

PEMANFAATAN BIOMASSA LIGNOSELULOSA PERKEBUNAN SAWIT DAN *PRETREATMENT* TKS SEBAGAI BAHAN BAKU PAKAN TERNAK POTENSIAL

Muhammad Abdul Aziz

Abstrak - Badan Pusat Statistik (BPS) melaporkan bahwa produksi daging sapi Indonesia dari tahun ke tahun cenderung stagnan dan tidak dapat memenuhi kebutuhan daging nasional. Upaya pemerintah melalui Permentan No. 48/Permentan/PK.210/10/2016 belum mampu mengatasi masalah tersebut, sementara keberhasilan program swasembada daging selalu dihadapkan pada masalah ketersediaan pakan yang berkualitas dan terjangkau. Berbagai jenis biomassa lignoselulosa sebagai produk samping produksi minyak sawit seperti tandan kosong sawit (TKS), *solid palm oil mill effluent* (POME), dan bungkil inti sawit (BIS) tersedia dalam jumlah yang melimpah dan belum dimanfaatkan secara sustain dan massal, padahal potensinya sebagai bahan pakan ruminansia sangat besar. Hal ini karena sumber biomassa tersebut mengandung nutrisi yang cukup tinggi, baik berupa protein maupun lemak. Namun, terdapat beberapa faktor pembatas seperti kandungan lignin dan serat kasar yang tinggi, sehingga menyebabkan rendahnya nilai palatabilitas dan tingkat pencernaan. Untuk mengatasi hal tersebut sekaligus meningkatkan nilai nutrisi biomassa lignoselulosa sebagai bahan pakan dapat dilakukan dengan *pretreatment* melalui pendekatan kombinasi metode fisik, kimiawi, dan biologis. Metode *pretreatment* biomassa lignoselulosa seperti TKS menggunakan kombinasi *fiber cracking technology* (FCT) dan urea 5%, kemudian dilanjutkan dengan fermentasi menggunakan jamur pelapuk putih (JPP) seperti *Phanerochaeta chrysosporium*, *Marasmius* sp., *Penicillium verruculosum*, *Tremetes vesicolor*, *Marasmiellus palmivorus*, *Pleurotus florida*, dan *Ganoderma lucidum* merupakan pendekatan yang potensial dalam meningkatkan derajat delignifikasi dan nilai nutrisi. Dengan demikian, biomassa lignoselulosa perkebunan sawit khususnya TKS dapat dioptimalkan pemanfaatannya.

Kata kunci: biomassa lignoselulosa perkebunan sawit, JPP, pakan ruminansia, *pretreatment*

PENDAHULUAN

Badan Pusat Statistik (BPS) melaporkan bahwa pada tahun 2019 Indonesia mengalami defisit daging sapi sebesar 34,84%. Hal tersebut dikarenakan produksi daging sapi nasional hanya mampu mencapai 490.420,77 ton, sementara total konsumsi sebesar 752.672,07 ton, akibatnya negara mengimpor daging sapi senilai 11,5 triliun rupiah. Upaya pemerintah melalui program unggulan dalam Permentan No. 48/Permentan/PK.210/10/2016 belum mampu untuk meningkatkan produksi daging sapi nasional secara signifikan, sebagaimana BPS (2022)

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Muhammad Abdul Aziz (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor
Jl. Taman Kencana No. 1, Bogor 16128, Jawa Barat, Indonesia

Email: azizuad@gmail.com

mencatat bahwa sejak tahun 2016 hingga 2019 produksi daging sapi nasional cenderung stagnan. Kondisi defisit daging sapi nasional tidak hanya menjadi tantangan bagi pemerintah, namun juga peneliti dan praktisi dalam mewujudkan swasembada daging. Integrasi sektor perkebunan sawit dan peternakan sapi telah digagas beberapa tahun yang lalu, namun hingga saat ini baru difungsikan sekitar 0,9%, padahal potensinya sangat besar khususnya dalam pemanfaatan produk samping perkebunan menjadi pakan (Bamualim et al., 2008; Priyono et al., 2015).

Indonesia memiliki luas perkebunan kelapa sawit terbesar di dunia, yaitu mencapai 14,15 juta Ha, disusul Malaysia (4,62 juta Ha) dan Thailand (720.000 Ha). Dalam produksi minyak sawit diperoleh produk samping dengan jumlah yang melimpah seperti tandan kosong sawit (TKS), *Palm Oil Mill Effluent* (POME), bungkil inti sawit, dan pelepah sawit TM (Jayanegara

et al., 2018). Studi pemanfaatan sumber biomassa tersebut telah banyak dilakukan seperti: pemanfaatan TKS sebagai sumber material bioplastik (Isroi et al., 2017), helem (Nikmatin et al., 2018), biopulping (Risdiyanto & Sugesty, 2015), bioethanol (Mulyaningtyas & Sediawan, 2019) dan lain-lain. Bungkil sawit umum digunakan sebagai pakan ruminansia dan juga banyak dipelajari sebagai pakan unggas serta merupakan komoditas ekspor dalam bentuk *raw material* (Ramli et al., 2008; Rahman et al., 2013; Kementerian Pertanian, 2022), sementara studi pemanfaatan palm acid oil (PAO) dari POME sebagai bahan pakan ruminansia mulai banyak dilakukan (Ishak et al., 2019 & 2021). Namun, hingga kini berbagai jenis biomassa tersebut belum banyak dimanfaatkan secara optimal, sementara potensinya sebagai bahan pakan sangat besar, yang mana bersifat *sustainable* dan masal serta dapat mengatasi isu lingkungan yang ditimbulkan akibat akumulasinya yang besar.

Kandungan nutrisi produk samping perkebunan umumnya masih rendah dan belum mampu memenuhi kebutuhan gizi dan energi hewan ternak. Meskipun dapat dimanfaatkan secara langsung sebagai substitusi sebagian kecil ransum, biomassa lignoselulosa memiliki tingkat pencernaan yang rendah. Agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pakan, biomassa tersebut perlu diolah terlebih dahulu untuk meningkatkan nilai ekonomi dan gizi pakan. Produk samping perkebunan memiliki kandungan lignin tinggi yang mengikat selulosa dan hemiselulosa, sehingga sulit dicerna oleh hewan ruminansia. Kandungan lignin dari produk samping pertanian dan perkebunan dapat didegradasi menggunakan jamur pelapuk putih (JPP). Menurut Fitriyah et al. (2022), fermentasi berbagai jenis produk samping perkebunan seperti TKS, bungkil sawit, pelepah sawit TM (tanaman menghasilkan), dan solid POME menggunakan JPP terbukti mampu meningkatkan nutrisi sebagai bahan pakan, mulai dari peningkatan kadar protein, tingkat pencernaan bahan kering, bahan organik, NH₃, dan FVA (*folatite faty acid*) serta penurunan kadar lemak, abu, dan serat kasar. Namun demikian, TKS masih mengandung serat dan lignin yang cukup tinggi sehingga masih diperlukan pretreatment khusus sebelum fermentasi. Berbagai metode *pretreatment* TKS secara fisik, kimiawi, dan biologis telah banyak dipelajari. Berdasarkan studi terkini telah dilaporkan bahwa *pretreatment* TKS dengan metode *fiber cracking technology* (FCT) yang

dikombinasikan dengan perendaman larutan urea 5% diketahui mampu meningkatkan nilai nutrisi pakan dan aman untuk hewan ternak (Jayanegara et al., 2018).

Keberhasilan program swasembada daging umumnya dihadapkan pada masalah ketersediaan pakan yang berkualitas dan terjangkau, karena hampir 80% total biaya produksi yang dikeluarkan peternak dialokasikan untuk pengadaan pakan. Oleh sebab itu, pengolahan produk samping biomassa lignoselulosa perkebunan sawit perlu memperhatikan biaya harga pokok produksi (HPP). Menurut Mukminah et al. (2019), formulasi *pre-treated* bahan baku menjadi pakan lengkap (*complete feed*) merupakan salah satu solusi untuk memudahkan dalam pemberian, pengangkutan, dan penyimpanan pakan, sehingga berdampak pada penghematan biaya operasional pengadaan pakan. Pada pembahasan ini diuraikan potensi besar biomassa lignoselulosa perkebunan sawit sebagai sumber pakan ternak dan pendekatan *pretreatment* untuk meningkatkan derajat delignifikasi, nilai nutrisi dan tingkat pencernaan TKS.

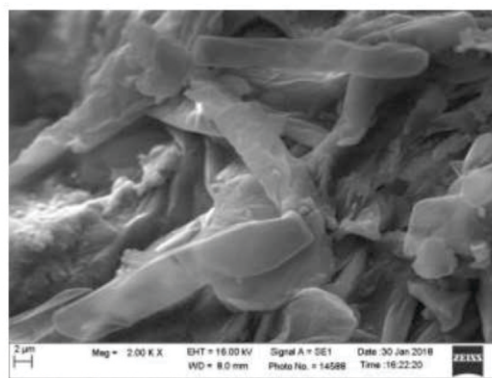
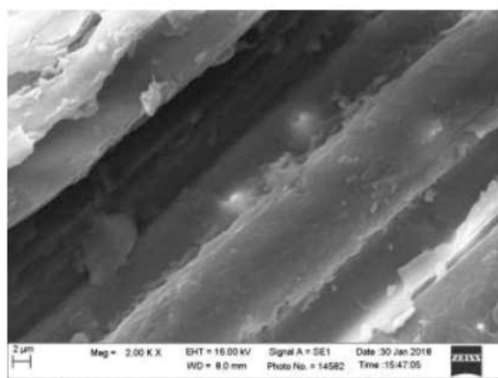
STUDI PEMANFAATAN BIS, TKS, DAN POME SEBAGAI PAKAN TERNAK

Dalam proses ekstraksi tandan buah segar (TBS) kelapa sawit menjadi minyak mentah sawit (CPO) diperoleh produk samping berupa bungkil inti sawit (BIS), TKS, dan POME. Bungkil inti sawit (*palm kernel cake*) diperoleh dari proses mekanis dengan kadar minyak 5-12%, sementara 0,5-3% minyak dalam *palm kernel meal* masih dapat diperoleh dengan mengekstrak pelarut. Bungkil inti sawit merupakan produk samping lignoselulosa dengan kadar protein tinggi (11,3-17%), namun mengandung serat kasar yang tinggi pula yaitu 21,1% (Abdeltawab & Khattab, 2018). Studi pemanfaatan bungkil inti sawit sebagai bahan pakan ternak telah banyak dipelajari sejak lama. Ramli et al. (2008) mempelajari konsentrat protein bungkil inti sawit sebagai bahan tambahan ransum dasar untuk unggas. Hasil penelitian menyatakan bahwa protein dari bungkil sawit yang diekstrak secara fisik dan kimiawi, kemudian diendapkan dengan etanol 80% memiliki kualitas yang sama dengan sumber protein standar (bungkil kedelai). Pada tahun 2013, Rahman et al. mempelajari pengaruh bungkil sawit sebagai sumber protein untuk pakan domba yang menunjukkan bahwa konsentrat pakan dengan 32% bungkil sawit menunjukkan

peningkatan bobot domba yang signifikan dibanding kontrol. Penggunaan bungkil sawit sebagai bahan pakan ruminansia dapat diberikan secara tunggal maupun kombinasi dengan bahan pakan yang lain. Potensi peningkatan bobot yang dapat diperoleh yaitu antara 0,39 – 0,83 kg/hari. Formula pakan dengan 30% bungkil sawit merupakan sumber energi dan protein pada penggemukan kambing dan domba (Abdeltawab & Khattab, 2018).

Setiap ton produksi minyak kelapa sawit (CPO) dihasilkan 0,96-1,1 ton TKS (Meilany et al., 2020; Nurdin et al., 2021). TKS mayoritas tersusun atas selulosa (31-43%), hemiselulosa (23-35%), dan lignin (11-23%) (Kamoldeen et al., 2017; Mulyaningtyas & Sediawan, 2019). Studi pemanfaatan TKS sebagai bahan pakan ruminansia telah dilakukan oleh Jayanegara et al. (2018) dan Dewi et al. (2018) dalam mendegradasi lignin, menurunkan serat kasar, dan menguraikan gula sederhana melalui metode kombinasi penambahan urea 1-5% dan sistem FCT (*fiber cracking technology*). FCT dilakukan pada sebuah reaktor selama 2,5 jam dengan suhu dan tekanan tinggi yaitu 135°C dan 2,3 atm, secara berturut-turut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan FCT menurunkan kadar ADF (*acid detergent fiber*), NDF (*neutral detergent fiber*), selulosa, dan lignin, sementara kombinasinya dengan

urea 5% menunjukkan penurunan tertinggi dari fraksi serat tersebut. Berdasarkan pengamatan secara mikroskopis terkonfirmasi perubahan struktur biomassa lignoselulosa setelah perlakuan kombinasi FCT dan urea 5% (Gambar 1). Sementara itu, setiap produksi 1 ton CPO dibutuhkan 5 – 7,5 ton air dan sekitar 50% dari proses tersebut adalah POME. POME tersusun atas air (95-96%), minyak (0,6-0,7%), dan total solid (4-5%). Umumnya POME memiliki pH asam (4-5), suhu tinggi (80-90°C), non toksik, bahan organik tinggi (COP 50.000 mg/L, BOD 25.000 mg/L). Studi pemanfaatan *palm acid oil* (PAO) dari POME sebagai pakan ruminansia telah dilakukan sebelumnya oleh Ishak et al. (2019) dan (2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa PAO mengandung nutrisi yang diperlukan sebagai bahan pakan seperti asam lemak, sehingga dapat menjadi campuran pakan ternak ruminansia. Hal tersebut ditunjukkan oleh performa pertumbuhan dan peningkatan bobot hewan ternak yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Dibandingkan bungkil inti sawit, TKS dan solid POME termasuk biomassa yang masih jarang dimanfaatkan sebagai pakan ruminansia secara massal. Hal tersebut disebabkan karena beberapa faktor pembatas seperti tingkat pencernaan dan nilai nutrisi yang masih rendah, sehingga diperlukan *pretreatment* khusus sebelum diformulasikan sebagai pakan.



Gambar 1. Kenampakan serat batang sawit sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) perlakuan kombinasi FCT dan urea 5% menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) pada perbesaran 2000x (Dewi et al., 2018).

JAMUR PELAPUK PUTIH (*WHITE-ROT FUNGI*) SEBAGAI AGENSIA FERMENTASI PADAT TKS

Produk sampling lignoselulosa dengan kadar lignin dan serat kasar tinggi seperti TKS membutuhkan *pretreatment* khusus untuk meningkatkan nilai

nutrisinya sebagai bahan pakan. Kadar neutral detergent fiber (NDF) dan lignin yang tinggi serta protein yang rendah (3%) menyebabkan TKS memiliki nilai palatabilitas dan pencernaan yang rendah. Kandungan holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa)

yang tinggi secara teoritis dapat diuraikan menjadi gula sederhana sebagai sumber energi bagi hewan ternak (Fitriyah et al., 2022). Lignin yang tinggi menyebabkan TKS sukar didegradasi baik secara alami maupun enzimatik. Menurut Li et al. (2016), lignin yang bersifat hidrofobik dapat mengganggu proses hidrolisis dengan menghalangi selulase untuk mencapai selulosa, berikatan dengan enzim, dan berperan sebagai inhibitor. Untuk melepaskan ikatan lignin dari holoselulosa (delignifikasi), kemudian degradasi holoselulosa menjadi gula sederhana dapat dilakukan melalui fermentasi menggunakan jamur pelapuk putih (JPP) (Hidayatullah et al., 2021). Selulosa dan hemiselulosa yang tersedia setelah *pretreatment* dapat dimanfaatkan oleh JPP untuk tumbuh dan kemudian memperkaya kandungan nutrisi pakan dengan menyumbang protein sel tunggal (PST). PST merupakan produk biomassa kering dari mikroorganisme seperti jamur, bakteri, dan alga berkadar protein tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan dan pakan (Maryana et al., 2016). PST telah dikembangkan dalam usaha pencapaian nutrisi pakan ternak dengan kadar protein 10-30%. Syarat utama mikroba yang digunakan untuk produksi PST adalah: tidak bersifat *pathogen*, memiliki kandungan nutrisi yang memadai, tidak mengandung bahan berbahaya, dan harus memiliki proses produksi yang ekonomis.

Jamur pelapuk putih (JPP) termasuk kelompok *Basidiomycetes* yang mampu mendegradasi lignin oleh karena aktivitas enzim-enzim ligninolitik ekstraseluler seperti lignin peroksidase (Li-P), mangan peroksidase (Mn-P) dan lakase (Suharyanto et al., 2012). Produk samping Lignoselulosa dapat didegradasi oleh mikroorganisme penghasil enzim ligninolitik seperti jamur pelapuk putih (JPP) atau *white-rot fungi*. Beberapa jenis JPP telah banyak dipelajari seperti *Phanerochaeta chrysosporium*, *Marasmius* sp., *Penicillium verruculosum*, dan *Tremetes vesicolor* (Steffien et al., 2013; Pinerocastro & Velasquez-Lazano, 2014; Kamcharoen et al., 2014; Risdianto & Sugesty, 2015; Mulyaningtyas & Sediawan, 2019; & Hidayatullah et al., 2021). Pada lama waktu inkubasi tiga bulan, aktivitas optimum lakase, Mn-P, dan Li-P oleh *Pleurotus ostreatus* dengan bahan lignoselulosa dari TKS diperoleh pada pH 5. Penambahan suplemen Cu^{2+} (CuSO_4 150 μM) meningkatkan aktivitas tiga enzim

ligninolitik tersebut, namun pertumbuhan JPP terhambat khususnya di awal pertumbuhan (Widiastuti et al., 2007). *Aspergillus niger* juga diketahui dapat menghasilkan enzim β -glucosidase yang berperan penting untuk mendegradasi gula kompleks menjadi gula sederhana (Nurdin et al., 2021). Selain itu, *pretreatment* dengan JPP dapat meminimalisasi inhibisi aktivitas hidrolase dari derivat lignin yang terdegradasi seperti *vanillin*, *4-hydroxybenzaldehyde*, dan *salisilic acid* (Hidayatullah et al., 2020).

Delignifikasi TKS secara biologis menggunakan *Pleurotus florida* pernah dilakukan oleh Isroi (2017). Jenis JPP tersebut memiliki selektivitas terhadap degradasi lignin dan hemiselulosa, namun tidak selektif terhadap selulosa. *Pretreatment* TKS dengan *P. florida* dengan penambahan Cu^{2+} menurunkan kandungan lignin dari 23,9% menjadi 10,1% dan hemiselulosa dari 20,8% menjadi 16,9% yang diikuti dengan penurunan tingkat kristalinitas dari 2,08 menjadi 1,44 LOI (*Lateral Order Index*). Penambahan Cu^{2+} berperan sebagai *inducer* yang efisien untuk meningkatkan aktivitas enzim pendegradasi lignin. Studi oleh Yasid et al. (2019) menyatakan bahwa delignifikasi TKS secara biologis menggunakan *Ganoderma lucidum* selama 12 minggu inkubasi menurunkan selulosa dari 27,77% menjadi 22,08%, hemiselulosa dari 19,30% menjadi 14,15%, dan lignin dari 12,69% menjadi 7,49%, yang diikuti pelepasan kristal silika dari serat lignoselulosa.

Berbagai studi telah melaporkan upaya peningkatan tingkat pencernaan dan nilai nutrisi produk samping lignoselulosa melalui metode *solid state fermentation* (SSF) baik menggunakan jamur maupun bakteri. Keuntungan penggunaan JPP dalam *pretreatment* bahan pakan, selain menghindari polusi lingkungan juga untuk efisiensi energi. Semua produk hasil fermentasi dapat digunakan sebagai bahan pakan atau *zero waste*. Metode SSF dilaporkan dapat menurunkan kadar selulosa dan hemiselulosa, namun meningkatkan kadar protein yang diikuti peningkatan asam lemak tak jenuh (Abdeltawab & Khattab, 2018). Menurut Fitriyah et al. (2021), fermentasi TKS menggunakan *Marasmiellus palmivorus* dapat meningkatkan protein hampir 2 kali lipat yaitu dari 2,99% menjadi 5,75%, yang diikuti peningkatan *volatile fatty acid* (VFA) dari 58,93%

menjadi 88,34%. Melalui fermentasi dengan *Pleurotus floridanus*, kadar selulosa pada TKS meningkat dari 40,4% menjadi 51,7% dan tingkat pencernaan dari 17,2% menjadi 60,3% (Isroi, 2017). Yasid et al. (2019) menambahkan bahwa fermentasi TKS dengan *Ganoderma lucidum* dapat meningkatkan pencernaan bahan kering (KcBK) hingga 81,88%. Dengan demikian, pendekatan biodelignifikasi menggunakan JPP sangat potensial untuk mengkonversi TKS menjadi bahan pakan.

TEKNOLOGI PRETREATMENT TKS

Selain sebagai sumber bahan pakan, *pretreatment* TKS menggunakan JPP telah banyak dipelajari untuk proses *biopulping* dan *biobleaching* (Risdiyanto & Sugesty, 2015), produksi sugar monomer (Hidayatullah et al., 2021), produksi *bioethanol* (Mulyaningtyas & Sediawan, 2019), produksi bioplastik (Isroi, 2017) dan lain-lain. Oleh karena potensinya yang besar sebagai sumber material alami, banyak dikembangkan metode *pretreatment* TKS secara biologis maupun kombinasi dengan perlakuan fisik dan kimiawi sebelum digunakan sebagai bahan baku produksi bioenergi maupun bioproduct (Pinerocastro & Velasquez-Lazano, 2014).

Secara alami proses delignifikasi TKS berjalan lambat, sementara pertumbuhan jamur pendegradasi lignin membutuhkan waktu inkubasi yang panjang yaitu hingga lebih dari 30 hari. Beberapa metode alternatif yang dapat digunakan yaitu melalui kombinasi dengan pemanasan pada suhu tinggi (170°C) (Gambar 2), perendaman dengan alkali atau urea, maupun kombinasinya (Mulyaningtyas & Sediawan, 2019; Hidayatullah et al., 2021). Kombinasi metode *funga* dan *hydrothermal delignification* dinilai merupakan metode *pretreatment* yang paling efektif untuk menghasilkan gula sederhana dibandingkan kombinasi metode yang lain (Meenakshisundaram et al., 2021). Kombinasi *pretreatment* dengan JPP dan pemanasan dipengaruhi oleh waktu dan suhu inkubasi, serta jumlah substrat TKS. Degradasi lignin hingga dua kali lipat diperoleh pada perlakuan kombinasi *pretreatment* tersebut, dengan tingkat degradasi lignin dipengaruhi oleh suhu (Hidayatullah et al., 2021). Oleh sebab itu, suhu dan lama waktu pemanasan menjadi parameter yang krusial dalam menentukan derajat delignifikasi. Nurdin et al. (2021)

melaporkan bahwa Kondisi optimum hidrolisis menggunakan *selulase* dari *Aspergillus niger* yaitu pada suhu 40°C, pH 6, selama 24 jam pada tepung TKS ± 30 mesh yang diberikan *pretreatment* dengan NaOH 10%. Berbagai metode *pretreatment* TKS dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil studi dapat diketahui bahwa kombinasi *pretreatment* secara fisik, kimiawi, dan biologis dapat meningkatkan derajat delignifikasi yang lebih optimal. Penurunan lignin lebih tinggi diperoleh pada kombinasi *pretreatment* dengan senyawa alkali seperti NaOH yang diketahui dapat menyebabkan pembengkakan struktur serat dan penurunan derajat kristalinitas, sehingga degradasi lignin pada TKS meningkat (Nurdin et al., 2021). Jayanegara et al. (2018) menambahkan bahwa penggunaan urea 1-5% yang dikombinasikan dengan pemanasan dan tekanan tinggi atau FCT (*fiber cracing technology*) dapat meningkatkan derajat delignifikasi dan juga dinilai aman untuk hewan ternak. TKS yang telah melalui tahap *pretreatment* secara fisik dan kimia tersebut memiliki karakter yang lebih kompatibel terhadap pertumbuhan jamur pelapuk putih sebagai agensia *pretreatment* secara biologis. Tahapan *pretreatment* lanjut tersebut dapat mengoptimalkan derajat delignifikasi dan sekaligus meningkatkan nilai nutrisi TKS sebagai bahan pakan yang umumnya ditandai dengan peningkatan kadar protein.

KESIMPULAN

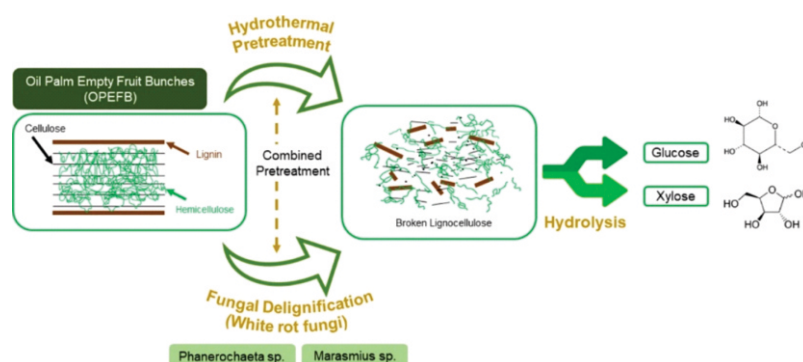
Selain tersedia dalam jumlah yang melimpah, kandungan nutrisi pada biomassa lignoselulosa perkebunan sawit seperti BIS, POME, dan TKS sangat potensial sebagai substitusi pemenuhan kebutuhan pakan ternak nasional. Metode *pretreatment* menggunakan perlakuan fisik, kimiawi, dan biologis maupun kombinasinya dilakukan untuk meningkatkan nilai nutrisi dan tingkat pencernaan serta menurunkan kadar lignin. Metode *pretreatment* biomassa lignoselulosa seperti TKS dengan mengkombinasikan perlakuan pemanasan pada suhu dan tekanan tinggi (*fiber cracking technology*) yang ditambahkan urea 5% dapat dilakukan pada tahap awal, kemudian dilanjutkan dengan fermentasi menggunakan jamur pelapuk putih seperti *Phanerochaeta chrysosporium*, *Marasmius* sp., *Penicillium verruculosum*, *Tremetes vesicolor*, *Marasmiellus palmivorus*, *Pleurotus*

floridanus, dan *Ganoderma lucidum*. Dengan demikian, kandungan serat kasar yang menghambat pertumbuhan dan aktivitas enzim-enzim yang terkandung dalam JPP dapat didegradasi, sementara

selulosa dan hemiselulosa dapat menjadi sumber nutrisi JPP untuk tumbuh, sehingga peningkatan nilai nutrisi dan tingkat pencernaan oleh aktivitas JPP dapat berjalan secara optimal.

Tabel 1. Pengaruh berbagai metode *pretreatment* TKS terhadap degradasi lignin

Metode	Hasil Penelitian	Sumber
Fermentasi dengan <i>Marasmius</i> sp. Selama 20 hari, kemudian dilanjutkan pemanasan pada suhu 160°C selama 15 menit	<ul style="list-style-type: none"> Penurunan lignin hingga 26,67% (dari 25% menjadi 17,5%). Produksi monomer sugar (Xylosa dan glukosa) yang lebih optimal 	Hidayatullah et al. (2021)
<i>Pretreatment</i> menggunakan NaOH 3% dalam autoclave 5-6 bar, suhu 160°C selama 30 menit	<ul style="list-style-type: none"> Penurunan lignin dari 23% menjadi 5%. peningkatan kadar selulosa dari 49% menjadi 77%, namun terjadi penurunan hemiselulosa dari 28% menjadi 18% 	Steffien et al. (2013)
Perendaman dengan NaOH 1% + pemanasan pada suhu 170°C selama 2 jam, dilanjutkan dengan fermentasi menggunakan <i>Aspergillus niger</i>	<ul style="list-style-type: none"> Degradasi lignin hingga tersisa 7,4% 	Mulyaningtyas & Sediawan, (2019)
FCT (<i>fiber cracking technology</i>) yang dikombinasikan dengan perendaman urea 1-5%.	<ul style="list-style-type: none"> Peningkatan nilai nutrisi TKS sebagai bahan pakan ternak. Acid dan neutral detergent fiber (ADF & NDF), selulosa, lignin, dan CH₄ secara signifikan mengalami penurunan dibanding kontrol. Perubahan struktur fraksi serat secara mikroskopis 	Jayanegara et al. (2018) & Dewi et al. (2018)



Gambar 2. Skema Alur *Pretreatment* TKS dengan Kombinasi Teknik Hydrothermal dan JPP (Hidayatullah et al., 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdeltawab, A. M., & Khattab, S. A. (2018). Utilization of palm kernel cake as a ruminant feed for animal: a review. *Asian Journal of Biological Sciences*, 11(4), 157-164.
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2022, Januari 18). Produksi daging sapi menurut provinsi, 2009-2019. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/11038>
- Bamualim, A., Thalib, A., Anggraeni, Y. M., & Maryono. (2008). Teknologi peternakan sapi potong berwawasan lingkungan. *Wartazoa*. 18(3), 149-156.
- Dewi, S. P., Ridla. M., Laconi, E.B., & Jayanegara, A. (2018). Increasing the quality of agricultural and plantation residues using combination of fiber cracking technology and urea for ruminant feeds. *Tropical Animal Science Journal*, 41(2), 137-146.
- Fitriyah, F., Aziz, M. A., Wahyuni, S., Fadila, H., Permana, I. G., Priyono, & Siswanto. (2022). Nutritional improvement of oil palm and sugarcane plantation waste by solid-state fermentation of *Marasmiellus palmivorus*. Diseminarkan pada IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 974, The 2nd International Conference on Sustainable Plantation 2-3 September 2021 Bogor.
- Hidayatullah, I.M., Husna, M. D. A., Radiyan, H., Kresnowati, M. T. A. P., Suhardi, S. H., Setiadai, T., & Boopathy. R. (2021). Combining Biodelignification and Hydrothermal Pretreatment of Palm Oil Empty Fruit Bunches (OPEFB) for Monomeric Sugar Production. *Bioresource Technology Reports*, 15 (2021), 100808.
- Hidayatullah, I. M., Setiadi, T., Kresnowati, M. T. A. P., Boopathy, R. (2020). Xylanase Inhibition by The Derivatives of Lignocellulosic Material. *Bioresour. Technol.*, 300, 122740.19.
- Ishak, F. A., Jamil, M. A., Razak, A. S. A., Ridwan, A. F. A., & Hamid, M. R. A. (2021). Study of Palm Acid Oil (PAO) from Sludge Palm Oil Mill Effluent (POME) as Goat's Feed. *Materials today: Proceedings*, 41(1), 96-101.
- Ishak, F. A., Jamil, M. A., Razak, A. S. A., Zamani, N. H. A., & Hamid, M. R. A. (2019). Development of Animal Feed from Waste to Wealth using Napier Grass and Palm Acid Oil (PAO) from Palm Oil Mill Effluent (POME). *Materials today: Proceedings*, 19, 1618-1627.
- Isroi (2017). Characteristic of oil palm empty fruit bunch ptreated with *Pleurotus floridanus*. *Menara Perkebunan*, 85(2), 67-76.
- Jayanegara, A., Ardhisty, N. F., Dewi, S. P., Antonius, Ridwan, R., Laconi, E. B., Nahrowi, & Ridla M. (2018). Enhancing nutritional quality of oil palm empty fruit bunch for animal feed by using fiber cracking technology. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(3), 157-163.
- Kamcharoen, A., Champreda, V., Eurwilaichitr, L., & Boonsawang, P. (2014). Screening and Optimization of Parameters Affecting Fungal Pretreatment of Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) by Experimental Design. *Int. J. Energy Environ. Eng.*, 5, 303-312.
- Kamoldeen, A. A., Lee, C. K., Wan Abdullah, W. N., & Leh, C. P. (2017). Enhanced ethanol production from mild alkali-treated oil-palm empty fruit bunches via cofermentation of glucose and xylose. *Renew. Energy*, 107, 113-123.
- Kementerian Pertanian. (2022, Januari 25). Meroket, ekspor PKE asal Kaltim ke Mancanegara. Dari <https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=4332>.
- Li, M., Pu, Y., & Ragauskas, A. J. (2016). Current understanding of the correlation of lignin structure with biomass recalcitrance. *Front. Chem.* 4 (45).
- Maryana. L., & Anam, S., & Nugrahani, A. W. (2016). Produksi protein sel tunggal dari kultur *Rhizopus oryzae* dengan medium limbah cair tahu. *GALENKA Journal of Pharmacy*, 2(2), 132-137.
- Meenakshisundaram, S., Fayeulle, A., Leonard, E., Ceballos, C., & Pauss, A. (2021). Fiber Degradation and Carbonate Production by Combined Biological and Chemical/ Physicochemical Pretreatment Methods of

- Lignocellulosic Biomass – A Review. *Bioresour. Technol.*, 331, 125053.20.
- Meilany, D., Kresnowati, M. T. A. P., Setiadi, T., & Boopathy, R. (2020). Optimization of Xylose Recovery In Oil Palm Empty Fruit Bunches for Xylitol Production. *Appl. Sci.*, 10, 1391.
- Mulyaningtyas, A., & Sediawan, W. B. (2019). Effect of Combined Pretreatment of Lignocellulose and The Kinetics of Its Subsequent Bioconversion by *Aspergillus niger*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 21 (2019), 101292.
- Mukminah, N., Destiara, I. D., Rahayu, W. E., & Sabari, E. (2019). Inovasi Teknologi Pakan Komplit (Complete Feed) Sapi Potong Berbasis Limbah Agroindustri Di Kabupaten Subang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat MEDITEG*, 4(1), 9-17.
- Nikmatin, S., Hermawan, B., Irmansyah, I., Indro, M. N., Kueh, A. B. H., & Syafiuddin, A. (2018). Evaluation of the Performance of Helmet Prototypes Fabricated from Acrylonitrile Butadiene Styrene Composites Filled with Natural Resource. *Materials*, 12, 34; DOI: 10.3390/ma12010034.
- Nurdin, M., Abimanyu, H., Naufalsar, M., Maulidiyah, Arifin, Z. S., Wibowo, D., & Salim, L. O. A. (2021). Examination the Hydrolysis Feasibility of OPEFB Biomass Using *Aspergillus niger* as Cellulase Enzyme-producing Fungus. *Journal of Oleo Science*, 2021.
- Pineros-Castro, Y., & Velasquez-Lozano, M. (2014). Biodegradation Kinetics of Oil Palm Empty Fruit Bunches by White-rot Fungi. *Int. Biodeterior. Biodegrad.*, 91, 24–28.
- Priyono, M., Shiddieq, I., Widiyantono, D., & Zulfanita. (2015). Hubungan kausal antara tingkat penguasaan teknologi, dukungan kelembagaan, dan peran penyuluh terhadap adopsi integrasi ternak-tanaman. *Inform Pertan.* 24(2), 141-148.
- Rahman, M. M., Abdullah, R. M., Embong, W. K. W., Nagakawa, T., & Akashi, R. (2013). Effect of palm kernel cake as protein source in a concentrate diet on intake, digestibility and live weight gain of goats fed Napier grass. *Trop Anim Health Prod*, 45, 873-878.
- Ramli, N., Yatno, A. D., Hasjmy, Sumiati, Rismawati, & Estiana, R. (2008). Evaluasi sifat fisiko-kimiawi dan nilai energi metabolis konsentrat protein bungkil inti sawit pada broiler. *JITV*, 13(4): 249-255.
- Risdianto, H., & Sugesty, S. (2015). Pretreatment of *Marasmius* sp. on Biopulping of Oil Palm Empty Fruit Bunches. *Mod. Appl. Sci.*, 9, 1–7. 30.
- Steffien, D., Aubel, I., & Bertau, M. (2013). Enzymatic Hydrolysis of Pre-treated Lignocellulose with *Penicillium verruculosum* Cellulase. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, (2013).
- Suharyanto, Kresnawaty, I., Prakoso, H. T., & Eris, D. E. (2012). Aktivitas ligninolitik *Omphalina* sp. dari TKS dan aplikasinya untuk dekolonisasi limbah kosmetik. *Menara Perkebunan*, 80(2), 48-56.
- Widiastuti, H., Siswanto, & Suharyanto. (2007). Optimasi pertumbuhan dan aktivitas enzim ligninolitik *Omphalina* sp. dan *Pleurotus ostreatus* pada fermentasi padat. *Menara Perkebunan*, 75(2), 93-105.
- Yasid, N. N. F. M., Rashid, M. R. M., Zailan, M. Z., & Yaakub, H. (2019). Biological delignification of shredded oil palm empty fruit bunch using mycelia culture of *Ganoderma lucidum* as a potential ruminant feedstuff. *International Journal of Agriculture, Forestry, and Plantation*, 8, 137-142.