

INOVASI TEKNOLOGI DEKOMPOSISI LIMBAH ORGANIK DALAM PENYEDIAAN PAKAN

S. PRAWIRODIGDO dan B. UTOMO

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah, Bukit Tegalepek Sidomulyo, Kabupaten Semarang

(Makalah diterima 16 November 2010 – Revisi 6 Mei 2011)

ABSTRAK

Penelitian-penelitian terdahulu di Indonesia mendokumentasikan adanya suatu indikasi bahwa ovarium yang tidak aktif merupakan masalah reproduksi kronis pada ternak ruminansia. Terdapat suatu tendensi bahwa nutrisi buruk menghambat ovulasi, estrus dan konsepsi pada ternak tersebut. Hal ini berarti bahwa terdapat hubungan antara pengaruh kecukupan nutrisi pakan yang dikonsumsi ternak dan penampilan reproduksinya. Sejalan dengan itu, aplikasi inovasi teknologi produksi/reproduksi untuk meningkatkan produktivitas ternak di pedesaan perlu didukung oleh ketersediaan bahan pakan yang memadai. Sementara itu, untuk memenuhi kebutuhan pakan seringkali terjadi kompetisi di antara ternak ruminansia. Di sisi lain, produksi limbah organik dari industri pangan dan perkebunan potensinya sangat besar. Limbah tersebut di antaranya adalah 4.817.630 ton bahan kering (BK) kulit buah kakao, 314.042,51 ton BK kulit kopi, dan 29.700.000 ton BK pelepah dan daun tanpa lidi kelapa sawit. Bahan tersebut mestinya dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan non-tradisional, tetapi bahan-bahan ini mengandung zat-zat anti nutrisi. Akhir-akhir ini, inovasi teknologi dekomposisi limbah organik untuk mengatasi masalah ini sudah banyak diuji. Hasil evaluasi memberikan bukti bahwa validitas teknologi tersebut memuaskan dan teknologi dapat diterapkan. Mengingat masalah keterbatasan pakan tradisional, maka dapat disimpulkan bahwa introduksi inovasi teknologi dekomposisi limbah organik diperlukan dalam penyediaan pakan untuk meningkatkan produktivitas ternak.

Kata kunci: Teknologi dekomposisi, limbah organik, produktivitas, ruminansia

ABSTRACT

TECHNOLOGY INNOVATION OF ORGANIC WASTE DECOMPOSITION IN PROVIDING FEEDSTUFFS

Previous investigations in Indonesia indicated that an inactive ovary was a chronically reproduction problem in ruminants. There was a tendency that nutrition deficiency inhibited ovulation, oestrus occurrence, and conception in ruminants. Obviously, there is a correlation between sufficient nutrient consumption and reproduction performance of such animals. Thus, application of the production/reproduction technology innovation for improving ruminant's productivity in the villages needs to be supported by the availability of sufficient feed. Whilst, there is a competition among ruminants in fulfilling feed requirement. On the other hand, there are large amounts of organic waste of food and plantation estate industries which are potential for non-traditional feedstuffs. The examples of such organic wastes are: 4,817,630 ton dry matter (DM) of cacao pod, 314,042.51 ton DM of coffee pulp and hulls, and 29,700,000 ton DM of palm frond, leaves and trunks. Unfortunately, such materials contain anti-nutritive substance. Nevertheless, technology innovation for decomposing organic waste is available and its validity has been proven to be satisfactory and appropriate. Regarding the limitation of feedstuffs, introduction of technology innovation for organic waste decomposition to provide feed for improving livestock productivity is promising to be applied.

Key words: Decomposition technology, organic waste, productivity, ruminants

PENDAHULUAN

Hasil penelitian terdahulu memberikan indikasi bahwa nutrisi buruk berpotensi menghambat ovulasi, estrus dan konsepsi pada ternak (MAHYUDIN *et al.*, 1995). Berdasarkan hasil eksplorasi lapang di daerah Kabupaten Boyolali, UTOMO dan PRAWIRODIGDO (2009) menegaskan bahwa aplikasi inovasi teknologi reproduksi ternak kerbau perlu dilakukan secara simultan dengan perbaikan kualitas pakannya.

Konsisten dengan hasil penelitian SUDARYANTO *et al.* (2009), UTOMO dan PRAWIRODIGDO (2010) juga menyatakan, bahwa rendahnya penampilan reproduksi induk dan pertumbuhan anak ternak sapi potong di beberapa daerah di Jawa Tengah (Boyolali, Blora, Klaten, Pati, Rembang, Semarang dan Sragen) disebabkan oleh kuantitas dan kualitas pakan yang rendah. Meskipun terjadi surplus bahan pakan di kantong bibit sapi potong Grobogan, namun proporsinya didominasi oleh jerami padi dan *tebon*

jagung (PRAWIRODIGDO dan UTOMO, 2010) yang tentu saja kualitas nutriennya rendah (HARTADI *et al.*, 1997).

Pada prinsipnya untuk hidup pokok, pertumbuhan, produksi dan reproduksi, hewan memerlukan zat nutrien (TILLMAN *et al.*, 1998) sesuai dengan jenis, bangsa, umur dan status fisiologisnya. Berbagai informasi ilmiah tersebut dapat disimpulkan, bahwa aplikasi inovasi teknologi produksi dan/atau reproduksi untuk meningkatkan produktivitas ternak di pedesaan perlu didukung oleh ketersediaan bahan pakan yang memadai.

Umumnya limbah organik padat yang digunakan untuk bahan pakan ternak ruminansia di Pulau Jawa adalah limbah pertanian. PRAWIRODIGDO *et al.* (2009a) melaporkan bahwa biasanya, jenis limbah pertanian yang tersedia dan diberikan pada ruminansia sehari-hari di pedesaan adalah jerami padi (*Oryza sativa* Linn), *tebon* jagung (*Zea mays*), *brangkasan* kedelai (*Glycine soya* Max), *brangkasan* kacang hijau (*Phaseolus radiatus* Linn), *rendeng* kacang tanah (*Arachis hypogea* Linn), dan pucuk tebu (*Saccharum officinale*). Namun, jerami/hasil sampingan tanaman pangan yang produk utamanya sudah dipanen, kandungan nutrien dan daya-cernanya rendah.

Di Indonesia terdapat berbagai limbah tanaman pangan yang volumenya sangat besar, yaitu hasil samping dari perkebunan dan sayuran yang sampai saat ini pemanfaatannya untuk bahan pakan ternak belum intensif. Walaupun demikian bahan dari limbah industri perkebunan mengandung zat-zat antinutrisi (contoh: *Gossypol*, *Tannin*, *Cyclopropenoid*, dan serat kasar konsentrasi tinggi). Sementara itu, limbah sayuran dalam keadaan segar kadar airnya sangat tinggi sehingga proporsi nutriennya rendah, tidak dapat disimpan lama, mengandung substansi antinutrisi (contoh: *glucosinolates*), dan transportasinya perlu biaya relatif besar. Di sisi lain, para peneliti (ALEXANDER, 1977; POLPRASERT, 1996; GUNADI *et al.*, 1998; HARYANTO *et al.*, 1998; PRAWIRODIGDO *et al.*, 2007) melaporkan bahwa proses dekomposisi limbah organik secara anaerobik dan aerobik mampu memecah jaringan kompleks dan mengeliminasi sebagian air maupun substansi antinutrisi yang terkandung di dalam limbah tersebut.

Makalah ini mendiskusikan peluang pemanfaatan limbah industri tanaman pangan/perkebunan sebagai solusi terapan dalam mengatasi kesulitan pengadaan pakan ternak ruminansia, dan pentingnya implementasi inovasi teknologi dekomposisi limbah organik sebagai suatu strategi penyediaan pakan alternatif di Indonesia.

POTENSI LIMBAH INDUSTRI PERKEBUNAN

Kesulitan pengadaan bahan pakan ternak ruminansia (sapi, kerbau, kambing dan domba) pada musim kemarau merupakan masalah kronis yang selalu dan sudah terjadi bertahun-tahun (PRAWIRODIGDO *et*

al., 2005). Di lain pihak, limbah organik yang berasal dari produk hortikultura dan hasil pertanian lainnya merupakan masalah serius di setiap kota besar di Indonesia. Hingga saat ini masalah tersebut belum mendapat solusi efektif. SIHOMBING *et al.* (1981) mencoba mengatasi masalah sampah organik dari pasar Kota Bogor dengan mengembalakan ternak sapi, kerbau, dan babi di terminal pembuangan sampah (TPS). Kegiatan tersebut tidak dilanjutkan karena sebagian ternaknya mati, namun SIHOMBING *et al.* (1981) tidak melaporkan penyebab kematiannya.

Kesulitan pengadaan pakan ternak ruminansia ternyata juga telah mendorong petani/peternak di daerah Kabupaten Boyolali dan Kota Madya Semarang untuk mengembalakan ternaknya di TPS. Masalah yang dihadapi adalah, bahwa sampah organik yang dibuang di TPS ternyata terkontaminasi oleh berbagai jenis materi yang diduga mengandung unsur toksik dari logam berat. ARIFIN *et al.* (2005) mengkonfirmasi bahwa daging ternak sapi yang digembalakan di TPS Kodya Semarang, Jawa Tengah mengandung logam berat berbahaya bagi kesehatan masyarakat yang mengkonsumsi daging tersebut.

Secara keseluruhan, kondisi-kondisi demikian berpotensi menghambat upaya swasembada daging ruminansia, yang tentunya perlu solusi sedini mungkin. ORSKOV (2000; komunikasi pribadi) menyarankan agar pemenuhan kebutuhan pakan dalam upaya meningkatkan produksi ternak di Indonesia, sebaiknya lebih mengutamakan pemanfaatan limbah pertanian domestik. Sehubungan dengan itu, perlu dilakukan penanganan berbagai limbah organik agar kualitas dan keamanan penggunaannya memenuhi standar sebagai bahan pakan.

Limbah organik di Indonesia yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan dalam susunan pakan ternak ruminansia di antaranya adalah limbah industri perkebunan kakao, limbah industri perkebunan kopi, limbah industri perkebunan nanas, limbah industri perkebunan kelapa sawit, dan limbah sayuran. Pemanfaatan limbah tersebut untuk bahan pakan ternak sapi potong (ANGGRAENI *et al.*, 2006) dan ternak ruminansia kecil (GUNTORO *et al.*, 2004; PRAWIRODIGDO *et al.*, 2005) sudah pernah dilaporkan. Paling tidak hasil-hasil penelitian terdahulu ini dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan untuk investigasi lebih lanjut tentang pemanfaatan limbah organik sebagai bahan pakan untuk ternak ruminansia. Berikut adalah telaah ringkas hasil-hasil penelitian tentang pemanfaatan limbah organik tersebut untuk bahan pakan ternak ruminansia.

Limbah industri perkebunan coklat

Tanaman kakao (*Theobroma cacao* Linn) adalah salah satu komoditi ekspor Indonesia yang mempunyai

kontribusi cukup besar terhadap devisa negara (BAKRIE *et al.*, 1995). Oleh karena itu, akhir-akhir ini pengembangan tanaman kakao lebih diperluas di Indonesia (KUSWANDI dan INOUNU, 2009). Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah tanaman kakao di Indonesia sangat potensial untuk bahan pakan ternak (SUTIKNO *et al.*, 1994; ZAINUDDIN dan HERNOMOADI, 1995; KUSWANDI dan INOUNU, 2009). SUTIKNO *et al.* (1994) melaporkan bahwa proporsi kulit buah kakao (KBK) adalah 70% dari buah segar. Sementara, hasil penelitian di Puslit Kakao Indonesia menunjukkan bahwa KBK mengandung bahan kering 74% (WIDYOTOMO, 2006 yang disitasi KUSWANDI dan INOUNU, 2009). Kulit buah kakao ini merupakan salah satu limbah industri perkebunan kakao yang dapat digunakan untuk bahan pakan. Selanjutnya, KUSWANDI dan INOUNU (2009) memprediksi bahwa pada tahun 2010 Indonesia menghasilkan 2.833.800 ton KBK. Berdasarkan prediksi tersebut maka dapat diperkirakan bahwa pada tahun 2010 tersedia 2.097.012 ton bahan kering KBK. Diasumsikan bahwa rata-rata kebutuhan bahan kering untuk ternak ruminansia besar betina dewasa berbobot antara 200 – 350 kg adalah 6,5 kg/ekor/hari (MCDONALD *et al.*, 1992). Berdasarkan kecukupan konsumsi bahan kering tersebut, dalam tahun 2010 produksi KBK dapat memenuhi kebutuhan bahan kering untuk 883.882 ekor ternak ruminansia besar. Walaupun demikian, pemanfaatan KBK sebagai bahan pakan ternak tidak leluasa karena mengandung faktor-faktor pembatas. Faktor-faktor tersebut di antaranya adalah: (a) terdapatnya substansi *theobromin*; (b) dalam keadaan segar kandungan proteinnya rendah; dan (c) mengandung fraksi lignoselulosa cukup tinggi (SUTIKNO *et al.*, 1994; ZAINUDDIN dan HERNOMOADI, 1995; HANSEN, 2003 yang disitasi KUSWANDI dan INOUNU, 2009).

Hasil penelitian BAKRIE *et al.* (1995) menunjukkan bahwa penggunaan KBK dalam ransum sapi Peranakan Ongole hingga 15% (berbasis bahan kering) ternyata mengurangi pencernaan bahan kering, protein kasar, dan energi pakan. Namun ketika konsentrasi bahan ini ditingkatkan menjadi 30%, perbedaan pengaruhnya dengan introduksi 15% tidak berarti. Secara keseluruhan, BAKRIE *et al.* (1995) tidak menemukan alasan kuat yang menyebabkan depresi pencernaan nutrisi pada penelitian ini. KUSWANDI dan INOUNU (2009) melaporkan bahwa *theobromin* dapat menghambat pencernaan nutrisi dalam usus ruminansia, sehingga wajar kalau pencernaan pakan mengandung KBK yang ditemukan pada penelitian BAKRIE *et al.* (1995) lebih rendah dari pada pakan tanpa bahan tersebut. Di sisi lain, sifat toksik *theobromin* diduga mengakibatkan terlepasnya lapisan dalam dinding usus sapi sehingga menimbulkan bias data hasil penelitian BAKRIE *et al.* (1995) ketika evaluasi daya cerna pakan dilakukan menggunakan

metode koleksi total *faecal digesta*. Pada kesempatan yang sama, ZAINUDDIN dan HERNOMOADI (1995) menyatakan bahwa *theobromin* (3,7 *dimethyl xanthine*) adalah senyawa alkaloid yang berpotensi mengganggu mekanisme aktivitas kelenjar thyroid sehingga menghambat pertumbuhan ternak. Oleh karena itu, perlu dilakukan rekayasa teknologi pakan untuk meningkatkan kualitas nutrisi KBK, sehingga nilai manfaatnya tinggi (KUSWANDI dan INOUNU, 2009).

Limbah industri perkebunan kopi

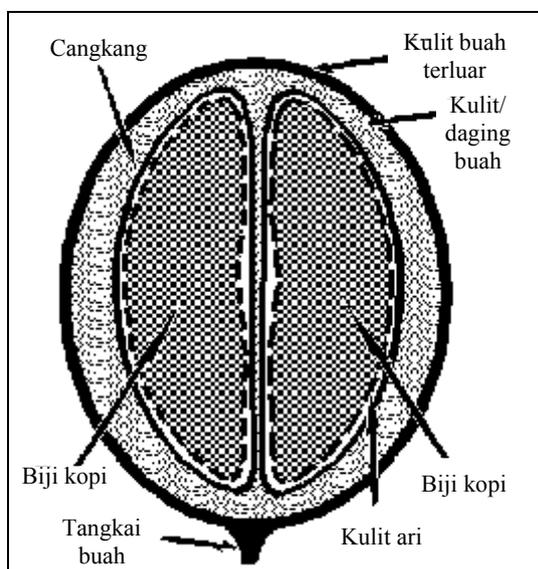
Menurut BPS (2010), produksi kopi (*Coffea canephora*) di Indonesia adalah 704.700 ton biji *wosé* (*Coffee bean*). Berdasarkan rumus dari hasil penelitian (BRESSANI *et al.*, 1979 yang dikutip oleh PRAWIRODIGDO, 2009a), maka estimasi produksi kulit kopi yang terdiri dari campuran antara kulit buah dan cangkang kopi (*coffee pulp + hulls*) adalah 366.444 ton kering udara. Kulit kopi ini mengandung 314.042,51 ton bahan kering dengan proporsi protein kasar 35.800,846 ton. Artinya, apabila faktor-faktor pembatas yang terkandung di dalamnya diabaikan, maka ditinjau dari eksistensi bahan kering kulit kopi saja, di Indonesia pada tahun tersebut tersedia bahan pakan untuk menggemukkan 40.262 ekor sapi atau kerbau selama satu periode penggemukan (4 bulan). Sampai sekarang pemanfaatan kulit kopi untuk bahan pakan ternak di Indonesia belum intensif, padahal jauh sebelumnya CABEZAS *et al.* (1979) telah menemukan bahwa kulit kopi (*pulp*) dapat diintroduksi dalam ransum sapi hingga 40%.

Pada umumnya, di pedesaan Indonesia (contohnya di daerah Kabupaten Temanggung, Provinsi Jawa Tengah), proses memisahkan biji kopi *wosé* dari kulitnya menggunakan teknologi yang mengakibatkan tercampurnya *coffee pulp* dengan *coffee hulls* sehingga menjadi pembatas dalam penggunaannya untuk bahan pakan (PRAWIRODIGDO, 2009a). Fraksi-fraksi yang menjadi komponen penyusun campuran *coffee pulp* dan *coffee hulls* lengkap dengan komposisi substansinya secara mendalam telah didiskusikan pada makalah terdahulu (PRAWIRODIGDO, 2009a). PRAWIRODIGDO (2009a) menerangkan bahwa kulit kopi terdiri dari (1) kulit buah (*coffee pulp*); (2) daging buah (*mucilage*); dan (3) kulit biji atau tempurung (*coffee hulls*) Ilustrasi bagian buah kopi yang menjadi limbah industri biji kopi ditunjukkan dalam Gambar 1.

Di dalam penerapannya ternyata pemanfaatan kulit kopi untuk komponen pakan ternak ruminansia juga memiliki hambatan. ELIAS (1979) yang dikutip oleh PRAWIRODIGDO (2009a) memberikan *highlight* bahwa per kg *coffee pulp* mengandung 18 – 85 g *tannin*, 175 g lignin, dan 177 g selulosa, sedangkan *coffee hulls* mengandung 244 g lignin/kg. Secara umum telah dipahami bahwa *tannin* dan lignin merupakan zat

antinutrisi yang mengganggu pencernaan ternak sehingga mengakibatkan rendahnya efisiensi penggunaan nutrisi yang terkandung di dalamnya.

Berdasarkan data empiris dari suatu seri penelitian diperoleh informasi bahwa introduksi kulit kopi tanpa diproses dalam pakan ternak domba jantan yang digemukkan, toleransi maksimumnya adalah 100 g/ekor/hari (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2005). Pada proporsi ini rata-rata pertambahan bobot badan yang dapat dicapai adalah 69 g/hari. Tampaknya eksistensi substansi antinutrisi di dalam kulit kopi merupakan penyebab utama yang menentukan konsumsi pakan yang kemudian berpengaruh terhadap tingkat pertumbuhan ternak domba. Konsisten dengan kasus hambatan pemanfaatan KBK, maka implementasi inovasi teknologi pengolahan kulit kopi untuk bahan pakan ternak perlu dilakukan.



Gambar 1. Skema potongan membujur buah kopi (*coffee berry*) yang menunjukkan fraksi-fraksi komponen kulit/daging buah dan cangkang (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2009b)

Limbah industri perkebunan nanas

Industri perkebunan nanas produk utamanya adalah buah nanas yang digunakan sebagai bahan baku industri pengalengan buah dan *juice* nanas. Pabrik-pabrik pengalengan buah nanas tersebar di seluruh dunia dan ada yang terdapat di negara-negara Asia termasuk Indonesia. Meskipun daun nanas berpotensi untuk bahan pakan ternak, namun kulit dan ampas perasan buah sebagai limbah industri pengalengan dan *juice* buah nanas lebih menarik perhatian untuk dimanfaatkan sebagai bahan pakan non-tradisional. MULLER (1980) bahkan telah menggunakan limbah industri pengalengan buah nanas secara intensif sebagai komponen pakan sapi.

HARTADI *et al.* (1997) melaporkan bahwa limbah organik yang terdapat pada industri pengalengan buah nanas terdiri dari kulit dan sumbu buah nanas. GINTING *et al.* (2005a; b; 2007) konsisten mendeskripsikan bahwa limbah organik dari industri *juice* buah nanas yang berpotensi untuk bahan pakan ternak ruminansia adalah kulit dan ampas sisa perasannya. Informasi tentang kualitas kedua macam limbah tersebut tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Profil nutrisi (g/kg) limbah industri sari buah dan pengalengan buah nanas

Komponen	Jenis	
	Limbah industri pengalengan buah nanas ¹	Limbah industri sari buah nanas ²
Bahan kering	120	542
Abu	5	81
BETN	89	dt
Lemak kasar	dt	35
Protein kasar	4	35
Serat Kasar	17	197
Energi (EM, MJ/kg)	1,26	dt

BETN: Bahan ekstrak tanpa nitrogen; EM: Energi metabolis; MJ: Mega Joule; dt: data tidak tersedia

Sumber: ¹HARTADI *et al.* (1997); ²GINTING *et al.* (2005a)

Lebih lanjut, GINTING *et al.* (2005a) melaporkan hasil penelitian bahwa substitusi rumput Raja dengan ampas nanas secara bertahap dari 25% hingga 100% sebagai komponen ransum ternak kambing kacang jantan periode pertumbuhan tidak mempengaruhi konsumsi pakan maupun rata-rata pertambahan bobot hidupnya. Tetapi ditemukan bahwa nilai konversi pakan pada ternak yang mendapat substitusi antara 25 – 75% lebih buruk dibandingkan dengan yang 100% porsi rumputnya digantikan oleh ampas nanas. Dalam penelitian ini tidak dijelaskan kemungkinan penyebab perbedaan nilai konversi tersebut.

Buah nanas mengandung gula, asam-asam buah (*fruit acids*) dan *bromelin* (HILL, 1952), serta *papain* dan *ficin* (LIENER dan KAKADE, 1980). LIENER dan KAKADE (1980) menambahkan bahwa *bromelin*, *papain*, dan *ficin* adalah substansi *protease inhibitor*. Berdasarkan informasi tersebut dapat disimpulkan bahwa sangat logis apabila pemberian kulit maupun ampas perasan buah nanas pada ternak menghambat pencernaan dan metabolisme nutrisi pakan, sehingga berakibat negatif pada nilai konversi pakan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah buah nanas secara intensif perlu implementasi inovasi teknologi yang mampu mengeliminasi faktor antinutrisi yang terkandung di dalamnya.

Limbah industri perkebunan kelapa sawit

Di Indonesia, industri perkebunan kelapa sawit (IPKS) yang produk utamanya minyak kelapa sawit (*crude palm oil*, CPO) merupakan salah satu industri andalan penghasil devisa negara. Tanaman perkebunan ini dibudidayakan secara meluas di Pulau Sumatera dan Kalimantan. Disamping produk utamanya, IPKS juga menghasilkan limbah yang potensial untuk bahan pakan. Menurut MATHIUS (2008), IPKS memproduksi enam macam limbah organik yang dapat dimanfaatkan untuk komponen pakan ternak ruminansia. Limbah organik tersebut mengandung nutrien yang proporsinya tertera pada Tabel 2.

Menurut estimasi MATHIUS (2009), produksi pelepah dan daun-tanpa-lidi kelapa sawit yang dapat dimanfaatkan setiap tahun masing-masing adalah 26,4 juta ton dan 3,3 juta ton bahan kering. Sedangkan limbah pengolahan buah yang tersedia setiap tahun masing-masing adalah: 5,7 juta ton lumpur sawit, 2,6 juta ton bungkil inti sawit, 13,6 juta ton ampas perasan, dan 17,14 juta ton tandan kosong.

AZMI dan GUNAWAN (2005) dalam mengevaluasi pemanfaatan limbah organik dari industri IPKS untuk komponen pakan sapi Bali jantan, berpendapat bahwa pakan yang tersusun dari 55% pelepah kelapa sawit, 30% rumput, dan 15% lumpur sawit mampu memperbaiki rata-rata pertambahan bobot hidup hingga 51,4%. Meskipun demikian apabila dibandingkan dengan potensi pertumbuhan sapi Bali ($> 0,66$ kg/hari), rata-rata pertambahan bobot sapi (0,353 kg/hari) yang dicapai dalam penelitian AZMI dan GUNAWAN (2005) tidak memuaskan. Tampaknya keberadaan serat kasar dalam limbah IPKS merupakan faktor penghambat dominan yang berpengaruh pada pencernaan pakan, sehingga menekan tingkat pertumbuhan ternak. Oleh karena itu, seperti limbah organik dari perkebunan lainnya, untuk pemanfaatan intensif limbah IPKS juga perlu diolah sehingga pemanfaatannya lebih tinggi.

Limbah industri tanaman sayuran

Budidaya tanaman sayuran berkembang hampir di seluruh wilayah Indonesia, terutama di daerah dataran tinggi. Keseluruhan tanaman sayuran di daerah tersebut umumnya dari genus *Brassica*. TOOKEY *et al.* (1980) menyatakan bahwa *Brassica* adalah bagian dari kelompok *Cruciferae* yang dikonsumsi sebagai tanaman pangan. Sayuran tersebut mengandung air yang proporsinya sangat tinggi, sehingga limbahnya bersifat *voluminous (bulky)*. Oleh karena itu, kalau dalam kondisi segar limbah sayuran digunakan untuk pakan, maka nutrien yang dapat dikonsumsi ternak sedikit karena kapasitas lambungnya terbatas. Sifat lainnya, limbah ini mudah membusuk dengan menimbulkan bau busuk sangat menyengat yang mengakibatkan polusi udara maupun air tanah. Palatabilitas ternak ruminansia terhadap materi ini rendah dan bahkan tidak mau mengkonsumsi sama sekali. Pada musim kemarau biasanya limbah sayuran kelompok *Brassica* (contoh kobis) menjadi pengganti pakan hijauan rumput.

Di Indonesia, informasi hasil penelitian penggunaan limbah sayuran segar secara langsung (tanpa diproses) untuk pakan ternak sangat sedikit. SIHOMBING *et al.* (1981) adalah kelompok peneliti pioner yang melakukan percobaan langsung di TPS yang materinya mengandung limbah sayuran, tetapi seperti yang telah dilaporkan bahwa penggembalaan ternak di TPS sangat berisiko bagi kesehatan ternak dan manusia yang mengkonsumsi produk ternak tersebut (ARIFIN *et al.*, 2005).

Di dalam percobaan pakan untuk ternak kelinci ditemukan bahwa pertumbuhan ternak yang memperoleh ransum berbasis limbah sayuran dan buah-buahan lebih baik dibandingkan dengan ternak yang di dalam pakannya ditambah dedak padi (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2004). Walaupun demikian, karena pakan diberikan dalam bentuk pelet, maka limbah sayuran

Tabel 2. Profil nutrien limbah organik asal kelapa sawit

Jenis limbah	Proporsi (g/kg berbasis bahan kering)							Energi total (MJ/kg)
	Bahan kering	Protein kasar	Serat kasar	Lemak kasar	Abu	Ca	P	
Ampas perasan	931,1	62,0	481,0	32,2	59,0	dtf	dtf	19,598
Bungkil inti sawit (<i>palm kernel cake</i>)	981,3	163,3	366,8	64,9	41,4	5,6	8,4	21,665
Lumpur sawit (<i>palm oil sludge</i>)	240,8	145,8	358,8	147,8	144,0	10,8	2,5	17,790
Daun tanpa lidi (<i>leaves</i>)	461,8	141,2	215,2	43,7	134,0	8,4	1,7	18,665
Pelepah (<i>fronds</i>)	260,7	30,7	509,4	10,7	51,0	9,6	0,8	20,255
Tandan kosong	921,0	37,0	479,3	47,0	78,9	2,4	0,4	14,088

MJ: Mega Joule; dtf: data tidak tersedia

Sumber: MATHIUS (2008)

yang digunakan dikeringkan dan digiling terlebih dahulu. Hambatan dalam penerapan teknologi pakan yang demikian adalah biaya pengolahan bahan tinggi. Ironisnya, limbah sayuran justru tersedia dalam volume besar pada musim penghujan yang konsekuensinya pengeringan dengan panas matahari terhambat.

TOOKEY *et al.* (1980) menambahkan bahwa jenis tanaman kelompok *Brassica* semuanya memiliki substansi toksik yang disebut *glucosinolat* yang mengakibatkan gangguan pada *thyroid* sehingga berpotensi menghambat pertumbuhan ternak yang mengkonsumsi tanaman tersebut dalam kondisi segar. Memperhatikan kondisi ini, maka inovasi teknologi pengolahan limbah sayuran terapan untuk pakan ternak perlu diimplementasikan agar pemanfaatannya dalam proporsi tinggi tidak menghambat pertumbuhan ternak.

APLIKASI INOVASI TEKNOLOGI DEKOMPOSISI LIMBAH ORGANIK

Secara luas telah dipahami bahwa timbunan limbah organik segar yang tidak dikelola dengan baik berpotensi terkontaminasi oleh mikroba-mikroba yang dapat menimbulkan penyakit pada ternak dan manusia. Ditinjau dari kepentingan solusi masalah limbah organik yang menjadi sampah, sebenarnya limbah tersebut dapat diproses menjadi pupuk untuk menyuburkan tanah. Namun karena materi ini juga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pakan, maka prosedur daur-ulangnya perlu diperpanjang yaitu diproses terlebih dahulu dengan mesin biologis berupa ternak, baru kemudian dibuat pupuk kompos. Perpanjangan jalur daur-ulang tersebut tidak hanya mempercepat proses pembentukan pupuk organik karena dekomposisi materi berupa kotoran ternak lebih cepat dari pada dalam bentuk limbah tanaman langsung, tetapi juga membantu pengadaan protein hewani untuk konsumsi manusia dengan menggunakan biaya pakan murah.

Memperhatikan kebutuhan ternak, prinsipnya pertimbangan utama formulasi pakan ternak ruminansia adalah pemenuhan kebutuhan bahan kering, protein tercerna, energi metabolis, serat, dan vitamin-mineral. Kebutuhan tersebut perlu terpenuhi secara seimbang setiap hari sesuai status fisiologis ternak. Dalam hal ini pengertian seimbang adalah bahwa ternak setiap hari perlu mendapatkan pakan yang mengandung nutrisi sesuai kebutuhan. Sejalan dengan itu, pemberian pakan yang kadar airnya rendah lebih menjamin ternak untuk memperoleh nutrisi sesuai kebutuhan. Sebaliknya, pakan berkadar air tinggi tidak dapat memenuhi kebutuhan ternak, karena untuk memenuhi zat gizi secara cukup, ternak harus mengkonsumsi pakan tersebut dalam volume besar. Hal ini tidak mungkin karena kapasitas lambung ternak terbatas.

Berpedoman pada pengetahuan ini, terutama dalam upaya mengeliminasi sebagian besar kandungan air di dalam limbah organik segar, MÜLLER (1980) berpendapat bahwa cara yang paling tepat adalah melalui perlakuan fermentasi. Eliminasi air yang terkandung dalam limbah organik melalui proses pengeringan memang dapat dilakukan, tetapi teknologi ini dibatasi oleh intensitas cahaya matahari, memerlukan tenaga banyak yang konsekuensinya juga perlu biaya besar, dan berisiko terhadap kemungkinan kontaminasi oleh bakteri-bakteri patogen di dalam limbah organik. Dalam hal ini, penggunaan alat-alat pengering (mekanis) tampaknya juga tidak terapan karena memerlukan sumber energi yang dari sisi analisis finansial tidak ekonomis.

Kelebihan dari teknologi fermentasi adalah: (a) Mampu mengurangi kadar air limbah organik dalam volume besar (POLPRASERT, 1996); (b) Mampu mengurai (dekomposisi) jaringan kompleks pada limbah organik sehingga meningkatkan daya-cerna dan nilai manfaat nutriennya (MULLER, 1980; LENG, 1991); (c) Dekomposisi aerobik dapat menonaktifkan atau bahkan membunuh bakteri-bakteri patogen yang terdapat di dalam materi yang sedang diinkubasikan (MULLER, 1980; LENG, 1991; POLPRASERT, 1996); dan (d) Tenaga dan biaya (kecuali pengadaan peralatan dan perlengkapan awal) yang diperlukan relatif lebih sedikit.

Percobaan pengolahan limbah organik yang telah dilakukan adalah penyemprotan (perendaman) dengan sodium hidroksida, larutan urea (amoniasi), dan dekomposisi/fermentasi menggunakan *biodecomposer* (kapang dan mikroba). Berikut ini disampaikan contoh hasil-hasil penelitian pengolahan limbah organik dari industri perkebunan kakao, kopi, nanas, kelapa sawit, dan sayuran.

Pengolahan kulit dan daging buah kakao

Penelitian pengolahan kulit dan daging buah kakao serta evaluasi peningkatan daya-cernanya untuk ternak ruminansia telah dilakukan dalam skala laboratoris oleh SUTIKNO *et al.* (1994). Dilaporkan bahwa fermentasi menggunakan kapang *Aspergillus niger* selama dua sampai empat hari masing-masing mampu meningkatkan kadar protein kasar sebesar 57 dan 83% dari kadar protein kasar pada materi yang tidak difermentasikan. Kenaikan tersebut juga lebih tinggi dari kenaikan kadar protein (42 dan 65%, masing-masing untuk fermentasi selama dua dan empat hari) yang diperoleh dalam inkubasi kulit dan daging buah coklat menggunakan kapang *Neurospora sitophyla*. Berdasarkan hasil uji pencernaan *in vitro*, SUTIKNO *et al.* (1994) menyatakan bahwa proses fermentasi mampu meningkatkan daya cerna *pod*

coklat menjadi 60 sampai 61%. Namun demikian, implementasi teknologi tersebut dalam kapasitas besar (ekstensif) memerlukan kapital yang besar pula, karena prosedur yang diterapkan memerlukan peralatan tidak sederhana yang tampaknya tidak terjangkau oleh pengguna di pedesaan. Sehubungan dengan itu, penelitian-penelitian serupa yang dapat mengembangkan teknologi SUTIKNO *et al.* (1994) dan bersifat lebih terapan akan sangat berguna.

Pengolahan kulit kopi

Data empiris hasil penelitian kami menunjukkan bahwa dekomposisi aerobik terhadap kulit kopi dapat mengeliminasi *tannin* yang terkandung hingga 58% (dari 1651,82 menjadi 694,29 mg/100 g; PRAWIRODIGDO *et al.*, 2007). Dalam implementasinya sebagai salah satu komponen diit penggemukan ternak domba, volume kulit kopi fermentasi yang dapat dicampurkan adalah maksimum 200g/ekor/hari. Pada proporsi itu, pertambahan bobot badan yang dicapai oleh ternak domba lokal jantan pada periode pertumbuhan adalah 101 g/hari (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2007). Hasil penelitian tersebut belum memuaskan karena konsentrasi lignin di dalam kulit kopi yang difermentasi tidak tereduksi sama sekali (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2007; PRAWIRODIGDO, 2009b). Walaupun demikian, paling tidak hasil penelitian ini menambah bukti pernyataan MÜLLER (1980) dan LENG (1991) bahwa fermentasi limbah organik tertentu dapat meningkatkan nilai manfaatnya.

Hasil penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa inovasi teknologi dekomposisi aerobik perlu diimplementasikan dalam mengolah kulit kopi untuk mengeliminir sebagian besar antinutrisi yang terkandung di dalamnya, sehingga nilai manfaatnya

menjadi lebih tinggi (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2007). Pada prinsipnya, standar operasional prosedur dekomposisi aerobik kulit kopi yang diterapkan dalam penelitian tersebut seperti yang tercantum di dalam Tabel 3.

ALEXANDER (1977) menyatakan bahwa dekomposisi lignin dipengaruhi oleh kondisi anaerobiosis. Disamping itu, ALEXANDER (1977) menambahkan bahwa durasi proses dekomposisi dan jenis *biodecomposer* juga menentukan keberhasilan upaya dekomposisi lignin. Secara alami pelapukan lignin dari kayu di hutan-hutan memerlukan waktu sekitar 6 bulan (ALEXANDER, 1977), tetapi akhir-akhir ini telah berkembang bioteknologi yang berguna untuk mengembang-biakkan *biodecomposer* yang dapat mempercepat proses pelapukan limbah organik (GUNADI *et al.*, 1998).

Meskipun demikian, hingga saat ini informasi tentang hasil-hasil penelitian lebih mendalam tentang upaya dekomposisi lignin pada kulit kopi yang memuaskan belum tersedia. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih mendalam untuk mengevaluasi pengaruh penerapan kombinasi teknologi dekomposisi anaerobik dan aerobik terhadap reduksi konsentrasi substansi antinutrisi dalam kulit kopi.

Pengolahan kulit dan ampas perasan buah nanas

Hasil studi pustaka memberikan ilustrasi bahwa informasi ilmiah tentang pengolahan limbah industri buah nanas di Indonesia sangat terbatas. GINTING *et al.* (2007) mengevaluasi proses pembuatan silase kulit nanas menggunakan bahan aditif urea, tapioka, molases, dan inokulum *lactobacillus* untuk komponen pakan dasar kambing persilangan Boer x Kacang periode pertumbuhan. Hasilnya menunjukkan bahwa

Tabel 3. Standar operasional prosedur dekomposisi aerobik kulit kopi

Tahap	Aktivitas
I.	a. Persiapan alat dan perlengkapan berupa suatu ruangan dalam bangunan, kotak inkubasi, timbangan, ember plastik, <i>sprayer</i> , alat pengaduk, air, dan <i>molasses</i> (<i>têtès</i> tebu) b. Penyiapan bahan berupa kulit kopi hasil seleksi (bahan yang bagus dan tidak berjamur) dan <i>bio decomposer</i> Orgadec mengandung kapang <i>Trichoderma pseudoconingii</i> dan bakteri <i>cytopaga</i>
II.	a. Penimbangan kulit kopi yang akan difermentasi, tetes, dan <i>biodecomposer</i> b. Melarutkan tetes + <i>bio decomposer</i> dengan air bersih (campuran A)
III.	a. Mencampur kulit kopi dengan campuran A (campuran B) b. Menambah air pada campuran B hingga diperkirakan kelembaban campuran \pm 60% (campuran C)
IV.	Memasukkan campuran C ke dalam kotak inkubator dan menutup kotak dengan anyaman bambu sehingga dapat menjamin terjadinya dekomposisi aerobik
V.	Mengontrol terjadinya panas <i>thermophilic</i> ($> 55^{\circ}\text{C}$)
VI.	Memanen hasil fermentasi pada hari ke-21 inkubasi

Sumber: PRAWIRODIGDO *et al.* (2009b)

berdasarkan karakteristik pH silase, penambahan urea 5% (berbasis bahan kering) terhadap kulit nanas yang difermentasikan dengan masa inkubasi 12 hari hasilnya paling baik di antara perlakuan lainnya. Ditinjau dari kadar protein kasar didokumentasikan bahwa penggunaan urea 5% menghasilkan kadar protein (39,6%) tertinggi bila dibandingkan dengan yang ditambah: 2,5% urea + 2,5% tepung tapioka (24,5%), 2,5% urea + 2,5% molases (28,4%), 5% molases (20,3%), 5% inokulum *lactobacillus* (10,4), atau limbah nanas tanpa proses (7,6%). GINTING *et al.* (2007) juga melaporkan bahwa substitusi rumput dengan silase limbah nanas secara keseluruhan (100%) dalam susunan pakan (75% rumput + 25% konsentrat *versus* 75% silase limbah nanas + 25% konsentrat) menghasilkan pertambahan bobot badan lebih baik (68,8 g/hari *versus* 71,3 g/hari).

Fakta yang ditemukan dalam penelitian tersebut memberikan bukti bahwa fermentasi limbah industri buah nanas mempunyai prospek cerah dalam penyediaan pakan nontradisional, karena mampu meningkatkan kualitas profil dan daya-cerna nutrisi yang terkandung di dalamnya.

Implementasi inovasi teknologi pengolahan limbah nanas dalam industri sapi potong berskala besar telah dilakukan oleh MÜLLER (1980) yang melaporkan bahwa untuk penggemukan 2000 ekor sapi potong, pakan dasar yang digunakan adalah limbah pengalengan buah nanas yang difermentasikan bersama limbah organik lainnya di dalam *silo* tertutup. Formula yang digunakan dicantumkan pada Tabel 4 yaitu, limbah dari pengolahan buah nanas digunakan sebagai sumber serat dan dikombinasikan dengan sumber protein dan energi lainnya.

MULLER (1980) menegaskan bahwa kualitas hasil fermentasi bahan-bahan tersebut lebih bagus dari pada pakan hijauan tradisional; yaitu kadar protein kasar 14% dengan mineral dan vitamin seimbang dan daya cerna bahan kering 70%. Disamping itu, biaya pakan juga lebih murah dari pada pakan penggemukan sapi yang digunakan secara tradisional. Di Indonesia kegiatan seperti itu tampaknya belum dilaksanakan secara ekstensif.

Pengolahan limbah industri kelapa sawit

Pengolahan lumpur *solid* kelapa sawit. Penelitian pengolahan lumpur *solid* kelapa sawit (LSKS) telah dilakukan secara intensif oleh SINURAT *et al.* (2007) dan PASARIBU *et al.* (2009), terutama ditujukan untuk meningkatkan kualitasnya sebagai komponen pakan unggas. Di dalam penelitian ini tentu saja pengolahan LSKS menerapkan prosedur yang kompleks karena persyaratan yang harus dipenuhi untuk bahan pakan unggas tidak sesederhana seperti yang digunakan pada ruminansia. Sebagai contoh, kandungan serat kasar pakan unggas harus lebih rendah dari pakan ternak ruminansia karena kemampuan unggas mencerna serat sangat rendah.

SINURAT *et al.* (2007) dan PASARIBU *et al.* (2009) secara konsisten melaporkan hasil penelitiannya bahwa perlakuan fermentasi dapat mereduksi kandungan serat kasar dan meningkatkan kandungan asam amino maupun energi metabolis LSKS. Ditemukan bahwa perlakuan enzimatis ternyata juga mampu meningkatkan energi metabolis. Dilaporkan juga bahwa LSKS kering atau yang ditambah enzim dapat mensubstitusi proporsi jagung hingga 25% dalam pakan ayam petelur. Tetapi substitusi 25% proporsi jagung dalam pakan dengan LSKS fermentasi cenderung menurunkan penampilan produksi ayam petelur. Memperhatikan hasil tersebut tampaknya LSKS lebih cocok apabila dimanfaatkan sebagai komponen pakan ternak ruminansia.

Pengolahan pelepah dan daun kelapa sawit. MATHIUS (2009) menyatakan bahwa untuk meningkatkan konsumsinya oleh ternak ruminansia, perlakuan fisik perlu dilakukan terhadap pelepah dan daun kelapa sawit. Dalam upaya pengawetan dan meningkatkan kualitas pelepah dan daun kelapa sawit melalui proses pembuatan silase, WAN SAHARI *et al.* (2003) yang disitasi oleh MATHIUS (2009) melaporkan bahwa pengolahan tersebut tidak berhasil memberi perubahan nutriennya. Oleh karena itu, ke depan perlu pengembangan teknologi dekomposisi terapan yang dapat berfungsi sebagai solusi daur-ulang limbah industri perkebunan kelapa sawit ini. Menurut LENG

Tabel 4. Formula pakan sapi berbasis limbah pengalengan buah nanas dan unggas

Bahan	Formula pakan (% bahan kering)		
	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Limbah pengalengan buah nanas	60,0	47,5	52,0
Alas kandang (<i>litter</i>) ayam broiler	25,0	33,0	27,0
Lumpur <i>solid</i> kelapa sawit	-	10,0	6,0
Asam glutamat	2,0	1,0	2,0
Limbah industri roti/molases	11,0	6,5	2,0
Suplemen (urea, mineral, vitamin, dll.)	2,0	2,0	2,0

Sumber: MULLER (1980)

(1991) untuk meningkatkan degradasi serat dalam rumen perlu dilakukan fermentasi terlebih dulu pada bahan pakan berserat menggunakan kapang yang mampu melakukan dekomposisi secara anaerobik. Tetapi untuk dekomposisi bahan berlignin tinggi perlu diterapkan fermentasi menggunakan kapang yang bersifat *thermotolerant* yaitu yang mampu melakukan degradasi lignin dalam lingkungan aerobik (LENG, 1991).

Pengolahan limbah sayuran

Ide daur-ulang sampah organik kota (*municipal garbage*) termasuk sampah sayur-sayuran dan buah dari pasar tradisional pernah dirintis oleh Müller (ARPTL, 1974) dengan menggunakan fasilitas dana dari *Food and Agriculture Organization of United Nation* yang diterapkan di Singapura, tetapi pengembangan implementasi inovasi teknologinya tidak sampai ke Indonesia. Di Indonesia, suatu percobaan pengolahan sampah sayur-sayuran dan buah dilakukan melalui pengeringan dengan cahaya matahari (PRAWIRODIGDO *et al.*, 2004). Tabel 5 adalah contoh komposisi pakan yang berisi sampah sayuran yang dikombinasi dengan hasil samping produk pertanian. Hambatan introduksi teknologi ini adalah bahwa volume limbah sayuran yang besar justru tersedia pada musim penghujan, padahal pada saat yang sama proses pengeringan justru tidak maksimal karena cuaca yang tidak mendukung.

Tabel 5. Proporsi bahan komponen pakan komplit yang difermentasikan

Bahan	Proporsi (%)
Bungkil inti sawit	15,33
Bungkil kelapa	10,45
Dedak padi	9,29
Sampah sayuran terseleksi	38,56
Ubi singkong	25,55
Urea	0,69
Mineral + vitamin (premix)	0,13

Sumber: RAMLI *et al.* (2009)

Akhir-akhir ini RAMLI *et al.* (2009) meneliti pengaruh kelembaban (30 – 60%) silase pakan komplit

Tabel 6. Pengaruh perbedaan kelembaban dalam proses pembuatan silase pakan komplit untuk sapi perah laktasi terhadap pencernaan *in vitro*

Peubah	Tingkat kelembaban (% kadar air)			
	30	40	50	60
Kecernaan <i>in vitro</i> bahan kering (%)	58,49	56,47	60,11	61,68
Kecernaan <i>in vitro</i> bahan organik (%)	56,93	57,83	58,50	60,11

Sumber: RAMLI *et al.* (2009)

berbasis sumber serat sampah sayuran pilihan (75% sampah tanaman jagung dan 25% sampah sayuran lainnya) untuk pakan sapi perah periode laktasi. Hasilnya menunjukkan bahwa perbedaan pengaruh kelembaban dalam proses inkubasi terhadap pencernaan bahan kering maupun bahan organik tidak nyata (Tabel 6).

Dukungan inovasi teknologi dekomposisi limbah organik dalam pengadaan pakan

Tidak dapat dipungkiri bahwa hambatan yang sering terjadi dalam usaha budidaya ternak adalah karena di antara ternak terjadi kompetisi jenis bahan pakan untuk memenuhi kebutuhan nutriennya. Oleh karena itu, agar dapat mendukung upaya peningkatan produktivitas ternak perlu solusi penyediaan bahan pakan alternatif.

Memperhatikan penampilan reproduksi ternak ruminansia di pedesaan yang memprihatinkan, potensi limbah industri perkebunan di Indonesia yang sangat besar, dan kelayakan aplikasi inovasi teknologi dekomposisi limbah organik, maka dapat dibuat suatu sintesis bahwa solusi yang prospektif dalam mengeliminasi kompetisi pakan di antara ternak ruminansia adalah mengimplementasikan inovasi teknologi dekomposisi secara intensif guna mengolah limbah organik padat dari industri perkebunan dan industri pangan menjadi bahan pakan.

Indonesia memiliki berbagai limbah organik yang selama ini masih menjadi masalah pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, penelitian yang perlu dilakukan adalah dekomposisi bermacam-macam limbah organik yang tersedia secara lokal untuk menghasilkan bahan pakan terapan guna menyusun berbagai formula ransum seimbang bagi ternak. Hasil penelitian tersebut nantinya tidak hanya berguna untuk mengatasi pencemaran lingkungan, tetapi secara simultan bahkan akan bermanfaat untuk meningkatkan produksi ternak. Artinya, bahwa untuk mendukung pengadaan pakan dalam meningkatkan produktivitas ternak ruminansia di Indonesia diperlukan introduksi inovasi teknologi dekomposisi limbah organik agar bahan pakan kasar dapat didekomposisi sehingga nutrisi yang terbelunggu dapat terurai dan tersedia bagi ternak yang mengkonsumsi.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan studi ini memberikan kesimpulan bahwa limbah industri pangan dan limbah industri perkebunan di Indonesia merupakan bahan pakan alternatif pilihan yang sangat berpotensi untuk solusi terapan dalam mengatasi kesulitan pengadaan pakan ternak ruminansia. Namun demikian, dalam penggunaannya secara intensif, perlu introduksi inovasi teknologi dekomposisi limbah organik untuk mengurangi atau mengeliminasi zat-zat anti nutrisi yang terkandung di dalamnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ALEXANDER, M. 1977. *Introduction to Soil Microbiology* 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 467 p.
- ANGGRAENI, Y.N., U. UMIYASHI, N.H. KRISNA dan L. AFFANDHY. 2006. Strategi pemenuhan gizi melalui optimalisasi pemanfaatan limbah untuk pembesaran sapi potong calon induk. Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 5 – 6 September 2006. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 82 – 87.
- ARIFIN, M., B.E. SUBAGYO, E. RIAN TO, E. PURBOWATI, A. PURNOMOADI dan B. DWILOKA. 2005. Limbah logam berat pada sapi potong yang dipelihara di TPA Jatibarang, Kota Semarang pasca proses eliminasi selama 90 hari. Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 12 – 13 September 2005. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 248 – 365.
- ARPTL (ASIA RESEARCH PTE. LTD.). 1974. *Recycling of Organic Waste: Intensive Cattle Production*. Asia Research Pte. Ltd. Singapore. 36 p.
- AZMI dan GUNAWAN. 2005. Pemanfaatan pelepah kelapa sawit dan solid untuk pakan sapi potong. Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 12 – 13 September 2005. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 143 – 146.
- BAKRIE, B., P. SITEPU, P. SITUMORANG, T. PANGGABEAN dan C.H. SIRAIT. 1995. Pemanfaatan kulit buah kakao (*Theobroma cacao*) sebagai sumber energi dalam ransum sapi potong. Pros. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Peternakan. Bogor, 25 – 26 Januari 1995. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 132 – 138.
- BPS (BADAN PUSAT STATISTIK). 2010. *Statistik Indonesia 2010*. Badan Pusat Statistik, Jakarta. 629 hlm.
- CABEZAS, M.T., A. FLORES and J.I. EGAOA. 1979. Use of coffee pulp in ruminant feeding. *In: Coffee Pulp: Composition, Technology, and Utilization*. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. pp. 25 – 38.
- GINTING, S.P., R. KRISNAN dan A. TARIGAN. 2005a. Substitusi hijauan dengan limbah nenas dalam pakan komplit pada kambing. Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 12 – 13 September 2005. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 604 – 610.
- GINTING, S.P., F. MAHMILIA, S. ELIESER, L.P. BATUBARA dan R. KRISNAN. 2005b. Tinjauan hasil penelitian pengembangan pakan alternatif dan persilangan kambing potong. Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 12 – 13 September 2005. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 57 – 65.
- GINTING, S.P., R. KRISNAN dan K. SIMANIHURUK. 2007. Silase kulit nenas sebagai pakan dasar pada kambing persilangan Boer x Kacang sedang tumbuh. *JITV* 12(3): 195 – 201.
- GUNADI, D.H., Y. AWAY, Y. SUNKIN, Y. YUSUF, H.H. GUNAWAN dan P. ARITONANG. 1998. *Teknologi Produksi Kompos Bioaktif Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Materi Pertemuan Teknis Bioteknologi Perkebunan untuk Praktek. Unit Penelitian Bioteknologi Perkebunan, Bogor.
- GUNTORO, S., M.R. YASA, RUBIYO dan I.N. SUYASA. 2004. Optimalisasi integrasi usaha tani kambing dengan tanaman kopi. Pros. Seminar Nasional Sistem Integrasi Tanaman-Ternak. Denpasar, 20 – 22 Juli 2004. Puslitbang Peternakan bekerjasama dengan BPTP Bali dan CASREN. hlm. 389 – 395.
- HARTADI, H., S. REKSOHADIPRODJO dan A.D. TILLMAN. 1997. *Tabel Komposisi Pakan untuk Indonesia*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta. 145 hlm.
- HARYANTO, B., I.W. MATHIUS, D. LUBIS dan M. MARTAWIDJAYA. 1998. Manfaat probiotik dalam peningkatan efisiensi fermentasi pakan di dalam rumen. Pros. Seminar Nasional Peternakan dan Veteriner. Bogor, 18 – 19 November 1997. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 635 – 641.
- HILL. A.F. 1952. *Economic Botany: A Textbook of Useful Plants and Plant Products*. International Student Edition 2nd Ed. McGraw Hill Book Company, Inc., New York. 529 p.
- KUSWANDI dan I. INOUNU. 2009. Teknologi pengayaan pakan sapi terintegrasi dengan tanaman kakao. *Dalam: Sistem Integrasi Ternak Tanaman: Padi-Sawit-Kakao* FAGI, A.M., SUBANDRIYO dan K. DIWYANTO (Eds.). Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 111 – 139.
- LENG, R.A. 1991. *Application of Biotechnology to Nutrition of Animals in Developing Countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 126 p.
- LIENER, I.E. and M.L. KAKADE. 1980. Protease inhibitors. *In: Toxic Constituents of Plant Foodstuffs* 2nd Ed. Liener, I.E. (Ed). Academic Press. Inc., New York. pp. 7 – 71.
- MAHYUDIN, P., P. SITUMORANG dan I-G. PUTU. 1995. Pengaruh nutrisi pada reproduksi kerbau lumpur. Pros. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Peternakan. Ciawi-Bogor, 25 – 26 Januari 1995. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 151 – 155.
- MATHIUS, I-W. 2008. Inovasi teknologi pakan berbasis produk samping industri kelapa sawit. Pros. Seminar Optimalisasi Hasil Samping Perkebunan Kelapa Sawit dan Industri Olahannya sebagai Pakan Ternak, 19 – 20 Juli 2007. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 9 – 24.

- MATHIUS, I-W. 2009. Produk samping industri kelapa sawit dan teknologi pengayaan sebagai bahan pakan sapi yang terintegrasi. *Dalam: Sistem Integrasi Ternak Tanaman Padi-Sawit-Kakao*. FAGI, A.M., SUBANDRIYO dan I.W. RUSASTRA (Eds.). Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 65 – 109.
- MCDONALD, P., R.A. EDWARDS and J.F.D. GREENHALGH. 1992. *Animal Nutrition*. 4th Ed. Longman Scientific & Technical. Co published in the United States with John Wiley & Sons, Inc. New York. 542 p.
- MÜLLER, Z.O. 1980. *Feed From Animal Wastes: State of Knowledge*. FAO Animal Production and Health. Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome. Paper No.18. 190 p.
- PASARIBU, T., A.P. SINURAT, T. PURWADARIA dan P. KETAREN. 2009. Peningkatan nilai gizi *solid heavy phase* sebagai pengganti jagung dalam pakan unggas. *JITV* 14(3): 167 – 176.
- POLPRASERT, C. 1996. *Organic Waste Recycling* 2nd Ed. John Wiley and Sons. Brisbane. 411 p.
- PRAWIRODIGDO, S. 2009a. Peluang mendayagunakan kulit kopi sebagai bahan pakan dalam sistem integrasi tanaman-ternak ruminansia. *Pros. Lokakarya Nasional Sistem Integrasi Tanaman-Ternak*. Semarang, 13 – 14 Nopember 2007. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 227 – 236.
- PRAWIRODIGDO, S. 2009b. Pemberian orgadec dan urea untuk dekomposisi kulit kopi dalam suatu sistem fermentasi aerobik: Telaah penelitian. *Pros. Seminar Nasional Kebangkitan Peternakan*. Semarang, 20 Mei 2009. Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro, Semarang. hlm. 219 – 226.
- PRAWIRODIGDO, S. and B. UTOMO. 2010. Profile of the agriculture and plantations industries by-products potential for livestock feed on the high beef cattle population area in Central Java. *Pros. Seminar Nasional Ruminansia 2010*. Semarang, 6 Oktober 2010. Universitas Diponegoro, Semarang. hlm. 53 – 57.
- PRAWIRODIGDO, S., I. HERIANTI dan M.D.M. PAWARTI. 2009a. Perspektif sumberdaya pakan sebagai pertimbangan aplikasi teknologi reproduksi untuk meningkatkan produktivitas ternak kerbau (*Bubalus bubalis*) di Kabupaten Banyumas. *Pros. Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau*. Brebes, 11 – 13 November 2009. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 134 – 140.
- PRAWIRODIGDO, S., MURYANTO and D.M. YUWONO. 2004. Rice bran inclusion in the fruit and vegetable waste-based diets for fryer rabbits. *JITV* 9(3): 151 – 156.
- PRAWIRODIGDO, S., N. KUSTIANI dan H. HARYANTO. 2007. Introduksi tape kulit kopi dalam pakan ternak domba lokal periode pertumbuhan. *Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*. Bogor, 21 – 22 Agustus 2007. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 361 – 366.
- PRAWIRODIGDO, S., T. HERAWATI dan B. UTOMO. 2005. Pemanfaatan kulit kopi sebagai komponen pakan seimbang untuk penggemukan ternak domba. *Pros. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*. Bogor, 12 – 13 September 2005. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 438 – 444.
- PRAWIRODIGDO, S., T. HERAWATI, B. UTOMO dan MURYANTO. 2009b. Teknologi pembuatan pakan ternak domba dari limbah kopi. *Dalam: Rekomendasi Paket Teknologi Pertanian Provinsi Jawa Tengah*. YUWONO, D.M., YULIANTO, MURYANTO, T. PRASETYO dan T.J. PARYONO (Eds.). BPTP Jawa Tengah, Ungaran. hlm. 168 – 178.
- RAMLI, N., M. RIDLA, T. TOHARMAT dan L. ABDULLAH. 2009. Produksi dan kualitas susu sapi perah dengan pakan silase ransum komplit berbasis sumber serat sampah sayuran pilihan. *J. Ind. Trop. Anim. Agric.* 34(1).
- SIHOMBING, D.T.H., A.K. SIMANJUTAK, H.H. SITOMPUL, S. SIMAMURA, KISMONO, L.B. DJAMAR, D. WALUYO dan R.G. SUGIHEN. 1981. *Pemusnahan Sampah dengan Pengembang Biakan Cacing Tanah dengan Membuat Skala Lapangan*. Laporan Proyek Kerjasama Penelitian Air Bersih dan Penyehatan Lingkungan Departemen Pekerjaan Umum-Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan dan Lembaga Penelitian Institut Pertanian Bogor, Bogor. 66 hlm.
- SINURAT, A.P., T. PURWADARIA, I.A.K. BINTANG dan T. PASARIBU. 2007. Peningkatan nilai gizi *solid heavy phase* dalam ransum unggas sebagai pengganti jagung. *JITV* 12(2): 87 – 95.
- SUDARYANTO, B., K. SUBAGYONO, SUBIHARTA, ERNAWATI, B. UTOMO, R.N. HAYATI, A. RIFAI dan A.S. ROMDON. 2009. Pemetaan Wilayah Sapi Berpotensi Kembar dan Identifikasi Pakan yang Berpengaruh terhadap Kelahiran Kembar di Provinsi Jawa Tengah. Laporan Akhir BPTP Jawa Tengah, Ungaran. 131 hlm.
- SUTIKNO, A.I., T. HARYATI dan J. DARMA. 1994. Perbaikan kualitas gizi *pod* coklat melalui proses fermentasi. *Pros. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Peternakan: Pengolahan dan Komunikasi Hasil-Hasil Penelitian*. Ciawi-Bogor, 25 – 26 Januari 1994. Balai Penelitian Ternak, Bogor. hlm. 753 – 761.
- TILLMAN, A.D., H. HARTADI, S. REKSOHADIPRODJO, S. PRAWIROKUSUMO dan S. LEBDOSOEKOJO. 1998. *Ilmu Makanan Ternak Dasar* Cetakan ke-6. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta. 422 hlm.
- TOOKEY, H.L., C.H. VAN ETEN and M.E. DAXENBICHLER. 1980. Glucosinolates. *In: Toxic Constituents of Plant Foodstuffs*. LIENER, I.E. (Ed.), Academic Press. Inc., New York. pp. 103 – 142.
- UTOMO, B. dan S. PRAWIRODIGDO. 2009. Karakteristik pemeliharaan kerbau (*Bubalus bubalis*) di Kabupaten Boyolali. *Pros. Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau*. Brebes, 11 – 13 Nopember 2009. Puslitbang Peternakan, Bogor. hlm. 100 – 108.

- UTOMO, B. dan S. PRAWIRODIGDO. 2010. The phenomena of twin birth beef cattle in Central Java: Research review. Pros. Seminar Nasional Ruminansia 2010. Semarang, 6 Oktober 2010. Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang. hlm. 67 – 70.
- ZAINUDDIN, D. dan HERNOMOADI. 1995. Pengaruh senyawa alkaloid teobromine (3,7 dimetil xanthine) dari kulit biji kakao terhadap pertumbuhan, tingkat mortalitas dan kerusakan sel organ thyroide, ginjal, dan hati ayam broiler. Pros. Seminar Nasional Teknologi Veteriner. Bogor, 22 – 24 Maret 1994. Balai Penelitian Veteriner, Bogor. hlm. 357 – 360.