

# METODE PENGOLAHAN LIMBAH UNTUK PAKAN TERNAK 4

---

Peningkatan nilai manfaat limbah sebagai bahan pakan ternak dapat dilakukan dengan meningkatkan nilai nutrisi melalui perlakuan dan pengolahan. Jenis perlakuan yang diterapkan sangat bervariasi dan tergantung pada jenis, asal dan faktor pembatas pemanfaatan limbah sebagai bahan pakan secara langsung. Faktor pembatas pemanfaatan limbah sebagai pakan ternak secara umum meliputi kualitas nutrisi yang rendah akibat kandungan serat yang tinggi, kandungan antinutrisi dan kadar air bahan yang tinggi.

Pemilihan teknik dan metode pengolahan ditentukan oleh faktor pembatas pemanfaatan limbah sebagai pakan ternak sehingga limbah mempunyai nilai tambah yang lebih baik. Limbah-limbah pertanian (*crop residue*) dan beberapa limbah yang berasal dari industri pengolahan hasil pertanian (*agroindustry by-product*) umumnya mempunyai kandungan serat tinggi, perlakuan yang diberikan biasanya berupa perlakuan yang diarahkan pada penghilangan dan atau pemutusan ikatan yang terjadi diantara komponen serat.

Perlakuan yang paling umum dilakukan terhadap limbah yang dapat digunakan untuk bahan pakan ternak diantaranya berupa perlakuan secara fisik, kimia, biologis dan atau kombinasi perlakuan fisiko-kimia atau fisiko-biologis.

## **PERLAKUAN SECARA FISIK**

Perlakuan secara fisik pada bahan pakan berserat tinggi bertujuan untuk merombak struktur fisik bahan dan memecah matriks karbohidrat penyusun dinding sel. Perlakuan secara fisik

dapat juga digunakan dalam pengawetan dan atau menghilangkan kandungan antinutrisi bahan. Pengeringan, penggilingan dan pemotongan, pengukusan, perendaman dan pembuatan pellet merupakan beberapa contoh perlakuan secara fisik yang dapat diterapkan pada bahan pakan asal limbah.

#### **Pengeringan** (*Drying*)

Pengeringan merupakan perlakuan yang paling sederhana dalam pengolahan produk-produk sampingan terutama pada bahan yang mengandung kadar air yang tinggi dan atau bahan yang mengandung antinutrisi yang mudah hilang dengan pemanasan. Limbah yang berasal dari ternak dan produk perikanan biasanya mempunyai kadar air yang tinggi sehingga perlu pengurangan kadar air (dehidrasi). Pengeringan dapat menggunakan alat pengering (*oven, freeze drier, blower*) ataupun dengan sinar matahari tergantung nilai ekonomis yang diperoleh.

Pengeringan mampu mengurangi kerapatan jenis beberapa limbah ternak sekitar 20-30 persen dari volume awal. Pengeringan juga dapat menekan proses penguraian bahan organik. Kehilangan substansi bahan seperti nitrogen dan energi dipengaruhi oleh teknik dan metode pengeringan. Pengeringan beku (*freeze dry*) mampu menekan kehilangan nitrogen (4.8%) dan energi (1.3%), sementara pengeringan hampa (*vacuum dry*) pada suhu 40°C menyebabkan kehilangan nitrogen (28.0%) dan energi (12.0%) yang cukup besar. Kandungan total HCN umbi kayu dapat hilang hingga lebih dari 86 persen selama pengeringan dengan sinar matahari.

#### **Pemotongan** (*Chopping*) dan **Penggilingan** (*Grinding*)

Pemotongan dan penggilingan akan mampu menghancurkan sebagian ikatan jaringan serat kasar dengan memperluas permukaan dan membuka struktur dinding sel dan memungkinkan bakteri menembus lapisan pelindung dinding sel dan memperbanyak titik penetrasi enzim agar mudah dicerna. Perlakuan penggilingan dan pemotongan lebih mengarah pada pemecahan karbohidrat dibanding lignin. Penggilingan bahan berserat tinggi dapat mengurangi ukuran partikel, merusak struktur kristal selulosa dan memutus ikatan kimia dari rantai panjang molekul penyusunnya.

Pemotongan dan penggilingan dapat meningkatkan konsumsi pakan bebas, tetapi dapat mempunyai pengaruh yang merugikan terhadap pencernaan karena dapat menurunkan waktu tinggal (*mean retention time = MRT*) pakan dalam rumen. Penurunan MRT terjadi karena makin kecil partikel pakan maka laju aliran pakan meninggalkan rumen makin cepat, akibatnya akan mengurangi kesempatan mikroba rumen untuk mendegradasi partikel pakan yang pada gilirannya akan menurunkan pencernaan pakan. Untuk

itu dalam penggilingan bahan pakan, ukuran partikel pakan harus diatur secara benar untuk mendapatkan keseimbangan antara peningkatan konsumsi pakan dan efisiensi laju pakan meninggalkan rumen sehingga mencapai tingkat penggunaan pakan yang optimum.

#### **Pembuatan pellet** (*Pelleting*)

Kendala lain pemanfaatan limbah sebagai pakan ternak adalah sifatnya yang volumis (*bulky*) sehingga memakan ruang dalam saluran pencernaan. Perlakuan pengeringan dan penggilingan biasanya diikuti dengan perlakuan lain yaitu pemadatan dengan membuat pakan dalam bentuk pellet. Beberapa keuntungan pembuatan pellet pada bahan pakan kasar meliputi : a. pakan lebih seragam sehingga mengurangi seleksi pakan oleh ternak, b. peningkatan kerapatan jenis, c. mengurangi debu pakan yang telah digiling, d. memudahkan penanganan, e. mengurangi segregasi pada ukuran partikel yang berbeda dan f. mengurangi bahan pakan yang terbuang.

#### **Pengukusan** (*Steaming*)

Pengukusan bertekanan tinggi merupakan salah satu metode dalam meningkatkan kualitas bahan pakan kasar. Metode ini menyebabkan pengembangan serat sehingga memudahkan untuk dicerna oleh enzim mikroorganisme. Uap akan menghancurkan ikatan antara selulosa, hemiselulosa dan lignin sedangkan komposisi kimianya tidak berubah. Pengukusan mampu meningkatkan ketersediaan energi karena meningkatnya kelarutan selulosa dan hemiselulosa dan atau pembebasan substansi terdegradasi dari lignin dan silika.

Efektifitas pengaruh perlakuan pengukusan bertekanan tergantung pada kondisi lain seperti tekanan, kadar air dan lama perlakuan. Penelitian yang dilakukan Liua dkk. (1999) menyimpulkan bahwa pengukusan dengan tekanan 15 bar selama 5 menit dan rasio air dan bahan 3:7 memberikan hasil yang optimum. Penelitian lain menyebutkan pengukusan serat sawit dengan tekanan 15 kg/cm<sup>3</sup> selama sepuluh menit dapat meningkatkan pencernaan bahan organik dari 15 persen menjadi 42 persen, dan jika tekanan ditingkatkan menjadi 30 kg/cm<sup>3</sup> selama 1 menit, pencernaan bahan organiknya meningkat menjadi 51.6 persen. Pengukusan dengan tekanan terhadap kacang kedelai dapat menurunkan kandungan fitat sebesar 5-15% (Shi dkk. 2004). Kendala utama perlakuan pengukusan dengan tekanan tinggi adalah diperlukannya alat dan sumber energi yang mahal sehingga metode ini kurang dapat diaplikasikan.

### **Perendaman** (*Soaking*)

Perendaman biasanya dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan antinutrisi. Media perendaman dapat berupa air, larutan garam atau alkali. Perendaman dapat digunakan untuk menurunkan kandungan asam sianida dan fitat bahan pakan. Kandungan asam sianida pada umbi kayu dapat berkurang sampai 20% setelah perendaman selama 4 jam. Perendaman biji kacang-kacangan dalam air selama 24 jam menurunkan 50% kandungan fitat. Penurunan kandungan fitat dapat ditingkatkan dengan memperlama waktu perendaman.

## **PERLAKUAN SECARA KIMIA**

Perlakuan secara kimia umumnya dilakukan terhadap pakan kasar (*roughage*) yang bertujuan untuk meningkatkan pencernaan dan konsumsi pakan bebas dengan cara memecah komponen-komponen dinding sel atau memecah ikatan lignin dengan senyawa karbohidrat yang terdapat pada sel tanaman. Berbagai perlakuan kimia telah banyak dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan substansi selulosa yang dapat dicerna oleh mikroba rumen. Perlakuan kimia dapat menyebabkan pemecahan ikatan lignin-karbohidrat, oksidasi senyawa fenol termasuk lignin dan hidrolisis polisakarida menjadi gula.

Secara garis besar perlakuan kimiawi dikelompokkan menjadi tiga yaitu secara alkali, asam dan oksidasi (Tabel 34). Bahan kimia yang sering digunakan adalah kaustik soda (NaOH), potas (KOH), kalsium hidroksida ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), ammonia anhidrase ( $\text{NH}_3$ ), larutan amonia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ), asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), asam klorida (HCl) dan natrium klorida (NaCl). Perlakuan dengan alkali dipandang paling efektif dalam meningkatkan kualitas limbah pertanian. Secara skematis pada prinsipnya kerja alkali adalah sebagai berikut :

1. memutuskan sebagian ikatan antara selulosa dan hemiselulosa dengan lignin dan silika,
2. esterifikasi gugus asetil dengan membentuk asam uronat
3. merombak struktur dinding sel, melalui pengembangan jaringan serat, dan memudahkan penetrasi molekul enzim mikroorganisme.

Cara kerja alkali memecah ikatan lignoselulosa dan lignohemiselulosa belum diketahui secara sempurna. Alkali mempunyai kemampuan untuk mengurangi ikatan hidrogen di dalam molekul selulosa kristal sehingga selulosa membengkak dan bagian selulosa kristal akan berkurang. Alkali mampu menghasilkan perubahan terhadap struktur dinding sel yang mencakup hilangnya grup asetil dan asam fenolik, larutnya silika dan hemiselulosa serta kemungkinan hidrolisis ikatan

hemiselulosa-lignin. Pembengkakan selulosa dapat dibedakan dapat menjadi dua macam yakni pembengkakan di dalam kristal (*intercrystalline swelling*) dan pembengkakan antarkristal (*intracrystalline swelling*). Air tidak dapat menembus struktur selulosa, akan tetapi berpengaruh terhadap pembengkakan antarkristal di dalam selulosa. Membengkaknya selulosa menyebabkan renggangnya ikatan lignoselulosa dan lignohemiselulosa dan pecah sehingga dinding sel menjadi lemah.

**Tabel 34. Bahan kimia yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas pakan kasar**

Kategori	Bahan Kimia	Formula	
Alkali	Ammonium hidroksida (amonia, urea)	NH <sub>4</sub> OH (NH <sub>3</sub> , CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> )	
	Kalsium hidriksoda	Ca(OH) <sub>2</sub>	
	Potasium hidroksida	KOH	
	Sodium hidroksida	NaOH	
Asam	Asetat	CH <sub>3</sub> COOH,	
	Propionat	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> COOH	
	Butirat	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	
	Asam format	HCOOH	
	Asam klorida	HCl	
	Ortofosfat	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	
	Asam sulfat	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Garam	Amonium bikarbonat	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	
	Sodium bikarbonat	NaHCO <sub>3</sub>	
	Sodium karbonat	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
	Sodium klorida	NaCl	
	Kalsium karbida	CaC <sub>2</sub>	
Oxidising agen	Senyawa klorin	Bubuk pemutih	CaClO <sub>2</sub>
		Kalsium hipoklorit	Ca(OCl) <sub>2</sub>
		Klorin	Cl <sub>2</sub>
		Klorin dioksida	ClO <sub>2</sub>
		Potasium klorat	KClO <sub>3</sub>
		Sodium klorit	NaClO <sub>2</sub>
	Senyawa lain	Hidrogen peroksida	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
		Ozon	O <sub>3</sub>
		Sodium peroksida	Na <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
	Senyawa sulfur	Sodium bisulfit	NaHSO <sub>3</sub>
		Sodium sulfida	Na <sub>2</sub> S
		Sodium sulfit	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
		Sulfur dioksida	SO <sub>2</sub>
	Surfaktan	EDTA	
Sodium lauryl sulfat		NaC <sub>12</sub> H <sub>25</sub> SO <sub>4</sub>	
air		H <sub>2</sub> O	

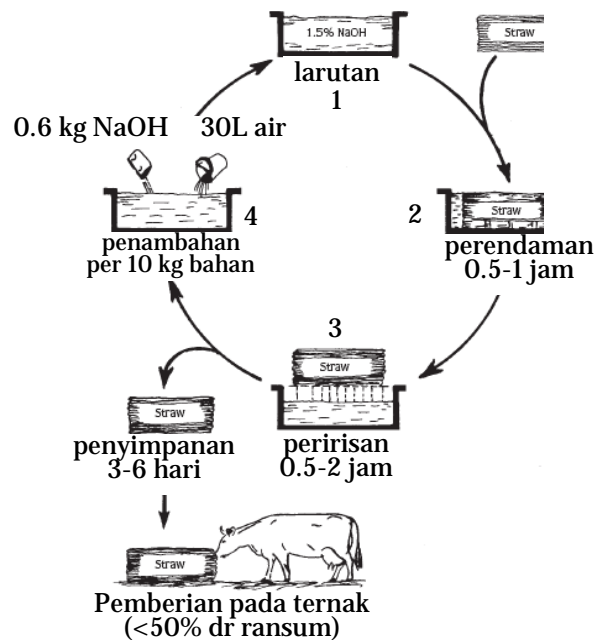
Sumber : Owen dkk. (1984)

**Perlakuan dengan Kaustik Soda (NaOH)**

Pengolahan limbah pertanian dan pakan kasar lainnya dengan kaustik soda telah banyak diterapkan. Kaustik soda merupakan alkali yang paling kuat dalam mendegradasi struktur dinding sel. Perlakuan alkali dapat meningkatkan kelarutan hemiselulosa dan mengurangi kandungan dinding sel. Beberapa metode pengolahan NaOH terhadap pakan kasar tercantum pada Tabel 35.

**Tabel 35. Metode perlakuan pakan kasar dengan NaOH (Sundstol, 1988)**

Perlakuan	Prosedur Perlakuan	Kondisi Optimum
Cara Basah	1. Perendaman bahan dalam larutan NaOH, diikuti dengan pembilasan.	1.5-2.5 % Larutan NaOH, direndam selama 12 jam, dibilas dengan larutan netral
	2. Perendaman bahan dalam larutan NaOH, tanpa pembilasan. Tapi disimpan.	1.5 % larutan NaOH direndam selama 0.5 - 1 jam dan disimpan selama 6 hari.
	3. Bahan disemprot dengan larutan NaOH dalam suatu ruang.	5.5 kg NaOH, di simpan selama 12 jam
Setengah Basah	Bahan di rendam dengan larutan NaOH di dalam Silo	40-70% kadar air, 3-5 % NaOH, min. direndam 1 minggu
Cara Kering	1. Bahan digiling menjadi halus dan dicampur dengan larutan kaustik soda konsentrasi tinggi	Larutan 27 - 47 % NaOH Tekanan di atas 100 atm temperatur 70 - 90 °C
	2. Bahan dipotong dan disemprot dengan larutan NaOH	425 kg larutan NaOH 16% setiap ton bahan



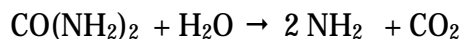
**Gambar 21. Metode pengolahan perendaman dengan NaOH**

Dewasa ini perlakuan dengan NaOH sudah banyak ditinggalkan karena pengolahan dengan NaOH menimbulkan kerugian antara lain: kation  $\text{Na}^+$  dalam jumlah banyak bersifat racun bagi ternak, menimbulkan polusi tanah dan lingkungan, residu NaOH di dalam saluran pencernaan dapat bersifat racun bagi ternak serta harganya mahal dan sulit diperoleh.

#### **Perlakuan dengan Amonia**

Perlakuan dengan amonia atau *amoniasi* merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan pakan kasar sebagai pengganti NaOH. Amoniasi mampu meningkatkan nilai nutrisi pakan kasar melalui peningkatan daya cerna, konsumsi, kandungan protein kasar pakan dan memungkinkan penyimpanan bahan pakan berkadar air tinggi dengan menghambat pertumbuhan jamur. Sama dengan alkali lainnya, amonia menyebabkan perubahan komposisi dan struktur dinding sel yang berperan dalam membebaskan ikatan antara lignin dengan selulosa dan hemiselulosa. Reaksi kimia terjadi dengan memotong jembatan hidrogen dan meningkatkan fleksibilitas dinding sel sehingga memudahkan penetrasi air ke dalam sel.

setiap kg urea akan dihasilkan 0.57 kg amonia. Perlakuan urea merupakan hasil dari dua proses yang dilakukan secara simultan yaitu hidrolisis urea (*ureolysis*) dan kerja amonia terhadap dinding sel bahan. *Ureolysis* merupakan reaksi enzimatik yang membutuhkan kehadiran enzim urease dalam media perlakuan. Urea akan dihidrolisis dengan bantuan enzim urease menjadi amonia.



Berat molekul	:	60	18		
Berat dihasilkan	:	60	18	34	44

Perombakan urea menjadi amonia selain membutuhkan enzim urease, juga dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu saat perlakuan. Kelembaban ideal untuk *ureolysis* adalah 100%, yang tidak mungkin tercapai pada media yang heterogen. Untuk alasan teknis, kisaran kelembaban media sekitar 30-60%. Kelembaban media di bawah 30%, perombakan urea akan berjalan lambat dan kelembaban di atas 60% akan mengurangi kekompakan substrat, peluruhan larutan urea ke bagian bawah media dan tumbuhnya jamur.

Suhu optimum perombakan urea berkisar antara 30-60°C. Kecepatan reaksi dikalikan (*atau dibagi*) dengan 2 setiap kenaikan (*atau penurunan*) suhu sebesar 10°C. Perombakan urea secara sempurna dapat terjadi setelah satu minggu atau bahkan 24 jam pada kisaran suhu 20-45°C. Perombakan urea berjalan sangat lambat pada kisaran suhu 5-10°C.

Indikator keberhasilan pengolahan dengan amonia dapat dilihat dari kandungan protein dan daya cerna bahan yang diolah. Ada beberapa faktor yang menentukan keberhasilan pengolahan tersebut, antara lain: dosis amonia, temperatur dan tekanan, lama pengolahan, kadar air, jenis dan kualitas limbah serta perlakuan lain yang dilakukan terhadap bahan.

*a. dosis amonia*

Dosis amonia merupakan berat nitrogen yang dipergunakan dibandingkan berat bahan kering bahan. Dosis amonia optimum sekitar 3-5% dari bahan kering bahan. Konsentrasi amonia kurang dari 3% tidak berpengaruh terhadap daya cerna dan protein kasar bahan dan amonia hanya berperan sebagai pengawet. Konsentrasi amonia lebih dari 5% menyebabkan perlakuan tidak efisien karena banyak amonia yang terbuang. Asumsi setiap kilogram urea secara sempurna dikonversi akan menghasilkan 0.57 kg amonia, maka dapat diperkirakan dosis optimum urea untuk amoniasi yaitu berkisar antara 5 – 8.7 persen.

*b. temperatur dan tekanan*

Temperatur yang lebih tinggi mempercepat reaksi kimia terjadi. Temperatur yang paling ideal untuk amoniasi adalah 20-100°C.



Temperatur juga terkait dengan tekanan. Tekanan 16.2 kg/cm<sup>3</sup> pada temperatur 121°C dengan lama perlakuan 4 menit menghasilkan daya cerna bahan yang lebih baik.

*c. lama perlakuan*

Lama perlakuan adalah lamanya waktu memeras bahan limbah dalam larutan sumber amonia. Dibanding dengan NaOH, amonia mempunyai reaksi kimia yang lebih rendah sehingga memerlukan waktu pemeraman yang lebih lama. Lama waktu pemeraman sangat bervariasi tergantung pada temperatur saat perlakuan dan metode yang digunakan. Hal ini disebabkan secara kimia reaksi akan berjalan lebih cepat pada temperatur yang lebih tinggi. Perlakuan amoniasi dengan urea memerlukan waktu lebih lama karena dibutuhkan proses perombakan urea oleh enzim urease menjadi amonia. Lama perlakuan sekitar 8 minggu pada suhu 5°C dan sekitar 1 minggu pada suhu 30°C.

*d. kandungan air*

Kandungan air merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan perlakuan dengan amonia. Kandungan air bahan optimal untuk amoniasi adalah 30% dan tidak boleh lebih dari 50% (rasio air dan jerami adalah 1 : 1).

*e. jenis dan kualitas limbah*

Tipe dan kualitas limbah berperan dalam keberhasilan perlakuan amoniasi. Jenis dan karakteristik limbah akan memberikan respon yang berbeda terhadap perlakuan. Limbah dengan kualitas jelek pada umumnya memberikan respon yang lebih baik terhadap amoniasi dibanding berkualitas yang lebih baik.

*f. perlakuan lain terhadap bahan*

Proses amoniasi dengan urea akan berjalan lebih baik jika dibarengi dengan perlakuan lain seperti penambahan sumber enzim urease (Tabel 36) dan perlakuan fisik. Semakin banyak enzim urease akan semakin cepat perombakan urea menjadi amonia. Perlakuan fisik seperti pemotongan atau penggilingan mampu meningkatkan luas permukaan bahan yang dapat kontak dengan amonia.

**Tabel 36. Aktivitas enzim urease dari ekstrak tanaman dan feses ternak**

Sumber Enzim	Aktivitas urease	Sumber Enzim	Aktivitas urease
Kacang kedelai <sup>1</sup>	790	Dedak <sup>2</sup>	42
Glirisidia <sup>1</sup>	80	Feses kerbau segar <sup>2</sup>	28
Lamtoro <sup>1</sup>	112	Feses sapi segar <sup>2</sup>	120
Daun mimosa <sup>1</sup>	86	Biji semangka <sup>2</sup>	335
Daun bunga matahari <sup>1</sup>	42	Biji labu <sup>2</sup>	755
Daun pisang <sup>1</sup>	24	Biji nangka <sup>2</sup>	4871

<sup>1</sup>. mg NH<sub>3</sub>/g/3 jam (Jayasurya dan Sannasgala 1984) <sup>2</sup>. mg NH<sub>3</sub>/g/jam (Ibrahim dkk. 1984)

### **Perlakuan Secara Kimia Lainnya**

Sejumlah zat kimia diketahui mempunyai kemampuan bereaksi terhadap bahan lignoselulosa sehingga dapat dipertimbangkan sebagai bahan untuk meningkatkan kualitas pakan kasar. Bahan kimia yang digunakan dalam meningkatkan kualitas nutrisi pakan kasar idealnya memiliki karakteristik yang meliputi :

1. efektif dalam meningkatkan pencernaan dan atau konsumsi pakan,
2. biaya untuk perlakuan dalam meningkatkan nilai nutrisi harus ekonomis,
3. bahan kimia yang digunakan harus tersedia setiap saat dibutuhkan,
4. residu bahan kimia yang tersisa dalam pakan kasar tidak bersifat racun terhadap ternak serta feses dan urin yang dikeluarkan tidak menjadi sumber polutan bagi lingkungan,
5. tidak berbahaya bagi manusia dalam penanganan dan tidak bersifat korosif bagi alat yang digunakan.

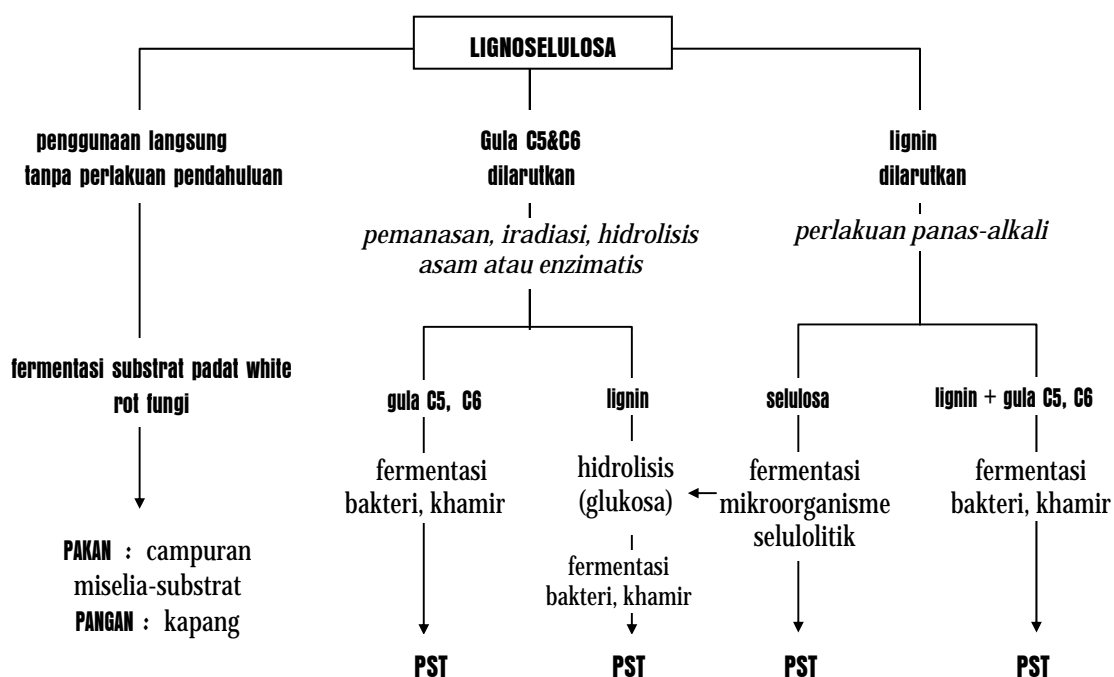
Karakteristik bahan kimia '*ideal*' sering kali tidak dapat dipenuhi oleh semua bahan kimia. Selain NaOH dan amonia, perlakuan secara kimia juga dapat menggunakan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Jackson, 1978), asam organik dan anorganik dan larutan alkali peroksida. Meski efektifitas  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  dan NaOH relatif sama namun karena  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  merupakan alkali lemah maka dalam menghidrolisis ikatan lignoselulosa dibutuhkan waktu lebih lama.

### **PERLAKUAN SECARA BIOLOGIS**

Aplikasi perlakuan secara biologis dalam pengolahan bahan pakan limbah bertujuan untuk mengubah struktur fisik bahan, pengawetan dan mengurangi kandungan antinutrisi. Perubahan struktur fisik pada pakan kasar dilakukan oleh enzim delignifikasi sekaligus memperkaya jaringan pakan dengan protein mikroorganisme. Delignifikasi dapat terjadi dengan merombak dan melarutkan lignin yang terkandung dalam pakan. Perlakuan secara biologis dilakukan dengan menggunakan enzim pendegradasi dinding sel seperti selulase, hemiselulase dan enzim pemecah lignin, jamur ligninolitik, bakteri dan jamur rumen.

Biokonversi merupakan proses-proses yang dilakukan oleh mikroorganisme untuk mengubah suatu senyawa menjadi produk yang mempunyai struktur kimia yang berhubungan. Biokonversi lignoselulosa dapat dikelompokkan dalam dua model fermentasi yaitu fermentasi media padat dan fermentasi media cair. Pengolahan limbah padat lebih mungkin menggunakan metode fermentasi media padat. Peningkatan

kualitas bahan lignoselulosa menjadi bahan pakan ternak telah lama dilakukan. Paling sedikit terdapat 3 cara dalam peningkatan bahan lignoselulosa menjadi pakan ternak menggunakan mikroorganismenya (Gambar 22). Cara pengolahan tergantung pada penggunaan produk akhir apakah untuk ternak ruminansia atau ternak monogastrik.



Gambar 22. Jalur biokonversi lignoselulosa untuk produksi pakan dan pangan

Komponen lignoselulosa yang dapat dimanfaatkan oleh ternak adalah selulosa dan hemiselulosa. Sebagian kapang lignolitik tidak mempunyai kemampuan menggunakan lignin sebagai sumber tunggal untuk energi dan karbon dan banyak tergantung pada polisakarida yang mudah tercerna di dalam substrat. Masalah yang sering timbul dalam proses pengolahan bahan lignoselulosa dengan mikroorganismenya adalah kehilangan bahan organik substrat yang digunakan oleh mikroorganismenya sebagai sumber nutrisi dalam proses biokonversi. Mikroorganismenya yang ideal dalam biokonversi lignoselulosa menjadi pakan ternak adalah mikroorganismenya yang mempunyai kemampuan besar dalam mendekomposisi lignin tetapi rendah daya degradasinya terhadap selulosa dan hemiselulosa. Secara umum kapang white-rot dibagi menjadi tiga kelompok (Zadrazil 1984) yaitu [1] kapang yang menguraikan selulosa dan hemiselulosa lebih dahulu kemudian lignin, [2] lebih banyak memetabolisme lignin lebih dahulu kemudian selulosa dan hemiselulosa dan [3] mampu mendegradasi semua polimer dinding sel secara simultan.

## Biokonversi Lignoselulosa

Biokonversi lignoselulosa secara alami berjalan lambat dan hanya dapat dilakukan oleh sedikit mikroorganisme dikarenakan strukturnya yang kompleks dan heterogen. Degradasi komponen lignoselulosa melibatkan aktivitas sejumlah enzim seperti peroksidase, fenol oksidase, selulase, hemiselulase dan gula oksidase. Sejumlah bakteri dan kapang mampu menghidrolisis selulosa sampai tahap tertentu, namun hanya sedikit mikroorganisme yang mampu mendegradasi lignin. Mikroorganisme yang dapat mendegradasi lignin adalah kapang tingkat tinggi seperti Basidiomycetes. Basidiomycetes pendegradasi lignoselulosa dikelompokkan menjadi dua grup utama, yaitu *brown-rot* fungi dan *white-rot* fungi. *Brown-rot* fungi melepaskan selulosa dari substrat, tetapi masih meninggalkan polimer lignin. *White-rot* fungi mendegradasi lignin dan membuka selulosa terhadap serangan enzimatik (Takano dkk. 2004). Kapang ini menguraikan lignin dalam substrat sehingga dapat menembus selulosa dan hemiselulosa yang melekat pada matriks lignin dan dapat menghasilkan pakan ternak ruminansia berkualitas tinggi atau penggunaan polisakarida yang dibebaskan melalui hidrolisis dan fermentasi untuk menghasilkan bahan bakar atau bahan kimia.

Sumber dan tipe agen biokonversi berpengaruh sangat besar terhadap kecepatan, efiseinsi dan kesempurnaan degradasi. Aplikasi sistem biokonversi bahan lignoselulosa dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya: kultur organisme murni, isolat enzim bebas dan sistem kompleks cairan rumen.

### 1. Mikroorganisme pendegradasi Lignoselulosa

Perombakan komponen lignoselulosa melibatkan sejumlah enzim yang dihasilkan oleh beberapa jenis mikroorganisme. Mikroorganisme ideal dalam meningkatkan kualitas bahan lignoselulosa sebagai pakan ternak harus mempunyai kemampuan memetabolis lignin yang kuat dengan tingkat degradasi selulosa dan hemiselulosa yang rendah. Sekelompok mikroorganisme mampu mendegradasi lignin, namun hanya kapang pelapuk putih (*white-rot* fungi) yang mampu mendegradasi lignin secara efektif. Beberapa mikroorganisme yang sering digunakan dalam meningkatkan kualitas pakan kasar antara lain jamur dari genus *Volvariella*, kapang dari genus *Basidiomycetes*, kapang *Trichoderma viride* dan jamur *Pleurotus spesies*.

Jamur dari genus *Volvariella* (*V. volvacea*, *V. esculenta*, dan *V. displasia*) dapat tumbuh pada merang padi dan bahan selulosik yang lain. Bekas media tumbuh jamur dapat digunakan sebagai pakan ternak.

Kapang pembusuk kayu seperti *P. chrysosporium* dapat memecah lignin dan selulosa pada kayu. Kapang jenis ini mempunyai sifat: membentuk spora yang cukup banyak dan mudah dipindahkan, bersifat *thermotoleran* sehingga dapat tumbuh pada suhu 25°C ataupun 35-40°C dan memerlukan bahan nutrisi yang mudah diperoleh.

Kapang *Trichoderma viride* dan beberapa mutannya merupakan salah satu jenis kapang yang dapat menghasilkan enzim cukup banyak dan bersifat cukup stabil. Kapang ini dapat tumbuh dengan baik pada media sederhana dengan pH 5.0 sampai 2.5, jadi dapat menekan kontaminasi bakteri dan mikroba lain.

Jamur dari genus *pleurotus* dapat memecah lignin dan polisakarida kayu menjadi produk kaya protein. *P. ostreatus* (jamur tiram) dan *P. florida* dapat tumbuh pada temperatur optimum mendekati 30°C. Media tumbuh jamur genus ini berupa campuran serbuk gergaji, sisa butiran, manure kotoran hewan dan limbah pengolahan pangan.

## 2. Degradasi Lignin

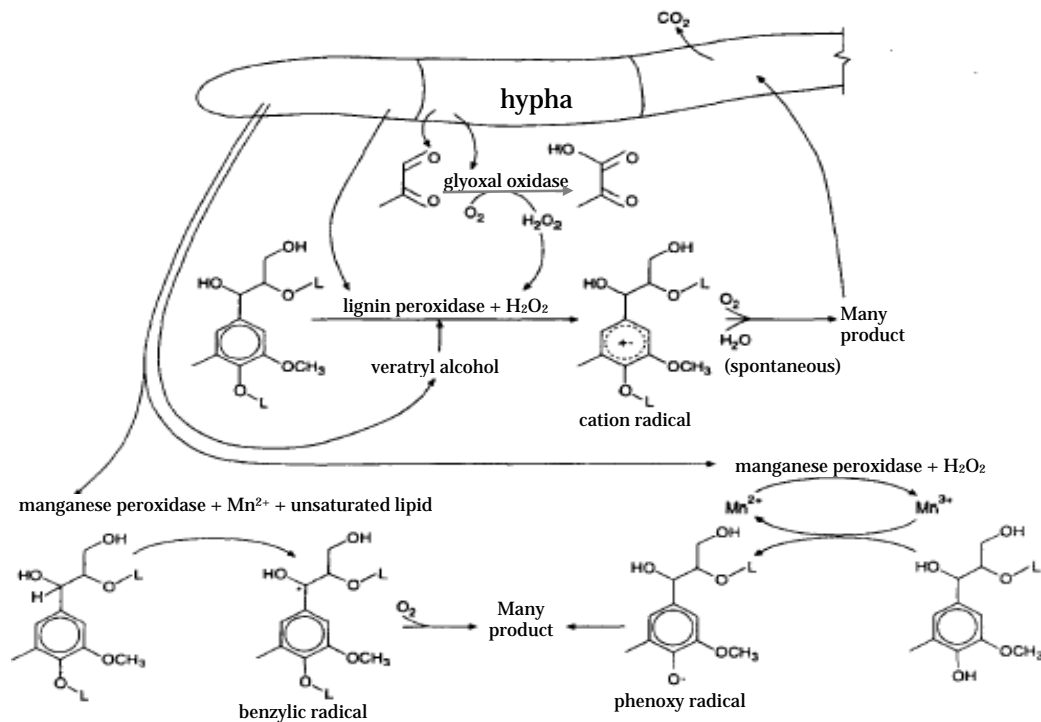
Lignin merupakan senyawa polimer aromatik yang sulit didegradasi dan hanya sedikit organisme (Tabel 37) yang mampu mendegradasi lignin, diantaranya kapang pelapuk putih. Kapang mendegradasi lignin menjadi produk yang larut dalam air dan CO<sub>2</sub>. Beberapa kapang, diantaranya *Phanerochaete chrysosporium* dapat mendegradasi lignin dan berbagai polutan aromatik selama fase pertumbuhan *stationary* yang dipacu oleh kekurangan nutrisi dalam substrat. Kapang ini menghasilkan dua peroksidase yaitu Lignin Peroxidase (LiP) dan Manganese Peroxidase (MnP) yang mempunyai peranan penting dalam proses perombakan lignin (Gambar 3). LiP merupakan katalis utama dalam proses ligninolisis oleh kapang karena mampu memecah unit non fenolik yang menyusun sekitar 90 persen struktur lignin (Srebotnik dkk. 1994). LiP dan MnP mempunyai mekanisme yang berbeda dalam proses ligninolisis. MnP mengoksidasi Mn<sup>2+</sup> menjadi Mn<sup>3+</sup> yang berperan sebagai dalam pemutusan unit fenolik lignin. LiP mengkatalis oksidasi senyawa aromatik non fenolik. Mekanisme LiP dalam mengkatalis reaksi masih belum jelas, apakah berinteraksi langsung dengan lignin atau melalui perantara radikal.

Tabel 37. Organisme yang mampu menghasilkan LiP dan atau MnP

Mikroorganisme	Enzim yang dihasilkan	Metode deteksi
<i>Bjerkandera adustus</i>	LiP	Aktivitas enzim, hibridasi
<i>Ceriporiopsis subvermispora</i>	MnP	Aktivitas enzim, hibridasi
<i>Chrysonilia sitophila</i>	LiP	Aktivitas enzim
<i>Chrysosporium pruinatum</i>	LiP	Aktivitas enzim
<i>Coriopsis occidentalis</i>	LiP	Aktivitas enzim
<i>Coriopsis polkyzona</i>	MnP	Aktivitas enzim
<i>Coriolus consors</i>	LiP	Hibridasi
<i>Coriolus hirsutus</i>	LiP	Aktivitas enzim
<i>Dichomitussqualens</i>	MnP	Aktivitas enzim
<i>Ganoderma valesiacum</i>	MnP	Aktivitas enzim
<i>Lentinula edodes</i>	MnP	Aktivitas enzim, antibodi
<i>Panus tigrinus</i>	MnP	Aktivitas enzim
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	LiP, MnP	Aktivitas enzim
<i>Phellinus pini</i>	LiP	Antibodi
<i>Phlebia brevispora</i>	LiP, MnP	Aktivitas enzim, hibridasi
<i>Phlebia radiata</i>	LiP, MnP	Aktivitas enzim, hibridasi
<i>Polyporus ostreiformis</i>	LiP	Aktivitas enzim
<i>Rigidoporus lignosus</i>	MnP	Aktivitas enzim
<i>Stereum hirsutum</i>	MnP	Aktivitas enzim
<i>Trametes gibbosa</i>	LiP, MnP	Aktivitas enzim
<i>Trametes versicolor (C. versicolor)</i>	LiP, MnP	Aktivitas enzim, hibridasi
<i>Trametes villosa</i>	MnP	Aktivitas enzim

Sumber : Orth dkk. (1993)

LiP mengkatalis suatu oksidasi senyawa aromatik non fenolik lignin membentuk radikal kation aril. Disamping itu, karena LiP merupakan oksidan yang kuat maka enzim ini juga mempunyai kemampuan mengoksidasi senyawa fenolik, amina, eter aromatik dan senyawa aromatik polisiklik (Perez dkk. 2002). Oksidasi substruktur lignin yang dikatalis oleh LiP dimulai dengan pemisahan satu elektron cincin aromatik substrat donor dan menghasilkan radikal kation aril, yang kemudian mengalami berbagai reaksi postenzymatic (Hammel 1997). LiP memotong ikatan C<sub>α</sub>-C<sub>β</sub> molekul lignin. Pemotongan ikatan pada posisi C<sub>α</sub>-C<sub>β</sub> merupakan jalur utama perombakan lignin oleh berbagai kapang pelapuk putih (Hammel 1996).



**Gambar 23. Skema sistem degradasi lignin oleh *Phanerochaete chrysosporium* (Akhtar dkk. 1997)**

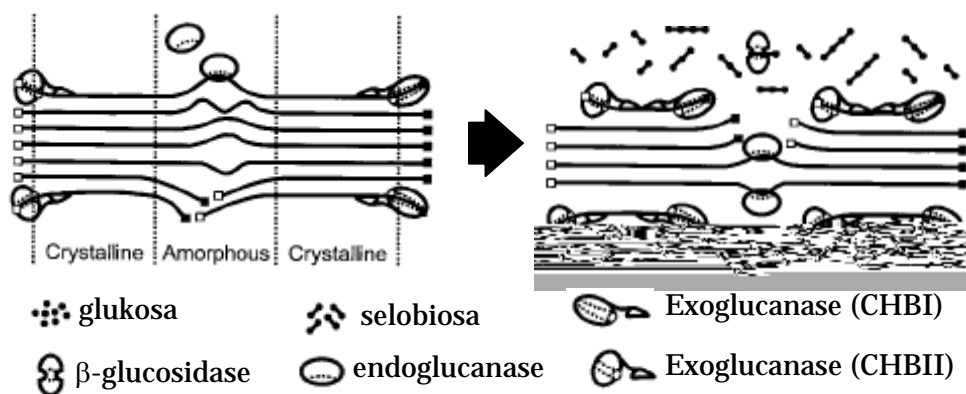
### 3. Degradasi Selulosa

Degradasi selulosa merupakan proses pemecahan polimer anhidroglukosa menjadi molekul yang lebih sederhana. Proses ini akan menghasilkan oligo, di atau trisakarida seperti selobiosa dan selotriosa, glukosa monomer dan terakhir CO<sub>2</sub> dan air. Degradasi selulosa dapat dilakukan secara biologis dengan bantuan enzim dan secara nonbiologis baik secara fisik maupun kimiawi. Sejumlah besar fungi dan bakteri (Tabel 38) mampu menghidrolisis selulosa sampai taraf tertentu. Mikroba menggunakan selulosa sebagai sumber energi dan karbon. Degradasi selulosa oleh fungi merupakan hasil kerja sekelompok enzim selulolitik yang bekerja secara sinergis. Sistem enzim selulolitik terdiri dari tiga kelompok utama yaitu :

- (a) *endoglucanases* atau 1,4-β-D-glucan-4-glucanohydrolases (EC 3.2.1.4)
- (b) *exoglucanases*, yang meliputi 1,4-β-D-glucan glucanohydrolases atau cellodextrinases (EC 3.2.1.74) dan 1,4-β-D-glucan cellobiohydrolases atau cellobiohydrolases (EC 3.2.1.91)
- (c) β-glucosidases atau β-glucoside glucohydrolases (EC 3.2.1.21)

Enzim *endoglucanase* menghidrolisis secara acak bagian amorf selulosa serat menghasilkan oligosakarida dengan panjang yang berbeda dan terbentuknya ujung rantai baru. Enzim *exoglucanase*

bekerja terhadap ujung pereduksi (CHBI) dan non-pereduksi (CHBII) rantai polisakarida selulosa dan membebaskan glukosa yang dilakukan oleh enzim *glucanohydrolase* atau selobiosa yang dilakukan oleh enzim *cellobiohydrolase* sebagai produk utama (Lynd dkk. 2002). Hidrolisis bagian berkrystal selulosa hanya dapat dilakukan secara efisien oleh enzim *exoglucanase* (Perez dkk. 2002; Lynd dkk. 2002). Hasil kerja sinergis endoglucanase dan exoglucanase menghasilkan molekul selobiosa. Hidrolisis selulosa secara efektif memerlukan enzim  $\beta$ -glucosidase yang memecah selobiosa menjadi 2 molekul glukosa (Gambar 24).



**Gambar 24. Skema hidrolisis selulosa menjadi glukosa**

**Tabel 39. Mikroba yang mampu mendegradasi selulosa**

Fungi		
<i>Acremonicella atra</i>	<i>Caniothrium minitans</i>	<i>Penicillium funiculosum</i>
<i>Acremonium furcatum</i>	<i>Cordana pauciseptata</i>	<i>Petriellidium boydil</i>
<i>Allesciaeizia teretris</i>	<i>Corydne sarcoides</i>	<i>Phialocephala sp</i>
<i>Arthrodotris superba</i>	<i>Dictyosporium elegans</i>	<i>Phialocephala fastigiata</i>
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Doratomyces microsphorus</i>	<i>Phialocephala gregata</i>
<i>Aspergillus terreus</i>	<i>Fusarium solani</i>	<i>Phialocephala hoffmanii</i>
<i>Bispora betulina</i>	<i>Gliocladium catenulatum</i>	<i>Phialocephala lignicola</i>
<i>Botrytrichum sp.</i>	<i>Gliocladium penicillidides</i>	<i>Phoma empyzena</i>
<i>Catenularia heimii</i>	<i>Gliocladium viride</i>	<i>Phoma glomerata</i>
<i>Ceratocystis cana</i>	<i>Gonatobotrys sp</i>	<i>Pseudeorotium zonatum</i>
<i>Ceratocystis picea</i>	<i>Graphium sp</i>	<i>Rhinoclapiella anceps</i>
<i>Ceratocystis tetroppii</i>	<i>Humicola alopallonella</i>	<i>Rhinoclapiella compacta</i>
<i>Chaetomium elatum</i>	<i>Humicola brevis</i>	<i>Scytalidium album</i>
<i>Chaetomium funicola</i>	<i>Humicola grisea</i>	<i>Scytalidium lignicola</i>
<i>Chaetomium globosum</i>	<i>Humicolanigrescens</i>	<i>Sporotricnum thermophilum</i>
<i>Chaetomium thermophilum</i>	<i>Myrothecium verrucata</i>	<i>Stachybotrys atra</i>
<i>Chloridium chamydosporum</i>	<i>Odiodendron grizeum</i>	<i>Trichoderma polysporum</i>
<i>Chrysosporium pannozum</i>	<i>Odiodendron tenuissimum</i>	<i>Trichoderma viride</i>
<i>Coniothrium fockelii</i>		<i>Wardomyces inflatus</i>



Bakteri	
<i>Actinomyces cellulosa</i>	<i>Cellulomonas flavi</i>
<i>Angiococcus cellulosum</i>	<i>Cellulomonas galba</i>
<i>Bacillus cellulosae disolvens</i>	<i>Cellulomonas gelida</i>
<i>Bacillus cellulosa fermentans</i>	<i>Cellulomonas pusilla</i>
<i>Cellulomonas acidula</i>	<i>Cellulomonas uda</i>
<i>Cellulomonas aurogena</i>	<i>Clostridium cellulolyticum</i>
<i>Cellulomonas biazotea</i>	<i>Polyangium cellulosum</i>
<i>Cellulomonas cellasea</i>	<i>Sporangium cellulosum</i>
<i>Cellulomonas fimi</i>	<i>Streptomyces celluloflavus</i>

Sumber : Judoamidjojo dkk. (1989)

#### 4. Degradasi Hemiselulosa

Hemiselulosa mengalami biodegradasi menjadi monomer gula dan asam asetat dengan bantuan enzim hemiselulase. Hemiselulase seperti kebanyakan enzim lainnya yang dapat menghidrolisis dinding sel tanaman merupakan protein multi-domain. Xilan merupakan karbohidrat utama penyusun hemiselulosa (Perez dkk. 2002) dan Xylanase merupakan hemiselulase utama yang menghidrolisis ikatan  $\beta$ -1,4 rantai xilan (Howard dkk. 2003). Kapang *P. chrysosporium* menghasilkan *endoxylanase* yang berperan dalam pemecahan xilan menjadi oligosakarida (Perez dkk. 2002). Hidrolisis hemiselulosa juga membutuhkan enzim pelengkap yang bekerja secara sinergis dalam menguraikan xilan dan mannan (Tabel 39).

Tabel 39. Enzim Hemiselulase dan Substrat yang dihidrolisis

Enzim	Substrat	Nomor EC
Exo- $\beta$ -1,4-xylosidase	$\beta$ -1,4-Xylooligomers xylobiose	3.2.1.37
Endo- $\beta$ -1,4-xylanase	$\beta$ -1,4-Xylan	3.2.1.8
Exo- $\beta$ -1,4-mannosidase	$\beta$ -1,4-Mannooligomers mannobiose	3.2.1.25
Endo- $\beta$ -1,4-mannanase	$\beta$ -1,4-Mannan	3.2.1.78
Endo- $\alpha$ -1,5-arabinanase	$\alpha$ -1,5-Arabinan	3.2.1.99
$\alpha$ -L-arabinofuranosidase	$\alpha$ -Arabinofuranosyl(1 $\rightarrow$ 2) atau (1 $\rightarrow$ 3) xylooligomers $\alpha$ -1,5-arabinan	3.2.1.55
$\alpha$ -Glucuronidase	4-O-Methyl- $\alpha$ -glucuronic acid (1 $\rightarrow$ 2) xylooligomers	3.2.1.139
$\alpha$ -Galactosidase	$\alpha$ -Galactopyranose (1 $\rightarrow$ 6) mannoooligomer	3.2.1.22
Endo-galactanase	$\beta$ -1,4-Galactan	3.2.1.89
$\beta$ -Glucosidase	$\beta$ -Glucopyranose (1 $\rightarrow$ 6) mannopyranose	3.2.1.21
Acetyl xylan esterases	2- atau 3-O Acetyl xylan	3.2.1.72
Acetyl mannan esterase	2- atau 3-O Acetyl mannan	3.1.1.6
Ferulic and p-cumaric acid seterase	2- atau 3-O Acetyl mannan	3.1.1.73

Sumber: Howard dkk. 2003

### **Pembuatan Silase**

Silase merupakan suatu produk yang dihasilkan melalui proses fermentasi terkontrol suatu bahan berkadar air tinggi. Bahan yang dijadikan silase biasanya berupa hijauan makanan ternak (rumput dan legum) dan hasil tanaman pertanian dan produk ikutannya serta beberapa bahan asal ternak dan ikan. Tujuan utama pembuatan silase adalah untuk mengawetkan, menurunkan antinutrisi dan mengurangi kehilangan zat makanan suatu bahan baku untuk dimanfaatkan pada masa mendatang. Silase dibuat jika produksi bahan baku dalam jumlah yang banyak atau pada fase pertumbuhan dengan kandungan zat makanan optimum.

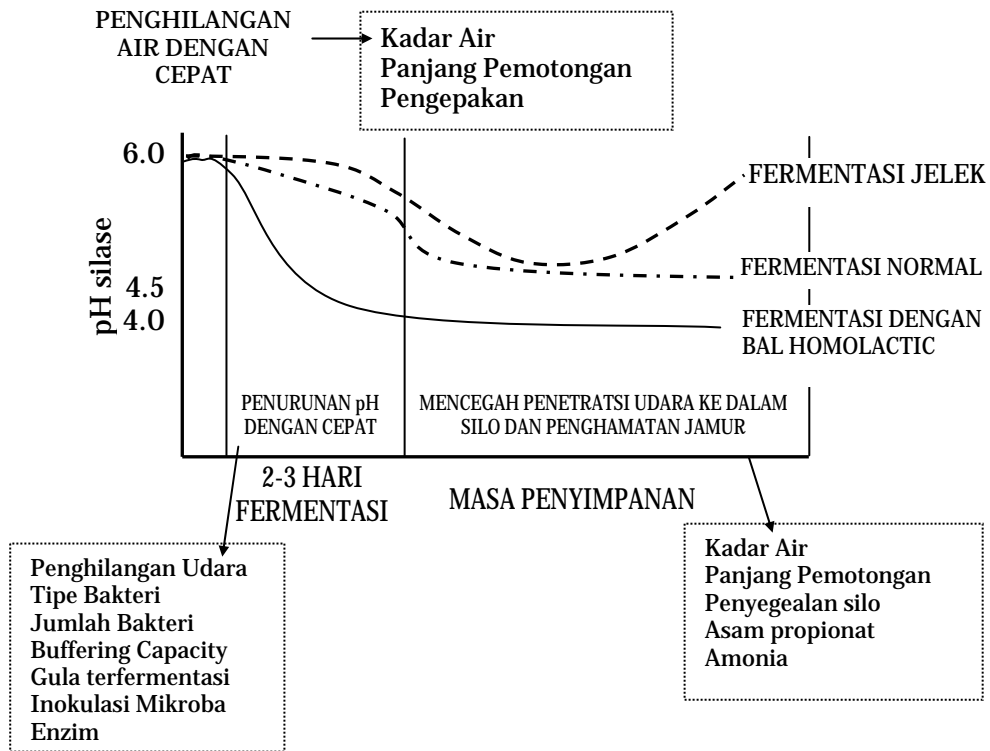
Proses ensilase meliputi dua fase yaitu fase aerobik dan fase anaerobik. Fase aerobik terjadi dengan adanya oksigen, yang dimanfaatkan oleh tanaman untuk proses respirasi. Enzim tanaman dan mikroorganisme memanfaatkan oksigen dan mengoksidasi karbohidrat mudah larut (*water soluble carbohydrate = WSC*) menjadi karbondioksida dan panas. Fase anaerobik dimulai jika oksigen yang ada telah habis digunakan untuk respirasi. Bakteri anaerobik dengan cepat berkembang dan proses fermentasi dimulai. Mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dengan cepat adalah bakteri *Lactobacillus* yang menghasilkan asam laktat. Asam laktat menurunkan pH silase. Pengurangan fase aerobik dengan menghilangkan kandungan oksigen dari bahan merupakan faktor yang sangat penting untuk menghasilkan silase yang baik.

Kualitas dan nilai nutrisi silase dipengaruhi sejumlah faktor seperti spesies tanaman yang dibuat silase, fase pertumbuhan dan kandungan bahan kering saat panen, mikroorganisme yang terlibat dalam proses dan penggunaan bahan tambahan (*additive*).

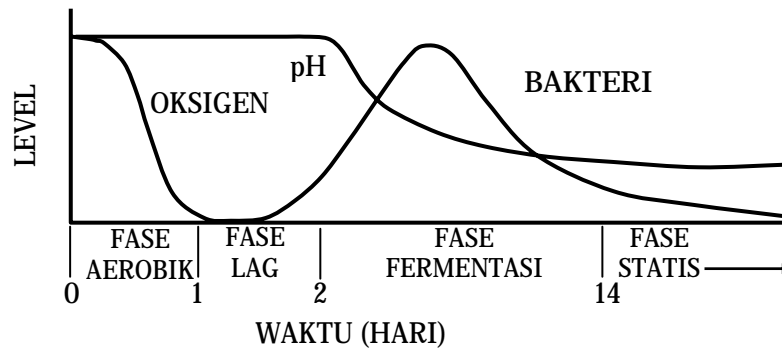
Prinsip pembuatan silase adalah memacu terciptanya kondisi anaerob dan asam dalam waktu singkat. Ada 3 hal penting agar diperoleh kondisi tersebut yaitu menghilangkan udara dengan cepat, menghasilkan asam laktat yang membantu menurunkan pH, mencegah masuknya oksigen ke dalam silo dan menghambat pertumbuhan jamur selama penyimpanan (Gambar 25).

Fermentasi silase dimulai saat oksigen telah habis digunakan oleh sel tanaman. Bakteri menggunakan WSC dalam menghasilkan asam laktat untuk menurunkan pH silase. Tanaman di lapangan mempunyai pH yang bervariasi antara 5 dan 6, setelah difermentasi turun menjadi 3.6 – 4.5. Penurunan pH yang cepat membatasi pemecahan protein dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme anaerobik merugikan seperti *enterobacteria* dan *clostridia*. Produksi asam laktat yang berlanjut

akan menurunkan pH yang dapat menghambat pertumbuhan semua bakteri (Gambar 26)



Gambar 25. Peristiwa dan faktor yang mempengaruhi proses fermentasi silase



Gambar 26. Perubahan selama proses ensilase (Van Soest 1994)

### 1. Menghilangkan oksigen dari Bahan Silase.

Proses ensilase terjadi dalam kondisi tanpa oksigen (anaerobik), bakteri yang bekerja dalam memproduksi asam laktat adalah bakteri anaerob. Oksigen yang terdapat pada bahan silase dan silo dapat mempengaruhi proses dan hasil yang diperoleh. Proses respirasi tanaman akan tetap berlangsung selama masih tersedia oksigen. Respirasi dapat meningkatkan kehilangan bahan kering, mengganggu proses ensilase, menurunkan nilai nutrisi dan kestabilan silase.

a. Respirasi sel tanaman.

Aktivitas sel tanaman tidak segera berhenti setelah dipanen, sel meneruskan respirasi selama masih cukup tersedia karbohidrat dan oksigen. Oksigen dibutuhkan untuk proses respirasi yang menghasilkan energi untuk fungsi sel. Karbohidrat dioksidasi oleh sel tanaman dengan adanya oksigen menjadi karbondioksida (CO<sub>2</sub>), air (H<sub>2</sub>O) dan panas.

Panas yang dihasilkan selama proses respirasi tidak dapat segera hilang, sehingga temperatur silase dapat meningkat. Peningkatan temperatur dapat mempengaruhi kecepatan reaksi dan merusak enzim (McDonald dkk. 1991). Enzim merupakan protein yang akan mengalami denaturasi pada temperatur tinggi. Peningkatan temperatur juga dapat mempengaruhi struktur silase misalnya perubahan warna silase menjadi gelap (Van Soest 1994).

Peningkatan temperatur silase dapat dibatasi dengan pemanenan tanaman pada kadar air yang tepat dan dengan meningkatkan kepadatan (*bulk density*) silase. Tabel 40 menggambarkan hubungan antara temperatur, kandungan bahan kering dan kepadatan bahan dalam silo. Pemadatan bahan baku silase terkait dengan ketersediaan oksigen di dalam silo, semakin padat bahan, kadar oksigen semakin rendah sehingga proses respirasi semakin pendek.

Tabel 40. Peningkatan temperatur dalam silo dengan berbagai tingkat kepadatan dan kandungan bahan kering

KEPADATAN (lbs/ft <sup>3</sup> )	KANDUNGAN BAHAN KERING (%)					
	20	30	40	50	60	70
	..... °F .....					
20	4.8	5.3	6.0	6.8	7.8	9.0
30	2.5	2.8	3.2	3.7	4.3	5.0
40	1.4	1.6	1.9	2.2	2.5	3.0
50	0.7	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8
60	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0

Sumber: Coblenz (2003)

Beberapa jenis bahan secara alami memperangkap lebih banyak udara dalam silase. Dengan pengelolaan yang baik, oksigen dapat hilang dari silase dalam 4 sampai 6 jam (Coblenz 2003). Pembatasan respirasi dapat dilakukan dengan pemotongan langsung, pemadatan dan pelayuan. Untuk menjamin proses fermentasi berjalan dengan baik, bahan harus mengandung kadar air sekitar 60-70%.

b. Pengaruh oksigen terhadap fermentasi.

Oksidasi gula tanaman melalui proses respirasi mempunyai pengaruh negatif terhadap karakteristik fermentasi. Gula tanaman berperan sebagai substrat utama bagi bakteri penghasil

asam laktat yang dominan dalam fermentasi silase. Produksi asam laktat oleh BAL menurunkan pH (menurunkan keasaman) silase dan menjadi kunci stabilitas dan pengawetan silase. Respirasi yang berlebihan atau dalam waktu lama dapat mengurangi ketersediaan substrat dalam produksi asam laktat, sehingga dapat menurunkan potensi proses fermentasi yang baik.

#### c. Pengaruh oksigen terhadap nilai nutrisi.

Respirasi yang berlebihan dapat mempengaruhi nilai nutrisi silase. Oksidasi gula tanaman menurunkan energi dan secara tidak langsung meningkatkan komponen serat hijauan. Temperatur silase yang berlebihan menyebabkan pembentukan produk-produk reaksi Maillard, dimana senyawa yang mengandung protein tidak tercerna di dalam saluran pencernaan ternak ruminansia. Kondisi anaerob yang lambat tercapai memungkinkan berkembang bakteri aerob yang dapat mendegradasi protein (proteolitik) menjadi amonia.

#### d. Pengaruh oksigen terhadap kestabilan silase.

Silase yang difermentasi dengan baik akan menghasilkan pH yang lebih rendah. Kondisi ini dapat dimaksimalkan jika gula difermentasi menjadi asam laktat. Silase akan tetap stabil untuk waktu yang tak terbatas selama udara tidak dapat masuk ke dalam silo. Jika udara (oksigen) dapat masuk, populasi yeast dan jamur akan meningkat dan menyebabkan panas dalam silase karena proses respirasi. Akibat lain adalah kehilangan bahan kering dan mengurangi nilai nutrisi silase. Beberapa spesies jamur pada kondisi tersebut dapat menghasilkan mikotoksin dan substansi lain yang mengganggu kesehatan ternak.

## **2. Kadar Air**

Salah satu faktor yang mempengaruhi proses fermentasi adalah kadar air bahan baku. Secara umum, kadar air optimum untuk dalam pembuatan silase sekitar 65% (Coblentz 2003). Tingkat kadar ini dapat memudahkan proses fermentasi dan biasanya membantu menghilangkan oksigen selama proses pengemasan.

Proses ensilase pada kadar air lebih dari 70% tidak dianjurkan. Bahan baku silase dengan kadar air tinggi pada proses ensilase menyebabkan kurang masam dan mempunyai konsentrasi asam butirat dan N-amonia yang tinggi. Bahan baku yang diensilase pada kadar air yang rendah (<50%) berakibat pada fermentasi yang terbatas, sehingga menghasilkan silase yang kurang stabil dengan konsentrasi asam laktat rendah dan pH lebih tinggi. Bahan dengan kadar air rendah lebih sulit untuk menghilangkan oksigen dari bahan silase sewaktu pemasukan dan pengemasan.

### 3. Faktor bahan baku

Silase dapat dibuat dari berbagai jenis tanaman seperti rumput, legum, sereal dan hasil ikutan tanaman lainnya. Bahan yang baik dijadikan silase harus mempunyai substrat mudah terfermentasi dalam bentuk WSC yang cukup, *buffering capacity* yang relatif rendah dan kandungan bahan kering di atas 200 g kg<sup>-1</sup> (McDonal dkk. 1991). WSC tanaman umumnya dipengaruhi oleh spesies, fase pertumbuhan, budidaya dan iklim.

Tanaman yang dipupuk dengan nitrogen dalam level yang tinggi umumnya tidak menghasilkan silase yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang dipupuk dengan level yang biasa.

Tanaman merubah energi dari matahari menjadi gula sehingga konsentrasi gula secara umum lebih tinggi pada sore atau malam hari. Konsentrasi gula menurun pada malam hari melalui proses respirasi dalam tanaman dan lebih rendah lagi pada pagi hari. Fase pertumbuhan tanaman juga mempengaruhi ratio batang dan daun, yang akan mempengaruhi kandungan gula tanaman.

### 4. Aditif Silase

Aditif silase dapat dibagi menjadi 3 kategori umum yaitu a. stimulan fermentasi, seperti inokulan bakteri dan enzim; b. inhibitor fermentasi seperti asam propionat, asam format dan asam sulfat; dan c. substrat seperti molases, urea dan amonia.

#### a. Stimulan fermentasi

Tanaman secara alami mengandung beberapa tipe bakteri baik yang menguntungkan maupun merugikan (Tabel 41). Beberapa produk akhir dapat dihasilkan dalam proses fermentasi (Tabel 42) dan beberapa diantaranya dapat menurunkan kualitas silase yang dihasilkan. Konsep penambahan inokulan bakteri adalah untuk memacu pertumbuhan bakteri asam laktat (BAL) homofermentatif yang dapat segera menghasilkan asam laktat untuk menurunkan pH silase. Beberapa BAL yang digunakan sebagai inokulan pada silase dan alasan penggunaannya ditampilkan pada Tabel 43.

Karakteristik dasar yang harus dimiliki oleh inokulan bakteri antara lain dapat beradaptasi pada bahan berkadar air tinggi, dapat beradaptasi dengan temperatur lingkungan, toleransi terhadap keasaman, menghasilkan bakteriosin, dan berperan sebagai probiotik (Ohmomo dkk. 2002).

Tabel 41. Mikroorganisme yang mungkin terdapat selama ensilase

ORGANISME	KONDISI YANG DIPERLUKAN	PRODUK/EFEK UTAMA
BAKTERI ASAM LAKTAT (BAL)	Anaerobik; pelayuan hijauan sangat diperlukan; hijauan dipotong untuk perkembangan BAL yang cepat.	Jalur homofermentatif: asam laktat dan beberapa asam asetat
		Jalur heterofermentatif: asam laktat, ethanol, mannitol, asam asetat dan CO <sub>2</sub> .
Clostridia	Anaerobik; hijauan segar.	Spesies Saccharolytic: asam butirat, CO <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> . Spesies Proteolytic: asam butirat, asam asetat, amina, CO <sub>2</sub> dan NH <sub>3</sub> .
Enterobacteria	Anaerobik; pH optimum 7.0; aktif pada fase awal fermentasi	Asam asetat, ethanol, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> dan NH <sub>3</sub> .
Listeria	Aerobik; pH di atas 5.5; tumbuh pada silase dengan temperatur rendah dan BK tinggi	Listeriosis, terutama pada domba.
Fungi	Aerobik; aktif pada lapisan atas silase	Spora dan mikotoksin

Tabel 42. Beberapa produk akhir proses fermentasi

ITEM	PENGARUH	KERJA
pH	+	pH rendah menghambat aktivitas bakteri
Asam Laktat	+	Menghambat aktivitas bakteri dengan menurunkan pH
Asam Asetat	-	Berhubungan dengan fermentasi yang merugikan
	+	Menghambat pembusukan aerobik oleh yeast
Asam Butirat	-	Berkaitan dengan degradasi protein, pembentukan toksin dan meningkatkan kehilangan bahan kering dan energi
Ethanol	-	Petunjuk terjadinya fermentasi oleh yeast dan kehilangan bahan kering yang tinggi
Amonia	-	Menunjukkan pemecahan protein
AcidDetergent Insoluble Nitrogen (ADIN)	-	Menunjukkan kerusakan protein karena panas dan rendah kandungan energi

Populasi bakteri dalam inokulan harus dalam jumlah yang cukup untuk proses fermentasi yang efektif. Bakteri *Lactobacillus plantarum* dianjurkan mempunyai konsentrasi akhir sebesar 100.000 (10<sup>5</sup>) colony forming unit (CFU) per gram bahan baku. Penambahan 2 sampai 3 kali (200.000 – 300.000) lebih menguntungkan, tetapi penambahan hingga 1.000.000 (10<sup>6</sup>) CFU gram<sup>-1</sup> tidak lagi menguntungkan (Kung 2001).

**Tabel 43. Beberapa bakteri yang biasa digunakan sebagai inokulan**

ORGANISME	TIPE ORGANISME	ALASAN PENGGUNAAN	PRODUK AKHIR UTAMA
<i>Lactobacillus plantarum</i>	BAL, HOMOLAKTIK	- cepat menghasilkan asam laktat - relatif toleran asam	Asam laktat
<i>Pediococcus acidilactici</i> , <i>Pediococcus cerevisiae</i>	BAL, HOMOLAKTIK	- cepat menghasilkan asam laktat - tumbuh lebih cepat daripada <i>Lactobacillus</i> - Beberapa strain dapat tumbuh baik pada temperatur lebih dingin - Beberapa strain mempunyai osmo toleransi yang baik	Asam laktat
<i>Enterococcus faecium</i>	BAL, HOMOLAKTIK	- cepat menghasilkan asam laktat - tumbuh lebih cepat daripada <i>Lactobacillus</i>	Asam laktat
<i>Propionibacterium shermanii</i> , <i>Propionibacterium jensenii</i>	PROPIONI BAKTERI	- Menghasilkan senyawa antifungi	Asam propionat asam asetat CO <sub>2</sub>
<i>Lactobacillus buchneri</i>	BAL, HETEROLAKTIK	- Menghasilkan senyawa antifungi	Asam laktat, asam asetat, propanediol CO <sub>2</sub>

Sumber: Kung (2001)

Bakteri bukan penghasil asam laktat (non-BAL) juga dapat digunakan sebagai inokulan, contohnya *Propionibacteria*. Bakteri ini dapat mengubah asam laktat dan glukosa menjadi asam asetat dan propionat yang berfungsi sebagai antifungi. Inokulasi *P. shermanii* dapat mencegah pertumbuhan jamur pada silase jagung berkadar air tinggi jika pH lebih besar dari 4.5 (Flores-Galaraza dkk. 1985) dan meningkatkan stabilitas aerobik.

Enzim yang ditambahkan ke dalam silase dapat mendegradasi sebagian serat menjadi karbohidrat mudah larut (WSC) yang digunakan oleh BAL. Bakteri asam laktat tidak dapat menggunakan serat sebagai sumber energi untuk membentuk asam laktat. Kompleks enzim selulase dan hemiselulase merupakan enzim yang sering dicampurkan dengan mikroorganisme sebagai inokulan silase.

#### b. Inhibitor fermentasi.

Aditif yang bersifat menghambat pertumbuhan mikroba biasanya digunakan dalam pembuatan silase dimana kondisi ideal pembuatan silase tidak tercapai, misalnya kadar air yang tidak mungkin untuk diturunkan karena kondisi iklim atau kandungan WSC yang rendah. Proses pengawetan terjadi karena tidak aktifnya bakteri pembusuk akibat turunnya pH secara drastis. Beberapa aditif yang bersifat menghambat adalah asam format, asam propionat, asam klorida dan asam sulfat. Asam propionat mempunyai aktivitas sebagai antimikotik yang efektif mengurangi *yeast* dan jamur yang bertanggung jawab terhadap kerusakan aerobik silase. Aditif jenis ini sering



ditambahkan pada pembuatan silase yang berasal dari limbah pengolahan perikanan.

#### c. Substrat

Penambahan substrat sebagai sumber WSC adalah hal yang biasa dilakukan disamping inokulasi bakteri. Penambahan sumber WSC akan membantu mempercepat tercapainya kondisi asam karena bakteri dapat dengan mudah memanfaatkan WSC untuk menghasilkan asam laktat. Sisi positif lain penambahan aditif WSC dapat mengurangi kehilangan bahan kering silase akibat perubahan WSC bahan menjadi asam laktat. Molases, glukosa, sukrosa, dan bahan-bahan lain yang mempunyai WSC tinggi dapat dijadikan sebagai aditif dalam proses fermentasi.