 mm), larva dewasa panjang tubuh kurang lebih 18 mm dan lebar 6 mm. Warburton (2002) melaporkan bahwa setelah hari ke-20, pertumbuhan maggot yang diberi pakan PKMK dapat mencapai 25 mm, pada kondisi ini maggot akan menyimpan makanan dalam tubuhnya

sebagai cadangan untuk persiapan proses metamorfosis menjadi pupa.

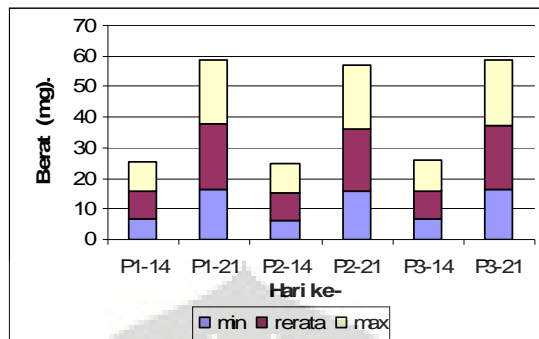
Diagram batang pertambahan panjang maggot pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}) dapat dilihat pada Gambar II. 4.



Gambar II. 4. Diagram batang pertambahan panjang maggot pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}). Keterangan: P1, P2, dan P3 = Perlakuan ulangan ke-1, ke-2, dan ke-3; 14 dan 21 = Hari pengukuran ke-14 dan ke-21.

Sampel maggot yang dilakukan saat pengukuran panjang menunjukkan bahwa rata-rata panjang maggot pada ke tiga wadah substrat tidak seragam. Ketidak seragaman ini diduga karena waktu menetas telur tidak sama, sehingga telur yang menetas terlebih dahulu akan lebih cepat perkembangannya. Newton *et al.* (1995) melaporkan bahwa umumnya maggot menjadi dewasa dalam dua minggu, namun keterbatasan sumber pakan dapat memperpanjang tahapan larva hingga empat bulan.

Hasil pengukuran berat juga menunjukkan bahwa maggot mengalami pertambahan berat setelah hari ke-14 (H_{14}). Rata-rata maggot mengalami pertambahan berat dua kali lipat pada hari ke-21 (H_{21}). Diagram batang pertambahan berat maggot dapat dilihat pada Gambar II. 5.



Gambar II. 5. Diagram batang pertambahan berat maggot. pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}). Keterangan: P1, P2, dan P3 = Perlakuan ulangan ke-1, ke-2, dan ke-3; 14 dan 21 = Hari pengukuran ke-14 dan ke-21.

Hasil panen maggot pada hari ke-21 (H_{21}) dari 1500 g substrat PKMK perlakuan P1, P2, dan P3 berturut-turut adalah 787 g; 885 g; dan 865 g. Sisa substrat PKMK perlakuan berturut-turut sebesar 455 g; 426 g; dan 398 g. Diduga maggot sangat aktif dalam memanfaatkan nutrisi hasil penguraian PKMK oleh bakteri dan mikroba lain. Selain nutrisi, bakteri juga ikut berperan menguraikan nutrisi PKMK di dalam sistem pencernaan maggot. Hal tersebut sudah dapat dibuktikan dengan adanya bakteri yang berperan mendegradasi selulosa pada saluran pencernaan rayap dan serangga Diptera.

Berbeda dengan PKMK kontrol, tidak adanya perlakuan penambahan maggot menjadikan bobot PKMK cenderung sama. Bobot PKMK kontrol berturut-turut adalah $K_1 = 1380$ g; $K_2 = 1350$ g; dan $K_3 = 1375$ g. Penyusutan bobot PKMK kontrol seberat ± 150 g disebabkan karena penyusutan kadar air selama proses biokonversi.

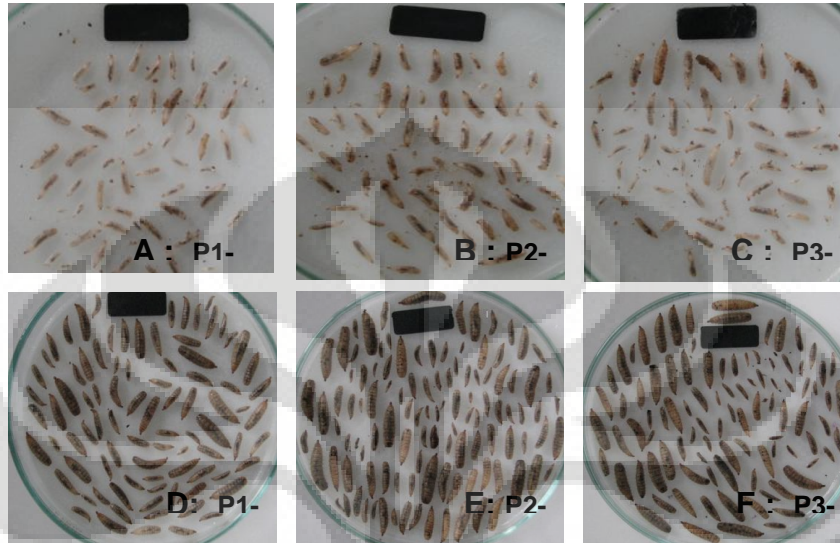
Ketidaksamaan ukuran panjang dan berat maggot kemungkinan disebabkan adanya keterbatasan individu dalam persaingan berebut pakan.

Maggot yang berukuran kecil akan kalah bersaing dibandingkan dengan maggot yang berukuran besar. Selain itu adanya persaingan dan kanibalisme antar sesama maggot diduga juga menyebabkan ketidaksamaan ukuran dan berat maggot (Rakhmawati, 2006).

Blackwell *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa sebenarnya ada peran mikroorganisme di dalam saluran pencernaan serangga dan rayap yang sangat mendukung sistem pencernaan. Maggot dan rayap merupakan salah satu jenis serangga, jika dianalogkan, dapat diprediksi bahwa ada kesamaan peran bakteri di dalam saluran pencernaan keduanya.

Werren (1997) melaporkan bahwa peran bakteri dan khamir dalam saluran pencernaan rayap turut andil dalam persaingan di relung ekologi, yaitu bentuk simbiosis mutualisme. Saluran pencernaan maggot diduga terdapat bakteri yang mampu mengurai PKMK, sehingga sangat membantu proses pencernaan. Bakteri-bakteri pada saluran pencernaan diduga berasal dari PKMK yang termakan oleh maggot. Distel *et al.* 1991 *lihat* Arini 2006 menyatakan bahwa proteobacteria menghasilkan enzim pendegradasi selulosa yang sangat membantu pada proses fiksasi nitrogen di dalam saluran pencernaan. Kitade (2004) melaporkan bahwa terjadi simbiosis yang baik antara khamir dan bakteri dalam mendegradasi bahan selulotik yang dicerna rayap dan serangga kayu lainnya. Blackwell *et al.* (2007) melaporkan bahwa jenis serangga Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, dan Neuroptera merupakan serangga yang di dalam saluran pencernaannya terdapat bakteri

dan khamir dalam jumlah banyak. Gambar perbandingan morfologi maggot pada hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}) dapat dilihat pada Gambar II. 6.



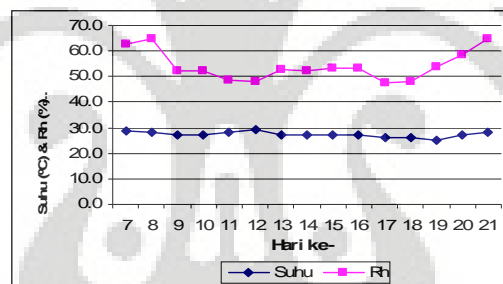
Gambar II. 6. Perbandingan morfologi maggot hari ke-14 (H_{14}) dan hari ke-21 (H_{21}). Keterangan : A, B, dan C : maggot pada substrat P1, P2, dan P3 hari ke-14 (H_{14}); D, E, dan F: maggot pada substrat P1, P2, dan P3 hari ke-21 (H_{21}). ■ : skala (20 mm).

Parameter ruang penyimpanan dan lingkungan PKMK selama biokonversi untuk pakan maggot

Selama biokonversi, dilakukan pengukuran parameter lingkungan dan ruang penyimpanan PKMK. Pengukuran parameter lingkungan dilakukan untuk mengetahui perubahan suhu, pH, aW, RH, dan perubahan yang terjadi selama proses biokonversi. Hasil pengukuran parameter lingkungan PKMK dan parameter ruang penyimpanan selama biokonversi tercantum dalam Lampiran II. 3. a.

Parameter ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK untuk pakan maggot

Pengukuran parameter ruang penyimpanan dilakukan dengan mengukur perubahan suhu dan kelembapan nisbi (RH) selama proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot, mulai dari hari ke-7 sampai hari ke-21. Hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK untuk pakan maggot tercantum pada Lampiran II.1. a. Perubahan suhu yang terjadi berkisar antara 26—30° C, sedangkan RH berkisar antara 0,48—0,68. Grafik hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II.7.

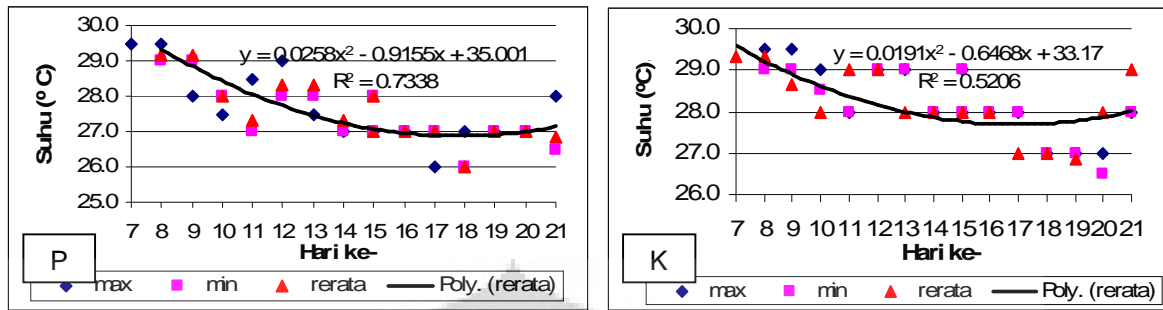


Gambar II.7. Hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK oleh maggot.

Parameter lingkungan PKMK selama biokonversi untuk pakan maggot

Parameter suhu

Hasil pengukuran parameter PKMK selama biokonversi oleh maggot tercantum pada Lampiran II. 3. b. Selama biokonversi berlangsung dilakukan pengukuran suhu PKMK untuk mengetahui fluktuasi suhu yang terjadi. Grafik perubahan suhu pada substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 8.



Gambar II. 8. Perubahan suhu substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).

Hasil pengukuran suhu selama biokonversi PKMK untuk pakan maggot memperlihatkan bahwa pada substrat perlakuan dan kontrol fluktuasi suhu berkisar antara 27—29,3⁰ C, rerata suhu menunjukkan kisaran 28⁰ C. Suhu pada ruang penyimpanan berkisar antara 25—29⁰ C, rerata suhu 27⁰ C. Fluktuasi suhu pada substrat perlakuan dan kontrol rata-rata terjadi pada hari ke-17 (H₁₇). Suhu stabil pada hari ke-12 (H₁₂) sampai hari ke-16 (H₁₆), selanjutnya suhu turun sampai hari ke-19 (H₁₉) biokonversi.

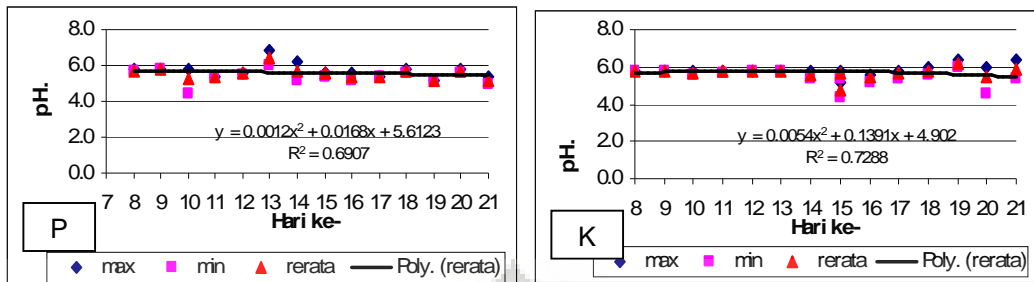
Berdasarkan hasil pengamatan, maka fluktuasi suhu pada substrat dan ruang penyimpanan rendah dalam mendukung proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot. Kondisi ini terjadi karena selama penelitian biokonversi dilakukan pada saat musim hujan. Diduga semakin tinggi suhu pada substrat PKMK maka semakin cepat proses penguraian nutrisi sehingga maggot lebih cepat memanfaatkan untuk pertumbuhan. Campobasso *et al.* (2001) melaporkan bahwa suhu optimal untuk mendukung pertumbuhan maggot adalah 27—39⁰ C, maggot akan mati apabila suhu mencapai hingga 0⁰ C.

Kisaran suhu yang terjadi selama biokonversi berasal dari respirasi bakteri, kemungkinan kondisi ini akan memunculkan jenis bakteri mesofilik yang mampu bertahan pada substrat. McArthur (2006) menyatakan bahwa bakteri mesofilik mampu hidup pada kisaran suhu antara 20—45⁰ C. Kondisi suhu yang berbeda dengan lingkungan asal akan menghambat bakteri dalam pertumbuhannya. Efek pada maggot, jika terjadi gangguan maggot stres, tetapi maggot tetap berusaha mempertahankan diri dengan cara spesifik seperti melepas cangkang (*moulting*). Fluktuasi suhu yang terjadi berdampak pada parameter lingkungan yang lain, seperti pH, kelembapan nisbi (Rh) dan kadar air (aW) substrat.

Parameter pH

pH ekstrim apabila nilai < 7,0 maka substrat akan bersifat asam (Madigan & Mantikno, 1997). Bakteri yang spesifik pada substrat merupakan bakteri asidofilik yang mampu bertahan pada kondisi asam. Vogan (2002) melaporkan bahwa bakteri selulase mampu bertahan pada pH 4—7,5. Ingledew (1990) & Kroll (1990) *lihat* Vogan (2002) mengemukakan bahwa pada kondisi asam, beberapa mikroba tidak dapat menghidrolisa komponen sel, dan enzim yang ada di dalam tubuh akan terdenaturasi.

Perubahan pH pada substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 9.

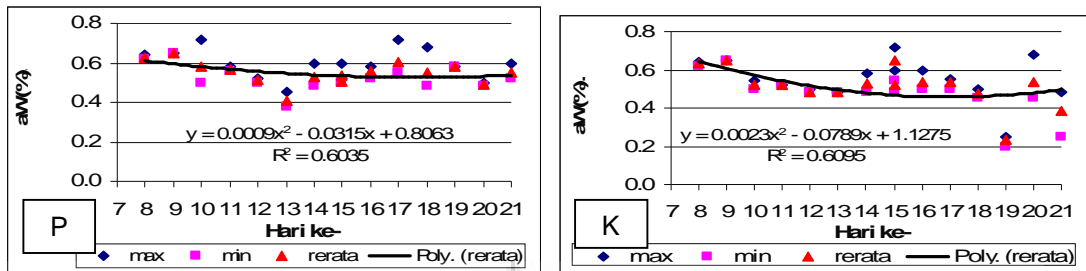


Gambar II. 9. Perubahan pH pada substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).

pH pada substrat perlakuan dan kontrol berkisar antara 4,4--5,8, dengan rerata pH mencapai 5,4. Hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa substrat tergolong kondisi asam. Mikroorganisme secara umum tidak dapat hidup pada pH yang ekstrim. Bakteri sangat membutuhkan pH optimal untuk pertumbuhan dan menggunakan enzim.

Parameter kadar air (aW)

Pengukuran kadar air (aW) dilakukan untuk mengetahui kadar air pada substrat selama proses biokonversi. Atlas (1998) menjelaskan bahwa umumnya mikroorganisme dapat melakukan metabolisme secara aktif pada kondisi aW 0,96, sedangkan filamentous fungi dapat hidup pada kondisi $aW < 0,60$ (*xerotolerant*). Perubahan aW pada substrat selama proses biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 10.



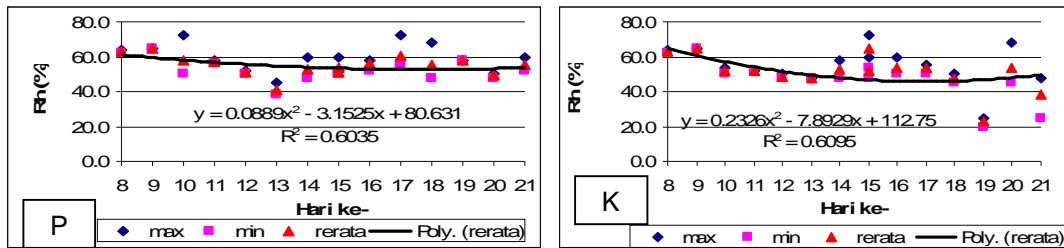
Gambar II. 10. Perubahan a_w pada substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).

Kadar air pada perlakuan dan kontrol menunjukkan nilai yang tidak berbeda nyata, yaitu sebesar 0,4--0,75, dengan nilai rerata 0,6. Kadar air pada substrat perlakuan mengalami penurunan dari hari ke sembilan sampai hari ke duabelas, selanjutnya kadar air stabil sampai akhir penelitian. Berbeda pada substrat kontrol, mulai awal biokonversi sampai hari ke tujuhbelas kadar air pada level stabil, selanjutnya terjadi fluktuasi sampai hari terakhir penelitian.

Peningkatan kadar air pada substrat perlakuan merupakan penambahan dari hasil sekresi dan ekskresi maggot. Penurunan kadar air pada substrat kontrol karena kurangnya pemanfaatan air oleh bakteri dan mikroba lain di dalam substrat.

Parameter kelembapan nisbi (RH)

Pengukuran kelembapan nisbi (RH) dilakukan untuk mengetahui kelembapan nisbi pada substrat dan ruang penyimpanan selama proses biokonversi. Perubahan RH pada substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 11.



Gambar II. 11. Perubahan RH substrat selama biokonversi PKMK oleh maggot (P = Perlakuan; K = Kontrol).

Nilai RH pada substrat perlakuan berkisar antara 41—65 %. Terjadi penurunan nilai RH pada hari ke-12, selanjutnya cenderung stabil sampai akhir penelitian. RH pada ruang penyimpanan lebih rendah daripada substrat, karena fluktuasi suhu dan kurangnya sinar matahari yang masuk ke dalam ruang penyimpanan, menyebabkan kondisi lebih lembap daripada kondisi sebelumnya.

Kelembapan nisbi pada suatu lingkungan atau substrat sangat dipengaruhi oleh kadar air. Jennings (1996) melaporkan bahwa kadar air pada substrat dapat berkurang tidak hanya disebabkan oleh berkurangnya kadar air, tetapi juga dipengaruhi oleh porositas substrat untuk menyerap air.

Perubahan warna PKMK selama biokonversi oleh maggot

Selama proses biokonversi berlangsung, terjadi perubahan warna pada tiap-tiap substrat. Perubahan warna selama biokonversi berlangsung diduga disebabkan oleh peran bakteri dalam menguraikan substrat.

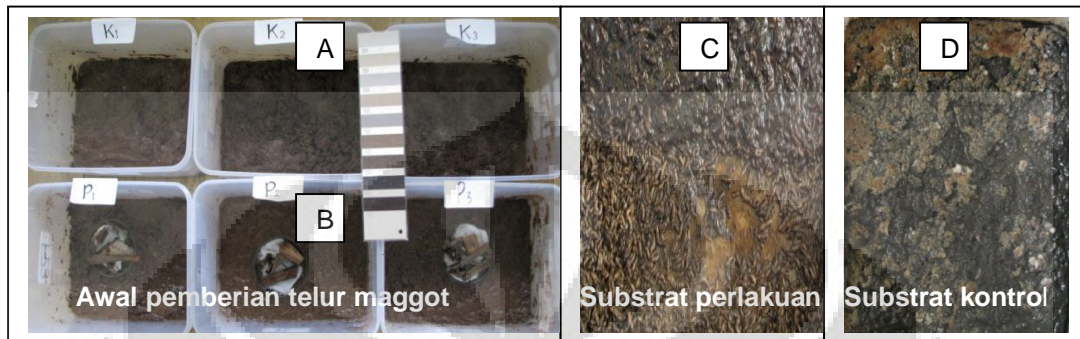
McArthur (2006) menyatakan bahwa bakteri akan tumbuh dan berkembang dengan cara memanfaatkan nutrisi yang ada di dalam substrat, baik yang berupa protein, lemak, serat, karbohidrat, maupun kandungan unsur-unsur

mineral. Selain tumbuh dan berkembang, umumnya bakteri juga menghasilkan metabolit sekunder berupa pigment warna dan enzim-enzim yang dibutuhkan (Haug 1993 *lihat* Salyers *et al.* 1994).

Perubahan warna substrat perlakuan hari ke-7 (H₇) sampai hari ke-14 (H₁₄) terlihat cenderung pada kode nomor 466 (coklat tua), sedangkan hari ke-15 (H₁₅) sampai hari ke-17 (H₁₇) cenderung pada kode nomor 467 (coklat pekat), hari selanjutnya sampai akhir biokonversi terlihat warna seperti pada kode nomor 469 (coklat kehitaman). Perubahan warna substrat kontrol hari ke-7 (H₇) sampai hari ke-14 (H₁₄) terlihat cenderung pada kode nomor 466 (coklat tua), sedangkan hari ke-15 (H₁₅) pada kode nomor 467 (coklat pekat), akhir biokonversi cenderung pada kode nomor 469 (coklat kehitaman). Ketidaksamaan perubahan warna yang terjadi antara substrat perlakuan dan kontrol diduga dipengaruhi oleh adanya feses dan cangkang maggot yang tercampur dalam substrat PKMK.

Selain itu, perubahan warna diduga juga disebabkan oleh perubahan oleh enzim-enzim yang terdapat pada PKMK. Winarno (1998) mengemukakan bahwa pada bahan pangan yang difermentasi akan terjadi perubahan warna akibat enzim-enzim pencoklatan ataupun enzim yang dikeluarkan oleh bahan pengemulsi dan mikroba yang berperan di dalamnya. Harper (1995) menjelaskan bahwa setiap proses perubahan suatu senyawa akan terjadi perubahan warna akibat dari penguraian atau penggabungan untaian rantai pada unsur-unsur yang berperan selama proses berlangsung.

Perubahan warna selama proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot dapat dilihat pada Gambar II. 12.



Gambar II. 12. Perubahan warna PKM selama biokonversi PKMK oleh maggot. Keterangan : A = Coklat tua; B = Coklat pekat; C, D = Coklat kehitaman.

Hasil analisis proksimat selama biokonversi PKMK oleh maggot

Analisis proksimat dilakukan pada hari ke7, hari ke-14, dan hari ke-21.

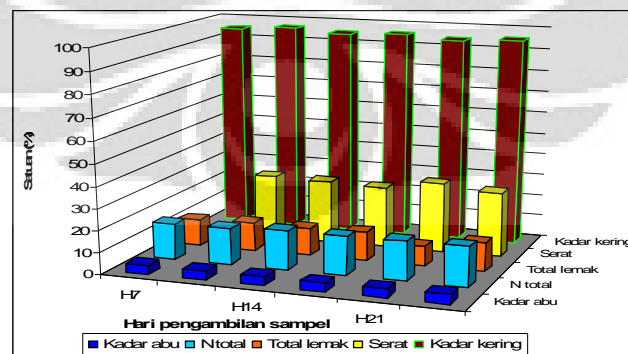
Nilai rerata analisis proksimat selama biokonversi PKMK untuk pakan maggot dapat dilihat pada Tabel II. 3.

Tabel II. 3. Nilai rerata analisis proksimat selama biokonversi PKMK untuk pakan maggot.

Parameter uji proksimat (%)	Hari pengambilan sampel							
	Perlakuan				Kontrol			
	H7	H14	H21	(Δ) H21-H7	H7	H14	H21	(Δ) H21-H7
Kadar kering	95.44	95.22	94.5	-0.94	96.84	95.92	95.51	-1.33
N total	16.53	17.97	18.2	1.67	16.78	17.82	18.22	1.44
Lemak	12.33	12.82	9.01	-3.32	13.11	13.28	13.13	0.02
Kadar abu	4.05	4.02	4.01	-0.04	4.03	4.03	4.34	0.31
Serat	28.93	29.09	32.32	3.39	29.59	28.26	29.97	0.38

Keterangan : H7 = pengambilan sampel pada hari ke-7; H14 = pengambilan sampel pada hari ke-14; H21 = pengambilan sampel pada hari ke-21.

Perubahan kadar proksimat dihitung berdasarkan hasil pengambilan sampel pada awal biokonversi PKMK (hari ke-7) dikurangi hasil pengambilan sampel hari terakhir biokonversi PKMK (hari ke-21). Terlihat bahwa kadar kering pada substrat perlakuan mengalami peningkatan dari 95,44% menjadi 94,50%. Sebaliknya, pada substrat kontrol terjadi penurunan kadar kering dari 96,84% menjadi 95,51%. Kadar N total pada substrat perlakuan mengalami kenaikan dari 16,53 % menjadi 18,20%, sedangkan pada substrat kontrol terjadi peningkatan dari 16,78 % menjadi 18,22%. Kadar lemak pada substrat perlakuan mengalami penurunan yang cukup besar dari 12,33% menjadi 9,01%. Sebaliknya, terjadi peningkatan kadar lemak pada substrat kontrol dari 13,11% menjadi 13,13%. Kadar abu pada substrat perlakuan turun menjadi 4,05%,sedangkan pada substrat kontrol turun menjadi 4,01%. Kandungan serat pada substrat perlakuan naik menjadi dari 28,93% menjadi 32,32%, dan substrat kontrol naik dari 29,59% menjadi 29,97%. Grafik analisis proksimat pada H_0 , H_7 , dan H_{21} biokonversi PKMK oleh maggot dapat dilihat pada Gambar II. 13.



Gambar II.13. Grafik analisis proksimat pada H_0 , H_7 , dan H_{21} selama biokonversi PKMK oleh maggot

Kadar kering sangat dipengaruhi oleh kadar air pada substrat.

Ketidaksamaan hasil analisis kadar kering selama biokonversi diduga banyak dipengaruhi oleh faktor suhu, penambahan unsur cair dari hasil ekskresi dan sekresi maggot, serta peran bakteri dalam unsur cair pada PKMK. Kadar kering dari hasil analisis proksimat pada kedua perlakuan meningkat.

Agunbiade *et al.* (1999) melaporkan bahwa kadar kering pada *Full Fat Palm Kernel* (FFPK) sebesar 91,97%, sedangkan kadar kering pada PKM sebesar 88,3% dari 0,5 g sampel.

Analisis protein pada kedua perlakuan mengalami kenaikan. Naiknya kandungan protein pada substrat diduga dipengaruhi oleh peningkatan nitrogen yang terdapat pada substrat. Swick *et al.* (1999) melaporkan bahwa nitrogen merupakan komponen utama dari protein sel, sehingga konsumsi nitrogen berakibat langsung terhadap jalannya sintesis protein pada sel organisme dan mikroorganisme.

Peningkatan kadar protein diduga juga disebabkan karena adanya kitin yang tercampur di dalam substrat PKMK ketika maggot melakukan *moulting*. Adanya kandungan kitin pada substrat diduga akan memunculkan bakteri kitinolitik. Donderski & Brezezinska (2003) mengemukakan bahwa monomer dari kitin dimanfaatkan oleh mikroorganisme di alam, antara lain bakteri, sebagai sumber karbon dan nitrogen untuk nutrisi. Chernin (1995); Sakai *et al.* (1998); Donderski & Trzebiatowska (1999); Vogan *et al.* (2002) melaporkan bahwa habitat dari bakteri kitinolitik umumnya adalah lingkungan yang mengandung kitin dalam jumlah banyak, seperti kompos dengan

kandungan kitin, eksoskeleton Arthropoda, air dan sedimen laut, serta tanah.

Yu *et al.* (1991) menjelaskan bahwa bakteri yang memproduksi enzim

kitinolitik bertujuan untuk mengambil nutrisi dan digunakan untuk

perkembangannya. Contoh bakteri kitinolitik antara lain *Enterobacter*

agglomerans dan *Basillus* sp. (Chernin *et al.* 1995 & Sakai *et al.* 1998).

Berbeda dengan fungi dan Insekta, kedua organisme ini menggunakan enzim

kitinolitik untuk morfogenesis (Chernin *et al.* 1995 & Chien-jui Huang *et al.*

2005).

Kadar lemak pada kedua substrat perlakuan mengalami penurunan yang significant, sedangkan pada substrat kontrol mengalami kenaikan.

Kondisi ini merupakan hal yang berbeda pada proses biokonversi yang

pernah dilakukan sebelumnya. Diduga perbedaan kondisi ini disebabkan

oleh pengaruh adanya maggot di dalam substrat yang sangat berperan

dalam memanfaatkan lemak untuk pertumbuhannya. Penurunan kadar lemak

diduga akibat dari penguraian lemak oleh bakteri lipolitik terhadap PKM.

Kadar abu pada substrat perlakuan mengalami peningkatan dari

4,16% menjadi 4,24%, sedangkan pada substrat kontrol mengalami

penurunan dari 4,16% menjadi 4,12%. Kadar abu pada substrat dipengaruhi

oleh kadar air. Moreou (2009) menjelaskan bahwa kadar air yang tinggi dapat

menyebabkan rendahnya kadar abu.

Analisis serat pada kedua substrat mengalami kenaikan, pada substrat

perlakuan terjadi kenaikan nilai dari 25,10% menjadi 27,61%, sedangkan

pada substrat kontrol naik dari 25,10% menjadi 28,66%. Peningkatan kadar

serat diduga karena selama proses biokonversi terjadi penguraian nutrisi PKM sehingga sisa-sisa PKM akan terakumulasi lebih banyak menjadi serat. Lubis (1992) melaporkan bahwa kandungan serat PKM setelah proses pengolahan masih mencapai sekitar 20%.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Selama proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot ditemukan lima isolat bakteri (B1, B2, B3, B4, dan B5). Bakteri-bakteri tersebut mengalami suksesi yaitu bakteri B1, B2, dan B3 merupakan bakteri yang selalu ada sampai akhir biokonversi. Bakteri B4 mengalami penurunan bahkan bakteri B5 pada hari ke 11 tidak ditemukan. Pertumbuhan maggot pada hari ke-21 (H_{21}) mencapai dua kali lipat dibandingkan pada hari ke-14 (H_{14}). Parameter lingkungan substrat dan ruang penyimpanan menunjukkan tidak berbeda nyata. Terjadi perubahan warna substrat selama biokonversi yang diduga disebabkan peran enzim bakteri dan penguraian nutrisi PKMK. Proses biokonversi PKM menjadi PKMK meningkatkan kadar protein dan serat, serta menurunkan kadar lemak, kadar kering dan kadar abu. Hasil penelitian terhadap bakteri dan hasil analisis proksimat, direkomendasikan bahwa sisa PKMK yang telah mengalami biokonversi dapat dijadikan sebagai alternatif *biofertilizer* untuk pupuk organik tanaman.

SARAN

1. Perlu dilakukan analisis saluran pencernaan maggot untuk mengetahui asosiasi bakteri dan maggot.
2. Perlu identifikasi konvensional dan molekuler dari bakteri yang sudah diisolasi.
3. Perlu diteliti pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan perkembangan maggot.
4. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai peran bakteri selama biokonversi.

DAFTAR ACUAN

Afifah, R. 2006. *Pemanfaatan bungkil kelapa sawit dalam pakan juvenil ikan patin jambal Pangasius djambal*. Skripsi Program Studi Teknologi dan Manajemen Akuakultur Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor, Bogor: viii + 29 hlm.

Agunbiade, J.A., J. Wiseman & D.J.A. Cole. 1999. Energy and nutrient use of palm kernels, palm kernel meal and palm kernel oil in diets for growing pigs. *Jour. Animal Feed Science and Technology* 80: 165--181.

Anonim. 2005. *Black soldier fly*. 2 hlm.

http://ipm.ncsu.edu/AG369/notes/black_soldier_fly.html, 9 September 2008, pk. 15.00.

Anonim. 2006. *Cyphomyia rubra* Loew, *Diptera*: Stratiomyidae wing. 1 hlm.

<http://insects.oeb.harvard.edu/MCZ/FMPro?-DB=Image.fm&->

Lay=web&-Format=image_large.htm&Image_ID=MCZT_156476&-

Find, 30 Desember 2008, pk. 12.35

Association of Official Analytical Chemists. 1995. *Official methods of analysis*.

16th. Edn. Washington. D.C. 12—25.

Atlas, R.M. 1998. *Respon of microbial population to environmental disturbance*. *Microb. Ecol.* 22: 249—256 hlm.

Basukriadi, A. 2006. *Interaksi antarpopulasi*. Dalam: Rasidi, S., A. Basukriadi & Tb. M. Ischak. *Ekologi Hewan*. Penerbit Universitas Terbuka, Jakarta: 6.1--6.6. 35 hlm.

Begon, M., J.L. Harper & C. R. Townsend. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3rd ed. Blackwell Science Ltd., Oxford: xii + 1068 hlm.

Bondari, K. & D.C. Sheppard. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Jour. Aquaculture* 24: 103--109.

Bradley, S.W. & D.C. Sheppard. 1984. House fly oviposition inhibition by larvae of *Hermetia illucens*, the black soldier fly. *Journal of Chemical Ecology* 10(6): 853--859.[abstrak].

Blackwell, M., Nguyen, N.H., & S.O. Suh. 2007. Five novel *Candida* species in insect-associated yeast clades isolate from Neuroptera and other insect. *Mycologia*. 99(6): 842—858 hlm.

- Cappuccino, J.G. & N. Sherman. 2002. *Microbiology. A Laboratory Manual*. Benjamin Cumming Publishing Company, Inc. New York: xvii+491 hlm.
- Chu, H.F. & L.K. Cutkomp. 1992. *How to know the immature insects*. Wm. C. Brown Communications, Inc., Dubuque: vi + 345 hlm.
- Chernin, L.S., Z. Ismailou, S. Haran, & I. Chet. 1995. Chitinolytic Enterobacter agglomerans antagonistic to fungal plant pathogens. *Applied and Environmental Microbiology*. **61** (5):1720—1726.
- Campobasso, C.P., G.D. Vella & F. Introna. 2001. *Factors affecting decomposition and Diptera colonization*. *Forensic Science International* 120: 18--27.
- De Wever, A., K. Muylaert, K. Van der Gucht, S. Pirlot, C. Cocqyut, J. Descy, P. Plisneir & V. Wim. 2005. Bacterial community composition in Lake Tanganyika : vertical and horizontal heterogeneity. *Applied and Environmental Microbiology*. **71**(9) : 5029--5037.
- Dillon, R.J., & V.M. Dillion. 2004. The gut bacteria of insect : nonpathogenic interactions. *Annual Review Entomol.* 49: 71--92 hlm.
- Donderski, W. & M.S. Brzezinska. 1999. Chitinase activity production by planktonic, benthic and epiphytic bacteria inhabiting the moty bay of the Jeziorak Lake (Poland). *Polish Journal of Environmental Studies*. **8** (4): 215—220.
- Donderski, W. & M.S. Brzezinska. 1999. The utilization of N-acetyloglucosamine and chitin as sources of carbon by planktonic,

benthic and epiphytic bacteria in Lake Jeziorak. *Polish Journal of Environmental Studies*. **12** (6): 685—692.

Douglas, A.E. 2003. *Buchnera* bacteria and other symbiosis of aphids. *Dalam* : Bourtzis. K., Miller. T.A,eds. *Insect symbiosis*. Boca Raton ; CRC Press. 23--38 hlm.

Departemen Pertanian. 2006. *Produksi kelapa sawit nasional*. 1 hlm. www.database.deptan.go.id/bdspweb/74-free-frame.asp, 2 Februari 2008, pk. 12.00.

Dress, A.M., J.H. Jackman. 2006. *Insect community composition and trophic guild structure in decaying logs from eastern Canadian pine-dominated forests*. *Forest Ecology and Management* 225: 190--199.

Food and Agriculture Organization. 2002. *Utilization of palm kernel cake (PKC) as feed in Malaysia*. *Asian Livestock* **26**(4): 19--23.

Food and Agriculture Organization. 2006. *Export of palm oil 2004*. 1hlm.www.fao.org/es/ess/toptrade/trade.asp?dir=exp&disp=countrybycomm&resource=257&year=2004, 2 Februari 2008, pk. 10.12.

Fahmi, M.R., S.Hem. & I.W. Subamia. 2009. *Potensi maggot untuk peningkatan pertumbuhan dan status kesehatan ikan*. Loka Riset Budidaya Ikan Hias Air Tawar. Depok. (belum dipublikasi)

Hem, S. 2004. Prospective works, results and plans for the future programs of bioconversion processing of by-products from agro-industries in Indonesia and their volarization via aquaculture: *Application with palm kernel meal (PKM)*. Report for IRD. 11 hlm. (tidak dipublikasikan).

- Hem, S., S. Toure, C. Sagabla, & M. Legendre. 2008a. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea). *African Journal of Biotechnology*. 7(8): 1192-1198 hlm.
- Hem, S., M. R. Fahmi, Chumaidi, Maskur, A. Hadadi, Supriyadi, Ediwarman, M. Larue & L. Pouyaud. 2008b. *Valorization of Palm Kernel Meal via Bioconversion: Indonesia's initiative to address aquafeeds shortage*. International Conference on Oil Palm and Environment (ICOPE), 15-16 November 2007, Bali, Indonesia.
- Jennings, D.H., & G.Lysek. 1996. *Fungal biology*. BIOS Scientific Publishers Limited. Oxford. 198 hlm.
- Jutono, S. Hartadi, S. Kabirun, S. Judoro, & D. Suhadi. 1972. *Panduan mata kuliah dan praktikum mikrobiologi*. Universitas Gadjah Mada. 78 hlm.
- Kolade, O. O., A.O. Coker, M.K.C. Sridhar, & G.O. Adeoye. 2007. Palm kernel waste management through composting and crop production. *Journal of Environmental Health Research*. 5: 81—85.
- Kitade, O. 2004. Comparison of symbiotic flagellate faunae between termites and a wood. Feeding cockroach of the genus *Cryptocercus*. *Microbes Environ*. 19: 215—220 hlm.
- Krohne, D.T. 2001. *General ecology*. 2nd ed. Brooks/Cole, Pacific Grove: xvi + 512 hlm.
- Larde, G. 1990. *Recycling of coffee pulp by Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) larvae*. *Biological Wastes* 33: 307--310.

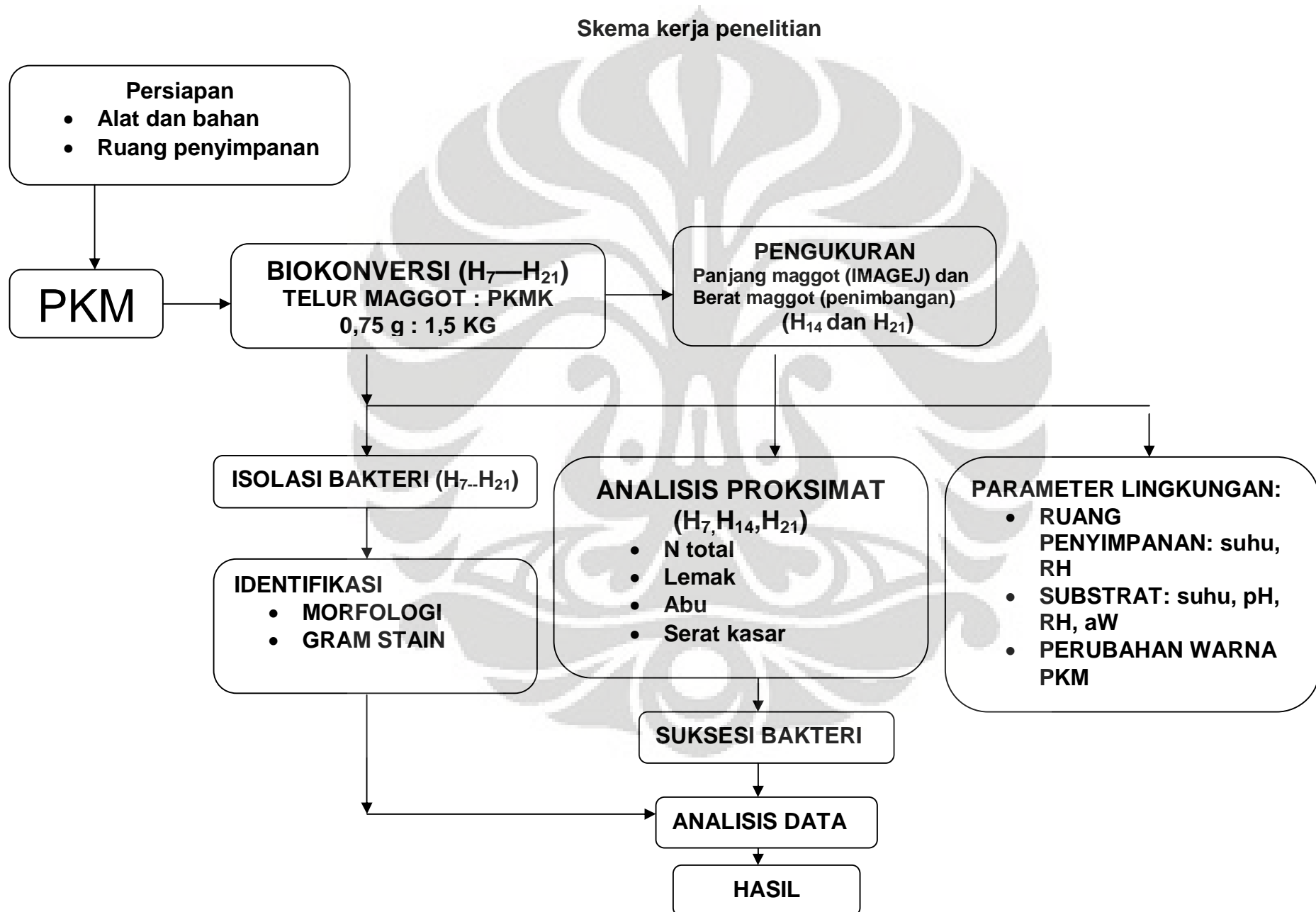
- Leclercq, M. 1997. A propose de *Hermetia illucens* L. (Linnaeus, 1758) ("soldier fly") (Diptera Stratiomyidae: Hermetiinae). *Bull. Annl. Socr. Belge Ent.* 133: 275--282.
- Lim H-A., Ng W-K., S.L.Lim, & C.O. Ibrahim 2001. Contamination of palm kernel meal with *Aspergillus flavus* affects its nutritive value in pelleted feed for tilapia, *Oreochromis mossambicus*. School of Biological Sciences, Universiti Sains Malaysia, Penang 11800, Malaysia. *Aquacult. Res.* 32: 895-905.
- Lubis, A.U. 1992. *Kelapa sawit (Elaeis guineensis Jacq.) di Indonesia*. Pusat Penelitian Perkebunan. Marihat-Bandar Kuala. Sumatra Utara: 383 hlm.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko & J. Parker. 1994. *Brock biology of microorganisms*. 7th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey: xvii + 909 hlm.
- McArthur, J.V. 2006. *Microbial ecology. An evolutionary Approach*. Library of congress cataloging-in-Publication Data. Academic Press is an imprint of Elsevier. 416 hlm.
- Moereu. 2005. *Protocol proksimat analysis for fish*. Unpublish. IRD. France. 22 hlm.
- Mokany, A. & R. Shine. 2002. *Competition between tadpoles and mosquitoes: the effects of larval density and tadpole size*. *Australian Journal of Zoology*. **50**(5): 549--563.[abstrak]
- Molles, M.C. Jr. 2005. *Ecology: concepts and applications*. McGraw-Hill

- Companies Inc., New York: xviii + 622 hlm.
- Newby, R. 1997. *Use of soldier fly larvae in organic waste management*. Proceeding of Compost 97 Conference. 14--15 July 1997. Griffith University, Brisbane Hilton: 8 hlm.
- Newton, G.L., D.C. Sheppard, S.A. Thompson & S.I. Savage. 1995. *Soldier fly benefits: house fly control, manure volume reduction, and manure nutrient recycling*. Annual Report. UGA Animal & Dairy Science. 11 hlm.
- Newton, L., C. Sheppard, D.W. Watson, G. Burtle, & R. Dove. 2005. *Using the black soldier fly, Hermetia illucens, as a value-added tool for the management of swine manure*. Report for The Animal and Poultry Waste Management Center. 17 hlm.
- Nessler, E.W., D.G. Anderson, C.E. Roberts, N.N. Pearsal & M.T. Nesler. 2004. *Microorganism in food and beverage production*. Alcoholic fermentation by yeast: *dalam* Microbiology: A human perspective wheatley, C.H.(Ed). 4th Edn. McGrawHill, N.Y. USA. 151—153.
- Ng W-K. 2003. The potential use of palm kernel meal in aquaculture feeds. *Aquaculture Asia* **8**(1): 38--39.
- Pantzaris, T.P. & M.J. Ahmad. 2001. *Palm kernel oil*. Palm Oil Research Institute of Malaysia (PORIM EUROPE). 3 hlm.
- Poku, K. 2002. Small-scale palm oil processing in Africa. *FAO Agricultural service bulletin* 148: 10 hlm.

- Rakhmawati. 2007. *Pola suksesi dan interaksi antara larva Hermetia sp. L. (Diptera, Stratiomyidae) dan larva Musca sp. L. (Diptera, Muscidae) pada bungkil kelapa sawit*. Skripsi. Biologi-MIPA. Universitas Indonesia. Depok.
- Sakai, K., A. Yokota, H. Kurokawa, M. Wakayama, & M. Moriguchi. 1998. Purification and characterization of three thermostable Endochitinases of a noble Bacillus stain, MH-1. Isolated from chitin-containing compost. *Applied and Environmental Microbiology*. **64** (9): 3397—3402.
- Salyers, A., & D.D. Whitt. 1994. *Bacterial Pathogenesis: A Molecular Approach*. American Society for Microbiology. Washington, D.C.
- Sundu, B. & J. Dingle. 2003. Use of enzymes to improve the nutritional value of palm kernel meal and copra meal. *Proc. Queensland Poult. Sci. Symp. Australia* **11**(14): 1--15.
- Swick, R.A. 1999. Consideration in using protein meals for poultry and swine. *ASA Technical Bulletin* 21: 1--11.
- Tjakradidjaja & Wiryawan. 2004. Isolasi bakteri pada perut rayap dan domba sebagai kandidat bakteri probiotik pada pakan hijauan ternak. Makalah ilmiah. Institut Pertanian Bogor. *Jurnal penelitian ilmiah* . **18**: 6—12.
- Otoguro, M. 2003. *Soil dilution method*. Workshop on Isolation Methods of Microbes. 24-26 June 2003. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. hlm 33.

- Vogan, C.L., C. Costa-Ramos, & A.F. Rowley. 2002. *Shell disease syndrome in the edible crab, Cancer pagurus isolation, characterization and pathogenicity of chitinolytic bacteria*. *Microbiology*. **148**: 743—754.
- Winarno. 1998. *Biokimia pangan*. Gramedia. Jakarta. 79—86 hlm.
- Warburton, K. & V. Hallman. 2002. *Processing of organic materials by the soldier fly, Hermetia illucens*. Dalam: Warburton, K., U. Pillai-McGarry, D. Ramage (eds.). 2002. *Integrated biosystems for sustainable development Proceedings of the In FoRM 2000 National Workshop on Integrated Food Production and Resource Management*. 118--129.
- You, C., A.M. Lee, B.L. Bassler, & S. Roseman. 1991. Chitin utilization by marine bacteria. A physiological function for bacteria adhesion to immobilized carbohydrates. *The journal of Biological Chemistry* **266** (36): 24260—24267.
- Zahari, M.W. & A.R. Alimon. 2005. Use of palm kernel cake and oil palm by-products in compound feed. *Palmas journal* **26**(1): 5--9.

Lampiran II. 1. Skema kerja penelitian Makalah II.



Lampiran II. 2. a. Hasil pengukuran panjang maggot (mm)

Hasil pengukuran panjang maggot (mm)						
Hari ke-14 (H14)				Hari ke-21 (H21)		
	Max	Min	rerata	Max	Min	Rerata
P1	11.93	1.50	6.54	20.19	11.98	19.97
P2	9.90	2.29	6.00	19.98	11.87	19.66
P3	10.48	1.25	6.27	20.22	11.96	19.78

Lampiran II. 2. b. Hasil pengukuran berat maggot (gram)

Hasil pengukuran berat maggot (gram)						
Hari ke-14 (H14)				Hari ke-21 (H21)		
	Max	Min	rerata	Max	Min	Rerata
P1	9.75	6.76	9.15	21.24	16.56	21.08
P2	9.55	6.44	9.05	20.97	15.98	20.06
P3	9.79	6.85	9.22	21.28	16.24	21.02

Lampiran II. 3.a. Hasil pengukuran parameter fisik ruang penyimpanan selama biokonversi PKMK oleh maggot.

Pengamatan parameter ruang penyimpanan PKMK		
Hari	Parameter yang diukur	
	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Rh (%)
8	28	65.0
9	27	64.0
10	27	62.0
11	28	64.7
12	29	65.0
13	27	62.7
14	27	62.0
15	27	65.3
16	27	65.3
17	26	60.7
18	26	60.3
19	25	58.7
20	27	60.3
21	28	60.7

Lampiran II. 3.b. Hasil pengukuran parameter lingkungan selama biokonversi PKMK oleh maggot.

Hari	Parameter lingkungan substrat							
	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)		pH		Rh (%)		Aw (%)	
	K	P	K	P	K	P	K	P
8	29.3	29.2	5.8	5.8	65.0	65.0	0.7	0.7
9	28.7	28.0	5.7	5.3	52.0	58.0	0.5	0.6
10	28.0	27.3	5.8	5.4	52.0	56.7	0.5	0.6
11	29.0	28.3	5.8	5.5	48.7	51.3	0.5	0.5
12	29.0	28.3	5.8	6.4	48.0	41.0	0.5	0.4
13	28.0	27.3	5.6	5.7	52.7	52.7	0.5	0.5
14	28.0	27.0	5.7	5.5	52.0	53.3	0.5	0.5
15	28.0	27.0	5.5	5.4	53.3	56.0	0.5	0.6
16	28.0	27.0	5.7	5.4	53.3	60.7	0.5	0.6
17	27.0	26.0	5.8	5.7	47.7	55.3	0.5	0.6
18	27.0	27.0	6.1	5.2	23.3	58.0	0.2	0.6
19	26.8	27.0	5.5	5.7	53.7	49.3	0.5	0.5
20	28.0	26.8	5.9	5.2	38.3	55.3	0.4	0.6
21	29.0	28.0	4.8	5.5	64.7	50.7	0.6	0.5

DISKUSI PARIPURNA

Bakteri yang berperan selama biokonversi ada lima isolat, yaitu B1, B2, B3, B4, dan B5. Bakteri menguraikan Palm Kernel Meal (PKM) bertujuan untuk mengubah PKM menjadi bentuk yang lebih sederhana agar lebih mudah dicerna oleh maggot (Hem *et al.* 2008a). Selain itu, adanya bakteri juga diduga dapat mengubah nutrisi yang terdapat di dalam PKM seperti protein, lemak, dan serat kasar (Nessler *et al.* 2004).

Selama proses biokonversi jumlah bakteri pada substrat PKM perlakuan dan kontrol cenderung meningkat hingga akhir biokonversi hari ke-7 (H_7). Mulai hari ke-8 (H_8) bakteri B1, B2, B3, B4, dan B5 pada PKMK perlakuan mengalami penurunan jumlah hingga akhir proses biokonversi pada hari ke-21 (H_{21}). Selama biokonversi hasil perhitungan jumlah bakteri B1, B2, dan B3 berbeda nyata, sedangkan bakteri B4 dan B5 tidak berbeda nyata. Bakteri B1, B2, dan B3 merupakan bakteri yang mampu bertahan di dalam substrat mulai dari awal hingga akhir biokonversi. Bakteri B4 dan B5 ditemukan selama awal biokonversi, tetapi sudah tidak ditemukan lagi pada hari ke-11 (H_{11}) proses biokonversi.

Suksesi yang terjadi pada PKMK perlakuan dan kontrol terlihat bahwa bakteri B1 (96,33%; 72,58%), B2 (95,18%; 87,42%), B3 (99,68%; 90,05%), dan B4 (98,66%; 85,51%) merupakan bakteri yang paling sering muncul dan jumlahnya paling banyak. Bakteri B5 (94,31%; 88,40%) muncul pada biokonversi, namun empat hari setelah biokonversi sudah tidak

ditemukan lagi pada substrat PKMK. Bakteri pada PKMK perlakuan dan kontrol mengalami suksesi degradatif selama proses biokonversi. Ketidak munculan bakteri akibat dari kompetisi antar sesama bakteri dalam memperebutkan nutrisi di dalam substrat. Kompetisi dan persaingan dapat berupa memperebutkan pakan atau relung di alam (Basukriadi 2006 & Begon 1996).

Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa kandungan serat di dalam substrat PKM 28,93%. Hal tersebut mengindikasikan adanya bakteri selulolitik yang turut berperan dalam mendegradasi PKM. Bakteri mendegradasi selulosa dengan cara memanfaatkan glukosa dalam bahan berserat (PKM) sebagai sumber karbon. Sebelum bakteri mendegradasi lignin dari PKM diperlukan senyawa karbon yang lebih sederhana yang berperan sebagai kosubstrat. Apabila glukosa pada PKM sudah habis, bakteri akan optimal mendegradasi selulosa PKM. Laju degradasi PKM menurun disebabkan beberapa faktor, yaitu inhibisi oleh enzim selain selulase atau lignoselulase, denaturasi selulase, dan terjadi pengeluaran amofors selulosa lebih awal sehingga bertambahnya proporsi selulosa krisal yang lebih rentan terhadap hidrolisis. Faktor lain adalah derajat polimerisasi, glukosa yang mempunyai derajat polimerisasi rendah lebih rentan terhadap eksoselulase (Crawford 1981; Knapp 1985; Lestan *et al.* 1990; Henriksson *et al.* 1995).

Jenis bakteri selulolitik yang dapat berperan sebagai agen biokonversi antara lain jenis bakteri aerob yaitu *Cellulomonas gelida*, *Azospirillum* sp. Atau *Bacillus macerans* (Stewart *et al.* 1976 dan Dorothy *et al.* 1985 lihat Hatami 2008), jenis bakteri anaerob yaitu *Clostridium josui* (bakteri berspora), *Coprococcus* sp. (Sukhumavasi, 1988) dan *Ruminococcus albus* (Prakash *et al.* 1997).

Kandungan lemak sebesar 13,11% memungkinkan bakteri yang ada di dalam substrat PKM juga merupakan bakteri lipolitik. Arini (2005) melaporkan bahwa dalam proses degradasi lemak pada PKM, komponen lemak akan diubah sebagai sumber karbon, yang dilakukan melalui tahap gliserolisis, bertujuan untuk memecah triasilgliserol (TAG) menjadi komponen-komponen lemak seperti diasilgliserol (DAG), monoasilgliserol (MAG), asam lemak bebas (ALB), gliserol, dan sisa TAG. Prakash *et al.* (2007) melaporkan bahwa bakteri yang berperan dalam degradasi lemak antara lain, yaitu *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Micrococcus luteus*, *Serratia marcescens*, dan *Staphylococcus aureus*.

Keberadaan bakteri sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan (Rh), pH, dan kadar air (Aw) (Martinko dan Madigan, 2005). Hasil pengukuran suhu selama biokonversi dan biokonversi PKM untuk pakan maggot memperlihatkan bahwa pada substrat perlakuan dan kontrol fluktuasi suhu berkisar antara 27—31 °C, rerata suhu menunjukkan kisaran 29 °C. Suhu pada ruang penyimpanan berkisar antara 27—30 °C, rerata suhu 28 °C. Fluktuasi suhu diduga menyebabkan adanya

bakteri spesifik yang hidup pada substrat. Secara umum populasi bakteri tertinggi akan dicapai pada substrat bersuhu 20—37 °C, kondisi ini populasi bakteri akan didominasi oleh bakteri mesophilik (Atlas, 1998). Berdasarkan hasil pengamatan, maka fluktuasi suhu pada substrat perlakuan dan kontrol rendah dalam mendukung proses biokonversi dan biokonversi PKM untuk pakan maggot. Selain itu, peningkatan suhu yang terjadi disebabkan respirasi bakteri. Semakin banyak bakteri pada substrat maka respirasi semakin tinggi, sehingga suhu akan naik (Madigan dan Mantinko, 1997).

Atlas (1998) menjelaskan bahwa umumnya bakteri dapat berkembang dengan baik ada pH 5,0—7,0. pH pada substrat perlakuan dan kontrol berkisar antara 4,4--5,8, dengan rerata pH mencapai 5,4. Hasil pengukuran pH menunjukkan bahwa substrat tergolong kondisi asam. Nilai aW pada perlakuan dan kontrol tidak berbeda nyata, yaitu sebesar 0,6--0,7%, dengan nilai rerata sebesar 0,6%. Substrat perlakuan dan kontrol tergolong basah, dan mempunyai kadar air tinggi. Kondisi tersebut diduga menghambat bakteri tumbuh dengan baik, meskipun ada sebagian bakteri yang tetap dapat beradaptasi dan berkembang dengan baik.

Diduga adanya fluktuasi suhu dan kurangnya sinar matahari akibat dari pergantian musim, menyebabkan ruang penyimpanan lebih lembap daripada kondisi sebelum biokonversi. Kelembapan nisbi pada suatu lingkungan atau substrat sangat dipengaruhi oleh kadar air (McArthur, 2006).

Terjadi perubahan warna pada PKMK, diduga disebabkan oleh perubahan oleh enzim-enzim yang terdapat pada PKMK. Pangan yang

dibiokonversi akan terjadi perubahan warna akibat enzim-enzim pencoklatan ataupun enzim yang dikeluarkan oleh bahan pengemulsi dan mikroba yang berperan di dalamnya (Said *et al.* 1990; Smith 1990; Winarno 1998).

Pertambahan panjang maggot pada hari ke-21 (H_{21}) mencapai tiga kali lipat panjang maggot pada pengukuran hari ke-14 (H_{14}). Hasil pengukuran pada hari ke-14 (H_{14}) menunjukkan bahwa rerata panjang maggot mencapai 6,00—6,54 mm, sedangkan pada hari ke-21 (H_{21}) rerata panjang mencapai 19,66—19,97 mm. Ketidaksamaan ukuran panjang dan berat maggot kemungkinan disebabkan adanya keterbatasan individu dalam persaingan berebut pakan. Maggot yang berukuran kecil akan kalah bersaing dibandingkan dengan maggot yang berukuran besar. Selain itu adanya persaingan, kanibalisme, dan stres akibat perubahan lingkungan juga menyebabkan tingginya mortalitas maggot (Rakhmawati, 2007). Pertambahan berat maggot disebabkan oleh keaktifan maggot untuk mencerna substrat dan memanfaatkan untuk pertumbuhan (Kolade *et al.* 2003). Jika dianalogikan dengan rayap dan serangga jenis Diptera lainnya, diduga ada peran bakteri di dalam saluran pencernaan maggot yang dapat membantu penguraian PKM (Douglas 2003; Kitade 2004; Dillion & Dillion 2004).

Terlihat bahwa kadar kering pada substrat sampai akhir biokonversi mengalami peningkatan dari 95,44% menjadi 95,51%. Kadar N total pada mengalami kenaikan dari 16,53 % menjadi 18,22%. Kadar lemak pada mengalami penurunan yang cukup besar dari 13,11% menjadi 9,01%. Kadar

abu turun dari 4,05% menjadi 4,01%. Kandungan serat naik dari 28,93% menjadi 32,32%.

Perubahan kadar nutrisi diduga disebabkan oleh peran bakteri dalam mengurai nutrisi PKM selama biokonversi dan biokonversi. Peningkatan kadar N total diduga juga disebabkan karena adanya N-asetil glucosamin yang terkandung di dalam kitin ketika terurai di dalam substrat PKMK saat maggot melakukan *moulting* (Krohne 2001 dan Sundu 2003). Adanya kandungan kitin pada substrat diduga akan memunculkan bakteri kitinolitik. Donderski dan Brezezinska (2003) mengemukakan bahwa monomer dari kitin dimanfaatkan oleh mikroorganisme di alam, antara lain bakteri, sebagai sumber karbon dan nitrogen untuk nutrisi. Penurunan kadar lemak diduga akibat dari penguraian lemak oleh bakteri lipolitik terhadap PKM (Arini, 2005). Diduga perbedaan kondisi ini disebabkan oleh pengaruh adanya maggot di dalam substrat yang sangat berperan dalam memanfaatkan lemak untuk pertumbuhannya.

Berkurangnya jumlah bakteri selama biokonversi diduga karena dimakan oleh maggot. Blackwell *et al.* (2007) yang menyatakan bahwa sebenarnya ada peran mikroorganisme di dalam saluran pencernaan serangga dan rayap yang sangat mendukung sistem pencernaan. Saluran pencernaan maggot diduga terdapat bakteri yang mampu mengurai PKMK, sehingga sangat membantu proses pencernaan. Bakteri-bakteri pada saluran pencernaan diduga berasal dari PKMK yang termakan oleh maggot atau sudah ada pada saluran pencernaan maggot.

RANGKUMAN KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Proses biokonversi PKM menjadi PKMK dapat dilakukan secara alami selama tujuh hari. Awal biokonversi (hari ke-0) hingga hingga akhir biokonversi (hari ke-21) PKM untuk pakan maggot dapat diisolasi 5 jenis bakteri adalah: B1, B2, B3, B4 dan B5. Bakteri-bakteri tersebut berperan dalam proses pendegradasian PKM menjadi PKMK hingga akhir biokonversi (hari ke-21). Selain itu bakteri juga mengalami suksesi degradatif untuk memperebutkan nutrisi dan relung di dalam PKM. Bakteri B1, B2, dan B3 merupakan bakteri yang selalu ada sampai akhir biokonversi. Bakteri B4 mengalami penurunan dan B5 pada hari ke 11 sudah tidak ditemukan lagi pada substrat PKMK.

Pertumbuhan maggot pada hari ke-21 (H_{21}) mencapai dua kali lipat dibandingkan pada hari ke-14 (H_{14}). Kondisi lingkungan temperatur, pH, aW dan RH cenderung stabil pada substrat dan ruang penyimpanan selama biokonversi. Terjadi perubahan warna substrat selama biokonversi yang diduga disebabkan peran enzim bakteri dan mendegradasi nutrisi PKMK. Proses biokonversi PKMK untuk pakan maggot ternyata dapat meningkatkan nilai N total dan menurunkan kadar lemak.

SARAN

Perlu dilakukan diidentifikasi jenis bakteri yang diisolasi, perbandingan air dan substrat perlu divariasikan, dan penambahan lamanya waktu biokonversi.

Perlu dilakukan analisis saluran pencernaan maggot untuk mengetahui asosiasi bakteri dan maggot. Perlu Identifikasi konvensional dan biologi molekul dari bakteri yang sudah diisolasi. Perlu diteliti pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan perkembangan maggot.



DAFTAR ACUAN

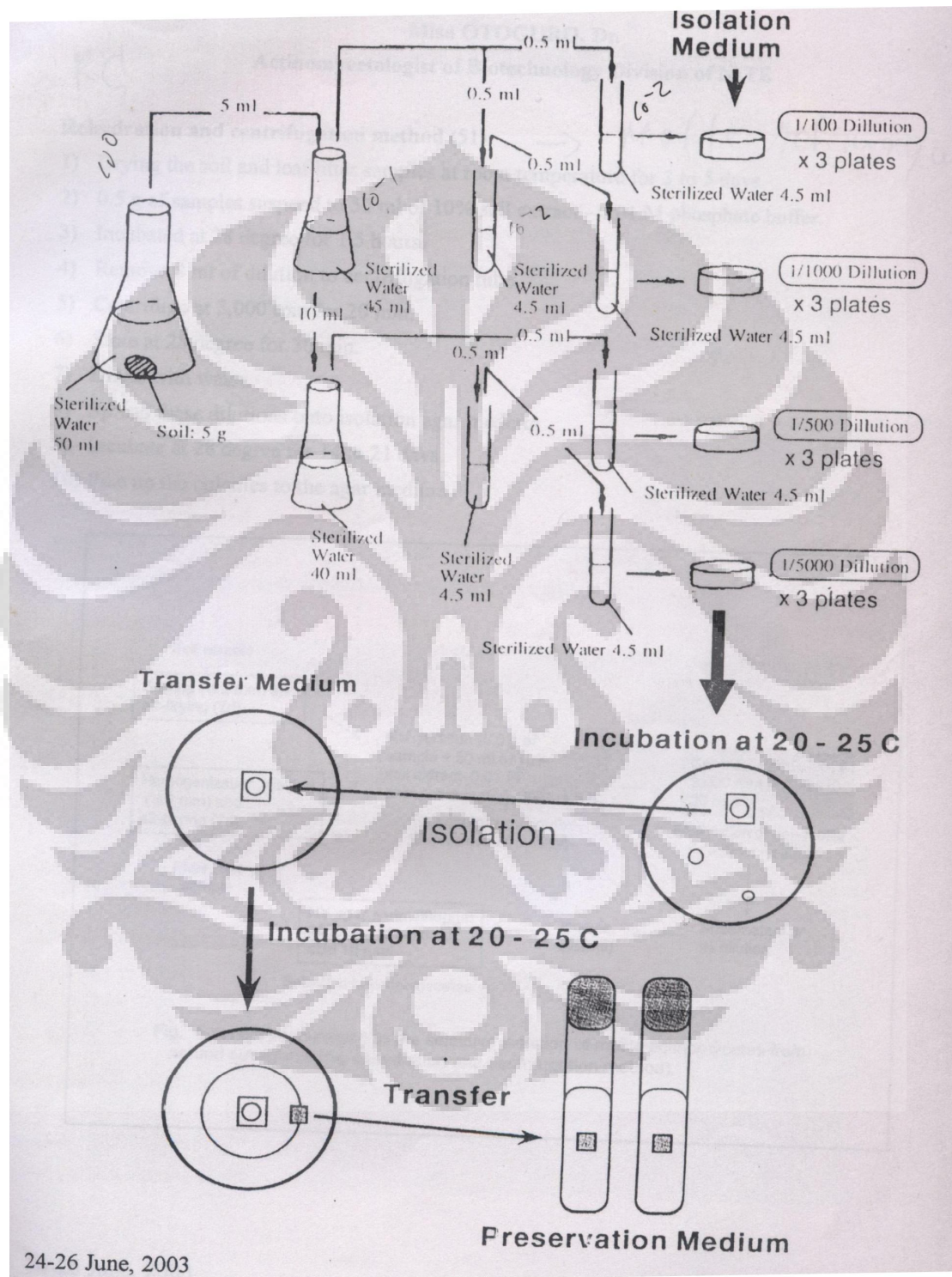
- Arini, N. 2005. *Isolasi dan penapisan mikroba penghasil lipase spesifik 1,3-gliserida serta penentuan kondisi optimum produksi diasilgliserol menggunakan minyak sawit mentah*. Tesis. Universitas Indonesia. 61 hlm.
- Basukriadi, A. 2006. *Interaksi antarpopulasi*. Dalam: Rasidi, S., A. Basukriadi & Tb. M. Ischak. *Ekologi Hewan*. Penerbit Universitas Terbuka, Jakarta: 6.1--6.6. 35 hlm.
- Begon, M., J.L. Harper & C. R. Townsend. 1996. *Ecology: individuals, populations and communities*. 3rd ed. Blackwell Science Ltd., Oxford: xii + 1068 hlm.
- Dillon. R.J., & V.M.Dillion. 2004. *The gut bacteria of insect : nonpathogenic interactions*. *Annual Review Entomol.* 49: 71--92 hlm.
- Douglas. A.E. 2003. *Buchnera bacteria and other symbiosis of aphids*. Dalam: Bourtzis. K., Miller. T.A,eds. *Insect symbiosis*. Boca Rato; CRC Press. 23--38 hlm.
- Düsterhöft E.M. 1993. *Characterization and enzymic degradation of non-starch polysaccharides in lignocellulosic byproducts: a study on sunflower meal and palm-kernel meal*. Wageningen Dissertation Abstracts - WAU dissertation. hlm 1593.
- Harper. 1998. *Biokimia*. Gramedia. Jakarta. 98—108 hlm.

- Crawford, R.L. 1981. *Lignin biodegradation and transformation*. New York: Jhon Wiley and Sons. 56 hlm.
- Harper. 1998. *Biokimia*. Gramedia. Jakarta. 98—108 hlm.
- Hatami, S., H.A. Alikhani, H. Besharati, N. Salehrastn, M. Afrousheh, & Z. Y. Jahromi. 2008. *Investigation on aerobic cellulolytic bacteria in some of north forest and farming soil*. *American-Eurasian. J. Agric. & Environ. Sci.*, **3**(5): 713—716 hlm.
- Henriksson, G., P. Ander, & G. Petersonn. 1995. Cellobiose dehydrogenase (cellobiose oxidase) from *Phanerochaete chrysosporium* as wood-degrading enzyme. Studies on cellulose, xylan and lignin synthetic. *Appl. Microbiol. Biothechnol.* **42**. 792—796 hlm.
- Hem. S, S. Toure, C. Sagabla, & M. Legendre. 2008a. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea). *African Journal of Biotechnology*. **7**(8): 1192-1198.
- Hem, S, M. R. Fahmi, Chumaidi, Maskur, A. Hadadi, Supriyadi, Ediwarman, M. Larue & L. Pouyaud. 2008b. *Valorization of Palm Kernel Meal via Bioconversion*: Indonesia's initiative to address aquafeeds shortage. International Conference on Oil Palm and Environment (ICOPE), 15-16 November 2007, Bali, Indonesia.
- Kitade. O. 2004. Comparison of symbiotic flagellate faunae between termites and a wood. Feeding cockroach of the genus *Cryptocercus*. *Microbes Environ.* **19**: 215—220 hlm.

- Krohne, D.T. 2001. *General ecology*. 2nd ed. Brooks/Cole, Pacific Grove: xvi + 512 hlm.
- Knapp, J.S. 1985. *Biodegradasion of cellulose and lignins*. Dalam: Moo-Young, M.(ed). *Comprehensive Biothechnology*. New York: Pergomon Press. 87 hlm.
- Lestan, D., A. Srancar, & A. Perdi. 1990. Influece of some oil and surfactans on lignolytic actifity, growth and lipid fatty acids of Phanerochaete chrysosporium. *Appl. M gb icrobial Biotech*. 34: 426—428 hlm.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko & J. Parker. 1994. *Brock biology of microorganisms*. 7th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey: xvii + 909 hlm.
- Martin, D. W., P. A. Mayes, & V. W. Rodwel. 1983. *Biokomia*. EGC penerbit buku kedokteran. 19. 678 hlm.
- Madigan, M.T., J.M. Martinko & J. Parker. 1994. *Brock biology of microorganisms*. 7th ed. Prentice Hall, Inc., New Jersey: xvii + 909 hlm.
- Rakhmawati. 2007. *Pola suksesi dan interaksi antara larva Hermetia sp. L. (Diptera, Stratiomyidae) dan larva Musca sp. L. (Diptera, Muscidae) pada bungkil kelapa sawit*. Skripsi. Biologi-MIPA. Universitas Indonesia. Depok.
- Said. E. G., A.A. Darwis, & M. Judoatmidjojo. 1990. *Teknologi biokonversi*. PAU-Biotek. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 333 hlm.
- Smith. J.E. 1990. *Prinsip bioteknologi*. Penerbit Gramedia. Jakarta. 202 hlm.

- Sundu, B. & J. Dingle. 2003. *Use of enzymes to improve the nutritional value of palm kernel meal and copra meal*. Proc. Queensland Poult. Sci. Symp. Australia 11(14): 1--15.
- Prakash, M., K. Rajasekar, & N. Karmegam. 2007. *Bacterial population of raw milk and their proteolytic and lipolytic activities*. Journal of Agriculture and Biological Sciences. 3(6): 848—851 hlm.
- Sukhumavasi, J., K. Ohmiya, M. S-A, & S. Shimizu. 1998. *Conversion of agricultural waste to ethanol and acetic acid by cellulolytic anaerobic bacteria*. School of Agriculture, Nagoya University. Japan. 17 hlm.
- Swick, R.A. 1999. Consideration in using protein meals for poultry and swine. *ASA Technical Bulletin*. 21: 1--11.
- Villi, R.A. & G. Kumaresan. 2008. Incidence of *Pseudomonas* sp. in pasteurized milk. *J. Veterinary & Animal Sciences*. 4(2): 56—59 hlm.
- Winarno. 1998. *Biokimia pangan*. Gramedia. Jakarta. 79—86 hlm.

Lampiran II. 1. Metode isolasi bakteri pada substrat PKM berdasarkan Otoguro 2006 modifikasi.



Lampiran II. 2. Tabel hasil pengukuran parameter lingkungan substrat PKMK

Hasil pengukuran parameter lingkungan substrat PKMK

Hari	Parameter lingkungan substrat							
	Suhu (°C)		pH		Rh (%)		Aw (%)	
	K	P	K	P	K	P	K	P
8	29.3	29.2	5.8	5.8	65.0	65.0	0.7	0.7
9	28.7	28.0	5.7	5.3	52.0	58.0	0.5	0.6
10	28.0	27.3	5.8	5.4	52.0	56.7	0.5	0.6
11	29.0	28.3	5.8	5.5	48.7	51.3	0.5	0.5
12	29.0	28.3	5.8	6.4	48.0	41.0	0.5	0.4
13	28.0	27.3	5.6	5.7	52.7	52.7	0.5	0.5
14	28.0	27.0	5.7	5.5	52.0	53.3	0.5	0.5
15	28.0	27.0	5.5	5.4	53.3	56.0	0.5	0.6
16	28.0	27.0	5.7	5.4	53.3	60.7	0.5	0.6
17	27.0	26.0	5.8	5.7	47.7	55.3	0.5	0.6
18	27.0	27.0	6.1	5.2	23.3	58.0	0.2	0.6
19	26.8	27.0	5.5	5.7	53.7	49.3	0.5	0.5
20	28.0	26.8	5.9	5.2	38.3	55.3	0.4	0.6
21	29.0	28.0	4.8	5.5	64.7	50.7	0.6	0.5

Keterangan : K=Kontrol; P=Perlakuan.

Lampiran II. 3. Hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan PKMK (B).

Hasil pengukuran parameter ruang penyimpanan PKMK

Pengamatan parameter ruang penyimpanan PKMK		
Hari	Parameter yang diukur	
	Suhu (°C)	Rh (%)
8	28	65.0
9	27	64.0
10	27	62.0
11	28	64.7
12	29	65.0
13	27	62.7
14	27	62.0
15	27	65.3
16	27	65.3
17	26	60.7
18	26	60.3
19	25	58.7
20	27	60.3
21	28	60.7

Lampiran II. 4. Hasil pengukuran panjang maggot (A) dan berat maggot (B).

A. Hasil pengukuran panjang maggot (mm)

Hasil pengukuran panjang maggot (mm)						
Hari ke-14 (H14)			Hari ke-21 (H21)			
	max	min	rerata	Max	Min	rerata
P1	11.93	1.50	6.54	20.19	11.98	19.97
P2	9.90	2.29	6.00	19.98	11.87	19.66
P3	10.48	1.25	6.27	20.22	11.96	19.78

B. Hasil pengukuran berat maggot (gram)

Hasil pengukuran berat maggot (gram)						
Hari ke-14 (H14)			Hari ke-21 (H21)			
	Max	Min	rerata	Max	Min	rerata
P1	9.75	6.76	9.15	21.24	16.56	21.08
P2	9.55	6.44	9.05	20.97	15.98	20.06
P3	9.79	6.85	9.22	21.28	16.24	21.02

