

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS LAMPUNG



PENINGKATAN KUALITAS BAHAN BAKAR JERAMI PADI
MELALUI PROSES DENSIFIKASI

TIM PENGUSUL

Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.	NIDN: 0027056503
Winda Rahmawati, S.TP., M.Sc	NIDN: 0020058902
Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc	NIDN: 0011126101
Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si	NIDN: 0030770002

KATEGORI*)

(~~Penelitian Dasar/Terapan/Pengembangan~~)

KONTRAK No.: 1459/UN26.21/PN/2018

PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
NOVEMBER, 2018

*) Pilih salah satu KATEGORI

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS LAMPUNG

Judul Penelitian : PENINGKATAN KUALITAS BAHAN BAKAR JERAMI PADI MELALUI PROSES DENSIFIKASI

Manfaat sosial ekonomi : Menyediakan pilihan bagi pemanfaatan limbah jerami padi sebagai bahan bakar secara lebih baik.

Jenis penelitian : penelitian dasar penelitian terapan
: pengembangan eksperimental

Ketua Peneliti
a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
b. NIDN : 0027056503
c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
d. Program Studi : Teknik Pertanian
e. Nomor HP : 081379078674
f. Alamat surel (e-mail) : agus.haryanto@fp.unila.ac.id

Anggota Peneliti (1)
a. Nama Lengkap : Winda Rahmawati, S.TP., M.Sc
b. NIDN : 0020058902
c. Program Studi : Teknik Pertanian

Anggota Peneliti (2)
a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc
b. NIK : 0011126101
c. Program Studi : Teknik Pertanian

Anggota Peneliti (2)
d. Nama Lengkap : Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si
e. NIK : 0030770002
f. Program Studi : Teknik Pertanian

Jumlah mahasiswa yang terlibat : 3 (tiga)
Jumlah alumni yang terlibat : 1 (satu)
Jumlah staf yang terlibat : 2 (dua)
Lokasi kegiatan : Lab. RPHP, Jurusan Teknik Pertanian
Lama kegiatan : 6 bulan
Biaya Penelitian : Rp.35.000.000,-
Sumber dana : BLU Universitas Lampung



Mengetahui,
Dekan Fak. Pertanian
(Prof. Dr. Ir. Irawan Sukri Banuwa, M.Si)
NIP/NIK 196110201986031002

Bandar Lampung, 05 November 2018

Ketua Peneliti,

(Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.)
NIP.196505271993031002

Menyetujui,
Ketua PDPPT Universitas Lampung
(Warsono, Ph.D)
NIP/NIK 196302161987031003

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian : PENINGKATAN KUALITAS BAHAN BAKAR JERAMI PADI MELALUI PROSES DENSIFIKASI

2. Tim Peneliti

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Program Studi	Alokasi Waktu (jam/minggu)
1.	Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P	Ketua	Energi Terbarukan	Teknik Pertanian	5
2.	Winda Rahmawati, S.TP., M.Sc	Anggota 1	Pengolahan Limbah Pertanian	Teknik Pertanian	5
3.	Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc	Anggota 2	Pengolahan Limbah Pertanian	Teknik Pertanian	5
3.	Dr. Siti Suharyatun, S.TP., M.Si	Anggota 3	Pengolahan Tanah	Teknik Pertanian	5

3. Objek Penelitian (jenis material yang akan diteliti dan segi penelitian):

Objek penelitian adalah jerami padi dan minyak jelantah. Aspek yang akan diteliti meliputi komposisi campuran jerami-minyak jelantah yang tepat untuk menghasilkan pellet yang berkualitas tinggi, baik dari sudut pandang nilai energinya, maupun karakteristik fisiknya.

4. Masa Pelaksanaan

Mulai : bulan Mei tahun 2018

Berakhir : bulan November tahun 2018

5. Usulan Biaya : Rp.35.000.000,-

6. Lokasi Penelitian (lab/studio/lapangan): Lab. Rekayasa Pascapanen Hasil Pertanian.

7. Instansi lain yang terlibat (jika ada, dan uraikan apa kontribusinya)

8. Kontribusi mendasar pada suatu bidang ilmu (uraikan tidak lebih dari 50 kata, tekankan pada gagasan fundamental dan orisinal yang akan mendukung pengembangan iptek)

Jerami memiliki masa jenis yang sangat rendah sehingga menyulitkan transportasinya dan bernilai rendah sebagai bahan bakar. Salah satu upaya untuk mengatasinya adalah dengan membuatnya menjadi pellet melalui proses densifikasi. Hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi penting bagi pengembangan jerami padi menjadi bahan bakar modern yang kompak dan bernilai tambah.

9. Jurnal ilmiah yang menjadi sasaran untuk setiap penerima hibah (tuliskan nama terbitan berkala ilmiah dan tahun rencana publikasi)

Jurnal Keteknikan Pertanian (Akhir 2018)

RINGKASAN

Jerami padi memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi sumber bahan bakar pembangkit listrik gasifikasi. Selain melimpah, jerami padi juga bersifat renewable. Salah satu kelemahan utama jerami padi adalah sifatnya yang lepas sehingga memiliki masa jenis dan densitas energi yang rendah. Massa jenis yang rendah menyulitkan proses penyimpanan, transportasi dan watak pengaliran bahan bakar yang buruk bagi sistem gasifikasi. Sedangkan densitas energi yang rendah akan menurunkan efisiensi sistem gasifikasi secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengubah karakteristik bahan bakar jerami padi menjadi lebih kompak dengan massa jenis dan densitas energi yang lebih besar melalui proses densifikasi. Target khusus dalam penelitian ini adalah menghasilkan pellet dari jerami padi yang nantinya dapat diproses lebih lanjut melalui torefaksi menjadi black pellet untuk bahan bakar pembangkit listrik gasifikasi.

Penelitian telah dilakukan di Lab. Daya dan Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung. Jerami padi yang diperoleh dari petani sekitar Bandar Lampung dikeringkan hingga kadar air sekitar 12%. Jerami lalu dicacah dengan panjang maksimum 5 cm. Cacahan jerami kemudian digiling dengan hammer mill untuk mendapatkan partikel halus. Partikel jerami kemudian diayak menggunakan ayakan 60 dan 100 mesh untuk memperoleh partikel halus (lolos 100 mesh), partikel sedang (lolos 60 mesh tidak lolos 100 mesh), dan partikel kasar (tidak lolos 60 mesh). Perlakuan lainnya adalah penambahan bekatul sebagai perekat (binder) pada level 0, 5, 10, dan 15%. Jerami giling kemudian dicetak menjadi pellet pada tekanan dongkrak hidrolik 15 ton. Parameter pengamatan jerami meliputi kadar air, massa jenis, kadar abu, kadar bahan volatile, dan nilai energi. Sedangkan parameter pengamatan pellet meliputi massa jenis, ketahanan pelet dengan uji banting dari ketinggian 2 m, dan weight loss. Analisis dilakukan dengan tiga kali ulangan untuk memperoleh nilai rata-rata dari setiap parameter pengamatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran partikel dan penambahan bekatul memberikan efek terhadap karakteristik pelet. Makin kecil ukuran partikel menghasilkan pelet yang makin baik. Pelet yang dihasilkan memiliki masa jenis antara 14 - 20 kali dibandingkan masa jenis bahan jerami giling. Demikian juga, penambahan bekatul memberikan efek positif pada kekuatan pelet yang dihasilkan. Penambahan bekatul 5% pada jerami kasar bahkan mampu menghasilkan pelet dengan masa jenis mendekati pelet jerami halus tanpa bekatul. Efek penambahan bekatul terhadap kekuatan pelet sangat terlihat terutama untuk pelet yang

dicetak dari partikel kasar. Serpihan dari uji jatuh pelet kasar dapat diturunkan dari 1,1% (tanpa bekatul) menjadi 0,4% dengan penambahan bekatul 5%. Sedangkan pada pelet sedang, serpihan pelet dapat diturunkan dari 0,56% (tanpa bekatul) menjadi 0,15% (penambahan bekatul 5%) dan hanya 0,03% (penambahan bekatul 15%). Dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran partikel yang lolos pada ayakan 60 mesh dan penambahan bekatul 5% menghasilkan pelet yang baik yang ditandai dengan masa jenis hingga 20 kali lipat dan kekuatan yang besar (persentasi serpihan 0,15%).

Hasil dari penelitian ini telah dipresentasikan pada seminar nasional dan internasional, yaitu:

1. Seminar Nasional PERTETA di Yogyakarta (29-30 Agustus 2018)
2. Seminar Internasional "The 2nd International Conference on Security in Food, Renewable Resources, and Natural Medicine 2018" di Padang 25-26 Oktober 2018.
3. Draft paper berjudul: Energi Terbarukan dari Jerami Padi: Potensi dan Tantangan bagi Indonesia yang akan dikirim ke jurnal terakreditasi Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) IPB, Bogor.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang dan permasalahan

Indonesia merupakan negara penghasil padi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia (Abraham *et al.*, 2016). Dengan luas panen mencapai 15,79 juta ha, produksi padi Indonesia mencapai 81,38 juta ton gabah kering giling (BPS, 2017). Proses produksi beras akan menghasilkan produk samping berupa jerami padi, kulit, dan bekatul. Jerami, yang dihasilkan pada saat pemanenan dan perontokan padi, merupakan produk samping terbesar. Seiring dengan perkembangan produksi padi, maka potensi jerami Indonesia sangat besar dan terus meningkat setiap tahun (Makhrani, 2014).

Sebagai limbah pertanian, jerami bisa menjadi sumber energi alternatif untuk menggantikan energi fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca serta menghindari masalah polusi lokal dari pembakaran terbuka. Jerami padi menarik sebagai bahan bakar karena dapat diperbaharui dan dianggap sebagai netral karbon dioksida (Atchison, 1996). Meski demikian, jerami belum digunakan secara komersial sebagai bahan baku untuk energi karena kurangnya insentif bagi petani dalam mengumpulkan jerami dan menghindari pembakaran.

Secara khusus, jerami memiliki densitas energi dan nilai pemanasan yang rendah. Sebaliknya, jerami merupakan bahan bakar yang lebih makan tempat (*bulky*) dengan karakteristik penanganan dan transportasi yang buruk, berserat dengan kandungan alkali tinggi yang berpotensi menyebabkan terak (*slagging*) dan kegagalan fungsi dari sarangan (Calvo *et al.*, 2012). Jerami juga mengandung silikon oksida (SiO_2) yang bisa mengakibatkan abu kuarsa tinggi yang dapat menyebabkan masalah erosi akibat aliran konvektif pada boiler dan sistem penanganan. Sifat-sifat ini memiliki dampak negatif selama konversi energi seperti efisiensi dan kinerja pembakaran yang rendah, keausan dan perawatan yang tinggi untuk peralatan proses dan dapat menyebabkan masalah operasi yang mempengaruhi keandalan boiler dan tungku dan meningkatkan biaya operasi. Hal ini mengurangi penggunaan jerami padi untuk produksi energi di banyak negara penghasil beras.

Hambatan utama terkait dengan pemanfaatan jerami padi untuk energi adalah biaya yang tinggi untuk dan masalah logistik pengumpulan, pengangkutan, penanganan dan penyimpanan. Bahan bakar jerami telah terbukti sangat sulit untuk dibakar di sebagian besar tungku pembakaran, terutama yang dirancang untuk pembangkit listrik karena pembentukan deposit kerak yang cepat (Baxter *et al.*, 1996) sehingga menghambat laju perpindahan panas,

memicu pembentukan terak dalam tungku dan pada sarangan sehingga mempersulit pengumpulan bahan bakar, pembakaran dan pembuangan abu (Jenkins *et al.*, 1998). Hal ini meningkatkan biaya pembangkitan listrik dari jerami karena rendahnya efisiensi (Kargbo *et al.*, 2009).

Pengelolaan jerami (baik on farm maupun off farm) masih perlu diperbaiki. Selama ini jerami dipakai sebagai bahan pakan sapi dan digunakan sebagai bahan bakar pada industri batu bata dan genteng. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya proses pengumpulan dan transportasi. Hal inilah yang mengakibatkan pengelolaan jerami dengan cara pembakaran terbuka langsung di lahan. Pembakaran terbuka tidak hanya membuang potensi energi secara sia-sia, tetapi juga menghasilkan polusi lingkungan dan merugikan biota tanah.

1.2. Tujuan khusus

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah memperbaiki karakteristik energetik jerami padi dengan melakukan densifikasi jerami menjadi pellet yang lebih kompak dan memiliki nilai energi lebih tinggi.

1.3. Urgensi (keutamaan) penelitian

Penelitian ini sangat penting untuk dapat memanfaatkan jerami menjadi bahan bakar yang lebih baik. Densifikasi akan meningkatkan massa jenis jerami sehingga memudahkan transportasi. Selain itu, bentuk pellet menjadi bahan bakar yang lebih sesuai untuk berbagai kebutuhan, baik gasifikasi maupun penggunaan domestik di dapur. Penelitian ini juga akan memperkuat kerjasama LPPM Unila dengan KIER Korea Selatan dalam meningkatkan kualitas bahan bakar bernilai rendah.

1.4. Target dan kontribusinya terhadap ilmu pengetahuan

Target dari penelitian ini adalah terciptanya teknologi densifikasi sederhana yang temerap baik bagi masyarakat maupun aplikasi industri. Diharapkan temuan ini juga akan membuka peluang aplikasi industri dari jerami sehingga menumbuhkan aktivitas ekonomi desa.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Potensi Jerami Indonesia

Indonesia merupakan negara penghasil beras terbesar di kawasan Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia (Abraham *et al.*, 2016). Pada tahun 2017 luas panen padi di Indonesia diperkirakan mencapai 15,79 juta ha dengan produksi mencapai 81,38 juta ton gabah kering giling (BPS, 2017). Oleh karena itu, padi memiliki posisi penting di Indonesia. Padi menyumbang 21% dari total produksi sektor pertanian nasional (Samuel, 2013). Tabel 1 menunjukkan perkembangan produksi padi di Indonesia dimana Lampung merupakan salah satu provinsi yang menempati peringkat ketiga terbesar di Sumatera.

Tabel 1. Perkembangan produksi padi di Sumatera dan Indonesia (BPS, 2017)

No	Provinsi	2013	2014	2015	2016	2017
1	Aceh	1.956.940	1.820.062	2.331.046	2.205.056	2.658.287
2	Sumatera Utara	3.727.249	3.631.039	4.044.829	4.609.791	5.145.204
3	Sumatera Barat	2.430.384	2.519.020	2.550.609	2.503.452	2.773.478
4	Riau	434.144	385.475	393.917	373.536	373.537
5	Jambi	664.535	664.720	541.486	752.811	782.180
6	Sumatera Selatan	3.676.723	3.670.435	4.247.922	5.074.613	4.766.837
7	Bengkulu	622.832	593.194	578.654	641.881	704.493
8	Lampung	3.207.002	3.320.064	3.641.895	4.020.420	4.324.445
9	Kep. Bangka	28.480	23.481	27.068	35.388	29.567
10	Kep. Riau	1.370	1.403	959	627	643
	Total Indonesia	71.279.70	70.846.46	75.397.84	79.354.76	81.382.45

Proses produksi beras akan menghasilkan produk samping berupa jerami padi, kulit, dan bekatul. Jerami dihasilkan pada saat pemanenan dan perontokan padi. Jerami meliputi bagian yang tertinggal pada saat panen (batang dan daun) dan setelah gabah dirontokkan (malai, merang) dan merupakan yang paling besar di antara kedua produk samping lainnya. Setiap kg beras putih akan menghasilkan jerami sebanyak 0,7–1,4 kg tergantung dari varitas, tinggi pemotongan, dan kadar air selama pemanenan (IRRI, 2018). Menurut Yasa (2011), produksi jerami padi kering di Indonesia mencapai 2,0 hingga 3,9 ton/ha per panen, atau sekitar 4,0 hingga 7,8 ton/ha/tahun. Angka ini sebanding dengan hasil penelitian Djajanegara dan Rangkuti (1983) sebesar 2,3 ton/ha/panen, dan Marsetyo (2008) sebesar 3,86 ton/ha/tahun. Penelitian di Vietnam menghasilkan angka yang hampir sama, yaitu 4,72 ton/ha (Nguyen *et al.*, 2016). Makhrani (2014) menunjukkan dalam kurun waktu 2001-2012, potensi jerami padi Indonesia meningkat sebesar 36,8% atau rata-rata 3,1 % per tahun. Jerami padi memiliki nilai kalori antara 13,38 MJ/kg (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010) hingga 15,26 MJ/kg (Mondal and Denich, 2010).

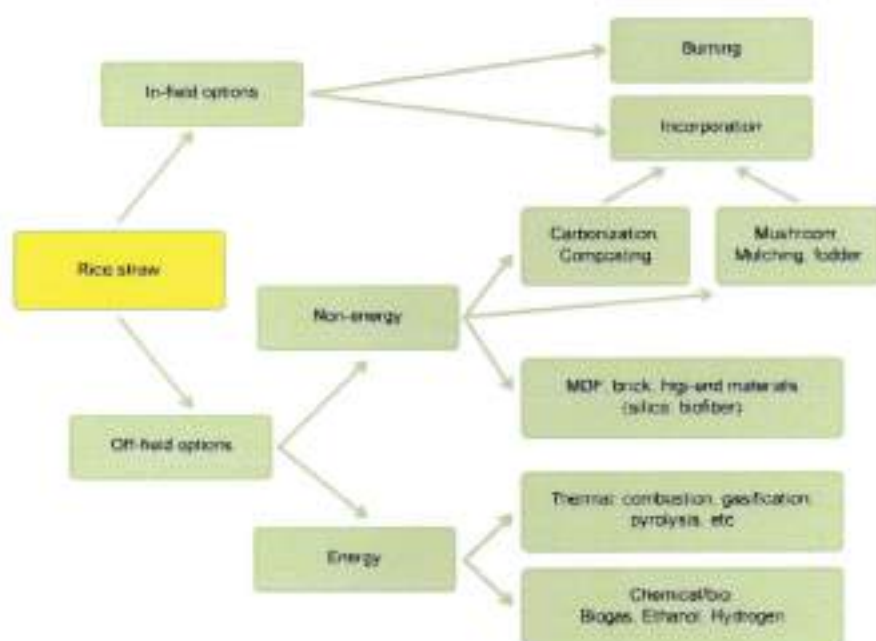
Jerami masih merupakan sumber energi (bahan bakar) utama bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al.*, 2005). Jerami dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan bakar memasak dan mengeringkan hasil pertanian, pakan ternak, lantai kandang, dan bahan baku proses industri. Sebagai biomassa lignoselulosik, jerami tersusun atas tiga komponen, yaitu: lignin, selulose, dan hemiselulose. Selulose dan hemiselulose adalah serat organik, sedangkan lignin adalah dinding sel (Klass, 1998). Jerami memiliki massa jenis yang rendah, yaitu 70–80 kg/m³ pada kadar air 15–18%. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya proses pengumpulan dan transportasinya. Tabel 1 memberikan sifat dan komposisi jerami padi.

Table 1. Sifat-sifat jerami padi.

HHV (MJ/kg)	Analisis Proksimat			Analisis Ultimate (% bk)						Referensi
	Fix C	VS	Ash	C	H	N	S	Cl	Ash	
15.09	15.86	65.47	18.67	38.2	5.2		0.87	0.12	20.26	Jenkins <i>et al.</i> , 1998
14.57				35.94		1.18			22.00	Munder, 2013
14.08				33.7	4.0	1.71	0.16	0.32	29.1	Guillemot <i>et al.</i> , 2014

2.2. Manajemen Jerami

Pengelolaan jerami padi dapat dibedakan menjadi pengelolaan di lahan (*on-field*) dan di luar lahan (*off-field*) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Opsi pengelolaan dan pemanfaatan jerami padi (IRRI, 2018).

2.2.1. Pengumpulan Jerami Padi

Pengumpulan jerami masih menjadi tantangan utama dalam rantai penyediaan jerami untuk penggunaan lebih lanjut. Jerami perlu dikumpulkan dari lahan dan diikat supaya lebih kompak dan memudahkan transportasinya. Dengan penggunaan mesin combine harvester, proses pengumpulan jerami padi makin sulit dan makin mahal karena jerami tercecer dan tersebar di lahan (Munder, 2013). Studi di Vietnam menunjukkan bahwa pengumpulan jerami secara mekanis berkapasitas 0,87–2,47 ton/jam dapat menekan kebutuhan tenaga kerja hingga 90%. Total konsumsi energi untuk pengumpulan mekanis berkisar antara 351 hingga 588 MJ/ton atau sekitar 10–17% dari nilai energi jerami. Konsumsi energi fosil menghasilkan emisi 60–165 kg CO₂ per ton jerami dan biaya pengumpulan jerami di Vietnam antara US\$12 hingga US\$18 per ton (Nguyen *et al.*, 2016). Pengumpulan jerami secara mekanis dapat mencegah pembakaran di lahan, menjamin keberlangsungan pasokan feedstock untuk penggunaan lebih lanjut, dan memberikan nilai tambah bagi budidaya padi.

2.2.2. Pembakaran Langsung Terbuka

Penggunaan mesin pemanen combine mengakibatkan sulitnya pengumpulan jerami sehingga petani cenderung untuk membakar jerami (Samuel, 2013). Sifat jerami yang lepas telah mendorong pembakaran terbuka di lahan karena lebih efektif memusnahkan material biomassa dan membantu mengendalikan gulma, hama dan penyakit (Ponnamperuma, 1984). Namun, pembakaran juga memberikan efek negatif yang meliputi kehilangan unsur hara, penipisan bahan organik tanah, dan pengurangan keberadaan biota tanah yang menguntungkan (Mandal *et al.*, 2004). Jerami yang terbakar di lahan juga menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) dan polutan seperti CH₄, SO₂, NO_x, HCl, dioksin, dan furan (Oanh *et al.*, 2011; Jenkins *et al.*, 2003). Pembakaran jerami padi juga menjadi sumber partikel aerosol penting seperti debu kasar (PM₁₀) dan halus (PM_{2.5}) (Chang *et al.*, 2013), yang mempengaruhi kualitas udara regional dan budget radiasi bumi (Engling *et al.*, 2009).

2.2.3. Pencampuran Jerami ke Tanah

Pencampuran jerami ke tanah adalah salah satu cara mengembalikan bahan organik ke dalam tanah dan merupakan strategi untuk mengelola jerami padi. Tetapi, jika dilakukan secara tidak benar dan tidak efektif dapat mengakibatkan penurunan efisiensi produksi (Mandal *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2005; Dobermann dan Fairhurst, 2002) dan meningkatkan emisi GRK (Sander *et al.*, 2014). Proses dekomposisi jerami memerlukan waktu panjang sehingga untuk

sistem budidaya dengan 2-3 kali panen/tahun terkendala oleh waktu penyiapan lahan yang terlalu cepat bagi dekomposisi jerami, yang tidak selesai sebelum musim tanam berikutnya.

2.2.4. Jerami untuk Produksi Biochar

Biochar dihasilkan melalui dekomposisi termal bahan organik atau biomassa dalam kondisi sedikit oksigen pada suhu 500 sampai 700 °C. Penggunaan jerami untuk menghasilkan biochar memiliki potensi besar. Biochar dapat digunakan sebagai amandemen tanah untuk memperbaiki produktivitas tanah, penyimpanan karbon, dan penyaringan air tanah perkolasi (Lehmann dan Joseph, 2009). Penyerapan karbon pada aplikasi biochar membantu mengurangi ancaman perubahan iklim yang disebabkan oleh emisi GRK di atmosfer.

2.2.5. Jerami sebagai Sumber Pakan

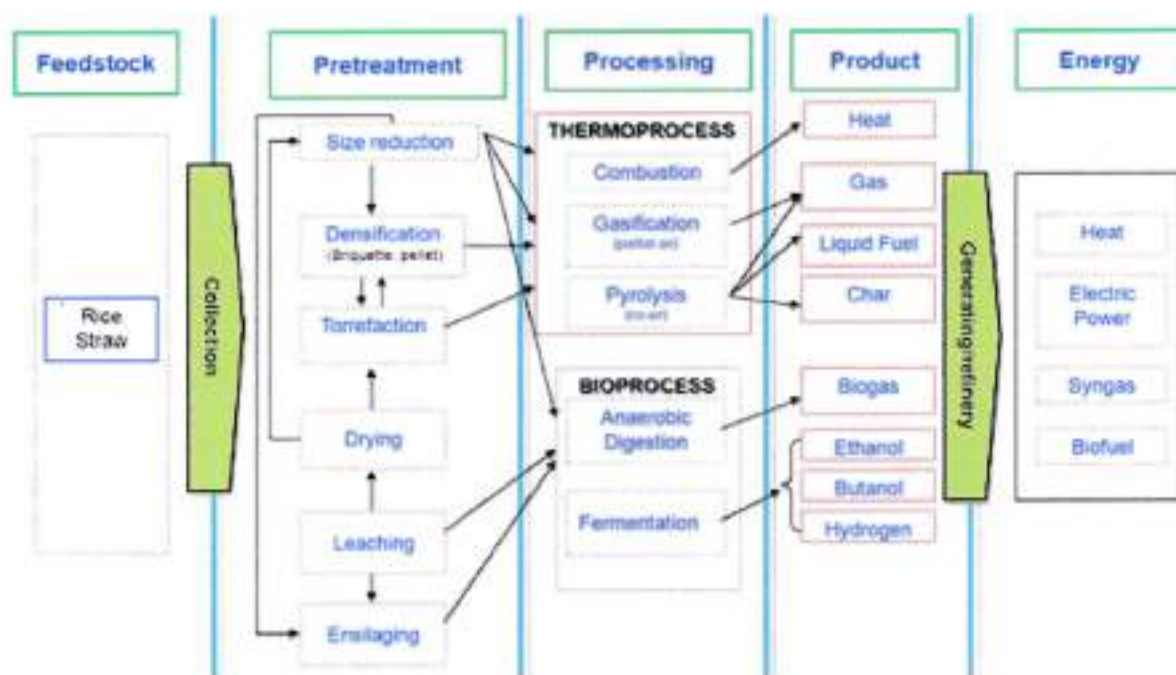
Dari potensi jerami yang ada, 21% telah digunakan sebagai pakan sapi, 18% untuk mulsa, dan sisanya (61%) dibakar secara terbuka di lahan (Samuel, 2013). Penggunaan jerami padi sebagai pakan ternak merupakan pemandangan umum di Asia Tenggara. Rata-rata asupan jerami padi harian maksimum untuk ternak ruminansia adalah sekitar 1,0 hingga 1,2 kg per 100 kg berat hidup (Devendra dan Thomas, 2002). Jerami padi tanpa fermentasi hanya memiliki sejumlah kecil energi dan nutrisi penting yang dapat dicerna untuk pertumbuhan ternak. Batang jerami mengandung sedikit silika (Drake *et al.*, 2002) sehingga lebih mudah dicerna dibandingkan dengan daun yang memiliki kadar silika lebih tinggi dan dianggap sebagai pakan yang buruk (Singh dan Sidhu, 2014). Oleh karena itu, tanaman padi harus dipotong dekat dengan permukaan tanah jika digunakan untuk pakan.

2.2.6. Jerami Padi sebagai Sumber Energi

Jerami padi dapat digunakan untuk menghasilkan bahan bakar, panas, atau listrik melalui proses termal, kimia, atau biologi seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Namun, masih ada hambatan untuk menggunakan jerami padi untuk konversi energi:

- Dinding lignin dalam jerami padi menghambat pencernaan, yang mengurangi efisiensi proses konversi energi secara biologi (biogas atau etanol) (Klass 1998).
- Kandungan silika tinggi pada jerami padi menyebabkan komponen mesin pengolah, seperti pencacah atau penggiling, cepat aus. Kandungan bahan volatil pada jerami padi lebih tinggi dari pada kayu dan jauh lebih tinggi daripada batubara, sedangkan karbon tetap jauh lebih rendah daripada batubara. Kandungan abu dalam jerami padi jauh lebih tinggi daripada kayu dan batubara (Jenkins *et al.*, 1996, Jenkins 1998).

- Kandungan abu, alkali, dan potasium yang tinggi dalam jerami padi menyebabkan aglomerasi, fouling, dan pelelehan pada komponen boiler (Baker, 2000; Lim *et al.*, 2012).



Gambar 2. Potensi proses konversi energi jerami padi (IRRI, 2018).

2.2.6.1. Pembangkit Listrik Tenaga Jerami

Guillemot *et al.* (2014) melaporkan studi tentang kelayakan pembangkit listrik jerami padi berkapasitas 1 MW di IRRI (International Rice Research Institute). Sistem pembangkit menggunakan teknologi Organic Rankine Cycle (ORC) yang menghasilkan listrik dari energi panas minyak (atau uap jenuh) dalam boiler yang dipanaskan melalui pembakaran biomassa. Boiler memindahkan panas dari minyak ke fluida kerja, memanaskan dan menguapkannya. Minyak atau uap dikondensasikan dan didinginkan sebelum disirkulasikan kembali ke boiler. Fluida kerja yang menguap menggerakkan turbin, yang kemudian menggerakkan generator asinkronus. Proses ORC dapat bekerja dengan mudah pada suhu yang bervariasi, sehingga memungkinkan bekerja dengan bahan bakar yang sulit seperti jerami padi. Pemanfaatan jerami untuk membangkitkan listrik dapat mengatasi kelangkaan energi listrik dan mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan masalah lingkungan di Indonesia (Makhrani, 2014; Sidjabat, 2011). Mengacu pada angka yang diberikan oleh Abraham *et al.* (2016) maka potensi jerami padi Indonesia pada 2017 mencapai antara 81,38 juta hingga 122,07 juta ton. Jika setiap MW listrik memerlukan 10 ton jerami padi (Yadav *et al.*, 2015), maka jerami padi di Indonesia berpotensi membangkitkan daya listrik sebesar 8.138 hingga 12.207 GW.

2.2.6.2. Jerami untuk Menghasilkan Biogas

Seperti terlihat pada Gambar 2, jerami padi dapat digunakan sebagai sumber energi melalui dua rute, yaitu proses biologi dan proses termal. Melalui proses fermentasi, jerami berpotensi sebagai feedstock untuk bioetanol (Sidjabat, 2011). Rute biologi lainnya, penguraian anaerobik (AD), adalah teknologi konversi energi yang potensial untuk jerami. Proses ini menghasilkan biogas yang dapat digunakan untuk memasak, memanaskan udara untuk pengeringan, atau menghasilkan listrik. Baru-baru ini kami melaporkan bahwa penambahan jerami pada kotoran sapi terbukti dapat meningkatkan produksi biogas total (Haryanto *et al.*, 2017). Studi penggunaan jerami padi melalui AD skala kecil dilakukan oleh Can Tho University (Vietnam) pada tahun 2013. Jerami dicampur dengan kotoran ternak sebanyak 50-80%. Sistem menghasilkan biogas sekitar 600 L/kg jerami dengan kandungan metana 50-55%.

2.2.6.3. Gasifikasi Jerami

Proses termal yang paling banyak dilakukan adalah melalui pembakaran langsung untuk keperluan domestik seperti masak, industri kecil-menengah, dan pengoperasian turbin uap skala kecil. Tetapi, pembakaran langsung adalah proses yang tidak efisien. Contohnya, tungku yang digunakan dalam pembuatan gula merah mempunyai efisiensi 15% – 18,6%; sedangkan efisiensi tungku dapur, kedai makan dan industri kecil-menengah bervariasi dari 1,6% – 23,9% (Nurhayati, *et al.*, 2006).

Gasifikasi merupakan teknologi yang banyak digunakan saat ini untuk mengkonversi biomassa. Berbagai negara seperti China dan India telah mengembangkan teknologi ini untuk menghasilkan energi terbarukan yang bersih (Zhang *et al.*, 2014). Gasifikasi merupakan proses kimia dimana substansi seperti C, H, O dikonversi menjadi syngas yang terdiri dari CO, H₂, CH₄, dan sebagainya. Setelah dibersihkan dari tar dan impuritas lainnya, syngas dapat didistribusikan untuk digunakan sebagai bahan bakar maupun feedstock industry. Gasifikasi jerami tidak hanya mengurangi polusi udara tetapi juga memperbaiki kualitas rumah tangga lokal. Selain itu, teknologi gasifikasi jerami memberikan cara yang efektif untuk mengatasi kekurangan bahan bakar fosil. Delivand *et al.* (2011) menyimpulkan bahwa kapasitas pembangkit 8-10 MW lebih praktis dan memenuhi kriteria keekonomian. Sementara itu studi di Pakistan menyimpulkan bahwa gasifikasi biomassa layak diimplementasikan di wilayah pedesaan dengan populasi rata-rata 200 keluarga dan atau untuk industri kecil (Khan, 2015).

2.2.6.4. *Densifikasi*

Tanpa modifikasi, jerami padi merupakan bahan bakar yang buruk untuk suhu operasional yang tinggi dan efisiensi sistem yang tinggi akibat konsentrasi abu dan kandungan silika dan logam alkali yang tinggi (Jenkin *et al.*, 2000). Kombinasi bahan anorganik mengakibatkan kegagalan pada sebagian besar tungku dan boiler. Kegagalan ini telah menghambat pemanfaatan jerami untuk boiler skala besar, bahkan di wilayah dimana boiler berdekatan dengan sumber jerami.

Keterbatasan utama penggunaan jerami padi sebagai bahan baku untuk produk bioenergi adalah kerapatan curahnya yang rendah, berkisar antara 80-100 kg/m³. Kerapatan biomasa yang rendah menyulitkan penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Salah satu upaya untuk mengatasi keterbatasan ini adalah meningkatkan kepadatan biomassa melalui densifikasi atau peletisasi yang dapat meningkatkan kerapatan (densitas) hingga 10 kali. Densifikasi adalah proses pemadatan yang menghasilkan bahan bakar yang homogen dengan densitas energi tinggi. Proses ini melibatkan tahap-tahap pengeringan, penggilingan, pengkondisian, pencetakan pelet, dan pendinginan pelet. Keuntungan penting dari densifikasi adalah untuk mengatasi masalah densitas biomassa yang rendah yang berdampak pada biaya transportasi serta ruang penyimpanan (Tulumuru, 2011).

Kadar air dari bahan baku (jerami) yang ideal untuk pembuatan pellet berkisar dari 8 – 15 % dasar basah (Whittaker and Shield, 2017). Jika bahan terlalu kering, permukaan bahan bisa menjadi arang dan pengikat (binder) akan terbakar sebelum proses selesai, sedangkan jika terlalu basah, maka uap air pada saat pengepresan tidak bisa lepas sehingga memperbesar volume pellet dan membuatnya lemah secara mekanis (van Loo and Koppejan, 2008).

Densifikasi biomassa terjadi dalam tiga tahap (Mani *et al.*, 2002). Pertama, partikel-partikel biomassa disusun untuk membentuk massa yang kompak dimana sebagian besar partikel mempertahankan sifatnya dan energi dilepaskan akibat gaya gesekan antar partikel dan antara partikel dengan dinding. Kedua, partikel saling terdorong dan mengalami deformasi plastis dan elastic, yang secara signifikan meningkatkan kontak antar partikel sehingga partikel menjadi terikat oleh gaya van der Waals dan gaya elektrostatis. Ketiga, penyusutan volume yang signifikan mengakibatkan densitas material mencapai densitas komponen penyusunnya. Pada akhir tahap ketiga, partikel-partikel yang terdeformasi dan patah tidak bisa lagi mengubah posisinya akibat turunnya angka kavitas dengan kesesuaian antar partikel 70%.

2.3. Roadmap (Peta Jalan)

Penelitian penggunaan jerami sebagai sumber energi sudah kami lakukan melalui rute proses biologi dengan penguraian anaerobik untuk menghasilkan biogas. Penelitian kali ini adalah untuk mengkaji tahap awal rute termal. Sebagaimana sudah disajikan, kekurangan jerami yang paling mencolok adalah rendahnya densitas. Oleh karena itu, tahap awal yang harus dilakukan adalah mengatasi kekurangan ini dengan cara densifikasi. Tujuan akhir dari penelitian secara keseluruhan adalah memperbaiki kualitas jerami sebagai sumber energi dalam bentuk pellet sehingga mudah disimpan, dikelola, dan diangkut, serta memiliki nilai energi lebih tinggi dan karakteristik lain yang sesuai untuk proses konversi termal. Tabel 1 menunjukkan peta jalan (roadmap) penelitian ini.

Tabel 1. Roadmap penelitian

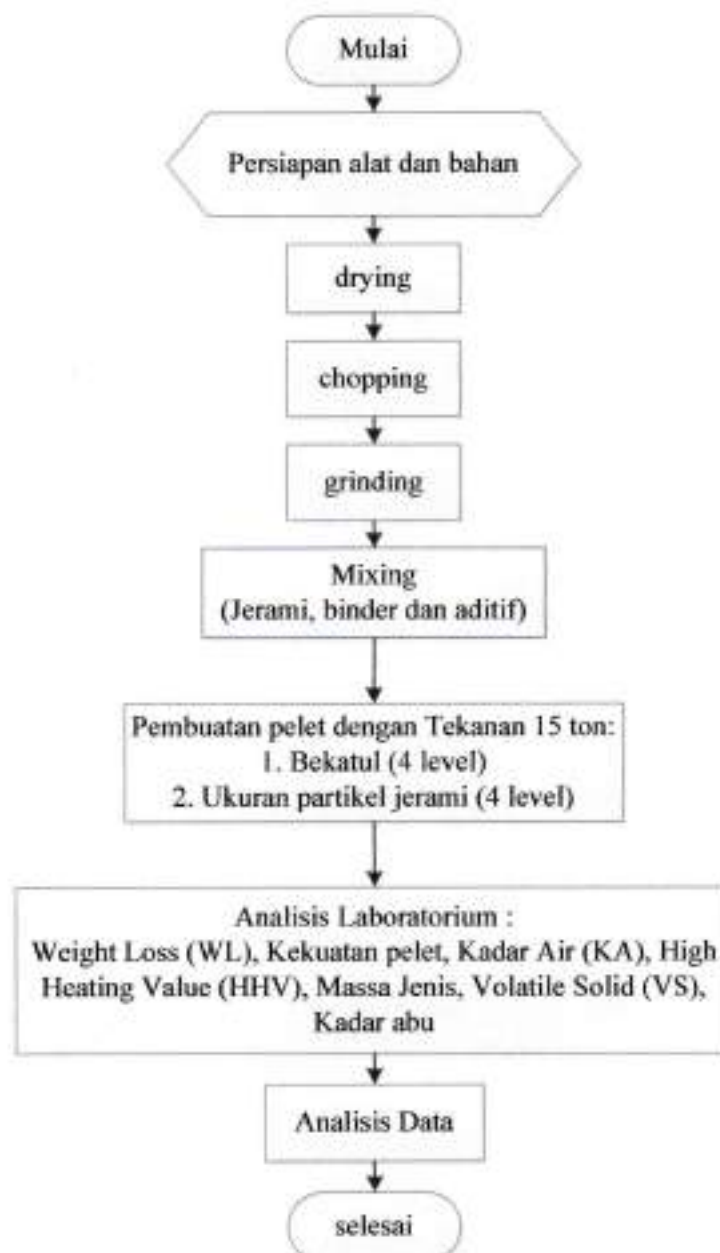
Tahun	Topik penelitian*	Target Luaran
2017	Jerami untuk Produksi Biogas dari Kotoran Sapi: # Pengaruh Loading Rate dan Penambahan Urea*	Seminar AESAP II, Bogor, 23 Okt 2017 (Prosiding IOP)
	# Pengaruh Frekwensi Pengumpanan**	Jurnal Agritech
2018	Densifikasi Jerami Padi: # Pengaruh Tekanan # Pengaruh Binder # Pengaruh Aditif	Paper pada jurnal IJRER Paper pada jurnal Biotropia
2019	Torefaksi Jerami Padi:	Paper pada jurnal IJRER
2020	Gasifikasi Jerami Padi	Paper pada jurnal IJRER

*) Sudah dikerjakan; **) sedang dilakukan (belum selesai)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di Lab. Daya dan Alat Mesin Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung, pada bulan September-Oktober 2018. Gambar 3 menunjukkan diagram alir pelaksanaan penelitian.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi yang akan diambil dari persawahan di Desa Sidosari, Kec. Natar, Kab. Lampung Selatan. Jerami akan diukur sifat

fisik dan kimianya seperti massa jenis, kadar air, kadar abu, dan komposisi elemen. Jerami kemudian dijemur hingga kadar air sekitar 12% (basis basah) lalu dipotong-potong kecil (maksimum panjang 3 cm). Potongan jerami kemudian dihaluskan menggunakan hammer mill. Jerami giling kemudian diayak dengan ayakan 60 mesh dan 100 mesh untuk menghasilkan partikel jerami halus (lolos 100 mesh), sedang (lolos 60 mesh, tidak lolos 100 mesh), dan partikel jerami kasar (tidak lolos 60 mesh). Jerami giling dibuat menjadi pellet pada tekanan 15 ton dengan kombinasi perlakuan penambahan bekatul sebagai perekat (binder) dari 0, 5, 10, dan 15%. Semua perlakuan dilakukan dengan 3 kali ulangan.

3.3. Parameter

Parameter yang diukur berikut metode yang digunakan meliputi: kadar air, kadar abu dan volatile, massa jenis, kekuatan pelet, persen penurunan berat (*weight loss*), dan nilai energi.

3.4. Analisis

(a) Massa Jenis Jerami (ρ_j):

Sebuah wadah kosong (ember) yang sudah diukur volumenya (V) ditimbang (W_1), lalu diisi dengan sampel jerami dan ditetal longgar hingga penuh untuk memastikan tidak ada ruang kosong yang besar. Ember berisi sampel kemudian ditimbang (W_2). Massa jenis jerami segar (ρ_j) dihitung menggunakan persamaan (1):

$$\rho_j = (W_2 - W_1)/V \quad \dots\dots\dots (1)$$

(b) Massa Jenis Pellet (ρ_p):

Tiga pellet dipilih secara acak dari setiap perlakuan untuk evaluasi sifat fisiknya. Massa jenis rata-rata ditentukan segera setelah dikeluarkan dari mesin pencetak sebagai rasio massa terukur terhadap volume yang dihitung. Massa pellet (m) diukur menggunakan neraca digital, sedangkan volume pellet (V) dihitung dengan mengukur diameter (d) dan panjang pellet (l) menggunakan kaliper vernier digital. Massa jenis pellet jerami (ρ_p) dihitung dengan:

$$\rho_p = m/V = 4 m/(\pi)(d)(l) \quad \dots\dots\dots (2)$$

(c) Kekuatan Pelet:

Kekuatan pellet ditentukan sesuai dengan indeks pecah yang dilakukan dengan menjatuhkan sampel pellet dari ketinggian dua meter ke lantai semen atau beton. Fraksi pellet yang tertahan digunakan sebagai indeks ketahanan pellet. Persentase penurunan berat pellet (WL) dinyatakan sebagai persentase dari massa awal bahan, sedangkan ketahanan pecah diperoleh dengan mengurangkan persentase penurunan berat dari 100 :

$$WL = 100\% \times (m_1 - m_2)/m_1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$DI(\%) = 100 - WL \dots\dots\dots(4)$$

dimana m_1 dan m_2 berturut-turut adalah massa pellet sebelum dan sesudah uji jatuh.

(d) Kadar Air (KA):

Kadar air bahan ditentukan pada tiga sampel dengan metode gravimetric. Sampel ditempatkan dalam cawan porselin dan oven pada suhu 105 °C selama 24 jam. Setelah dikeluarkan dari oven, sampel dimasukkan ke dalam desikator untuk mendingin selama 5 menit. Kadar air dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$KA_{bb} = 100 \% \times [(w_2 - w_1) - (w_3 - w_1)]/[w_2 - w_1] \dots\dots\dots (5)$$

$$KA_{bk} = 100 \% \times [(w_2 - w_1) - (w_3 - w_1)]/[w_3 - w_1] \dots\dots\dots (6)$$

dimana w_1 adalah massa cawan kosong (g), w_2 adalah massa cawan plus sampel awal (g), dan w_3 adalah massa cawan plus sampel kering (g).

(e) Padatan Menguap (Volatile solid) dan Kadar Abu

Persentase bahan padatan menguap atau volatile solid (VS) ditentukan dengan menghancurkan 2 g sampel pellet dalam cawan porselin mengeringkannya di dalam oven seperti sebelumnya. Pellet kering kemudian ditimbang dan dibakar dalam suatu tanur pada suhu 550 °C selama 2 jam. Hasil pembakaran didinginkan dalam desikator lalu ditimbang. VS dan kadar abu (Ash) dihitung dengan:

$$VS (\%) = 100\% \times (A - B)/A \dots\dots\dots(7)$$

$$Ash = 100\% - VS \dots\dots\dots(8)$$

dimana A adalah massa sampel kering (g) dan B massa sampel setelah dibakar.

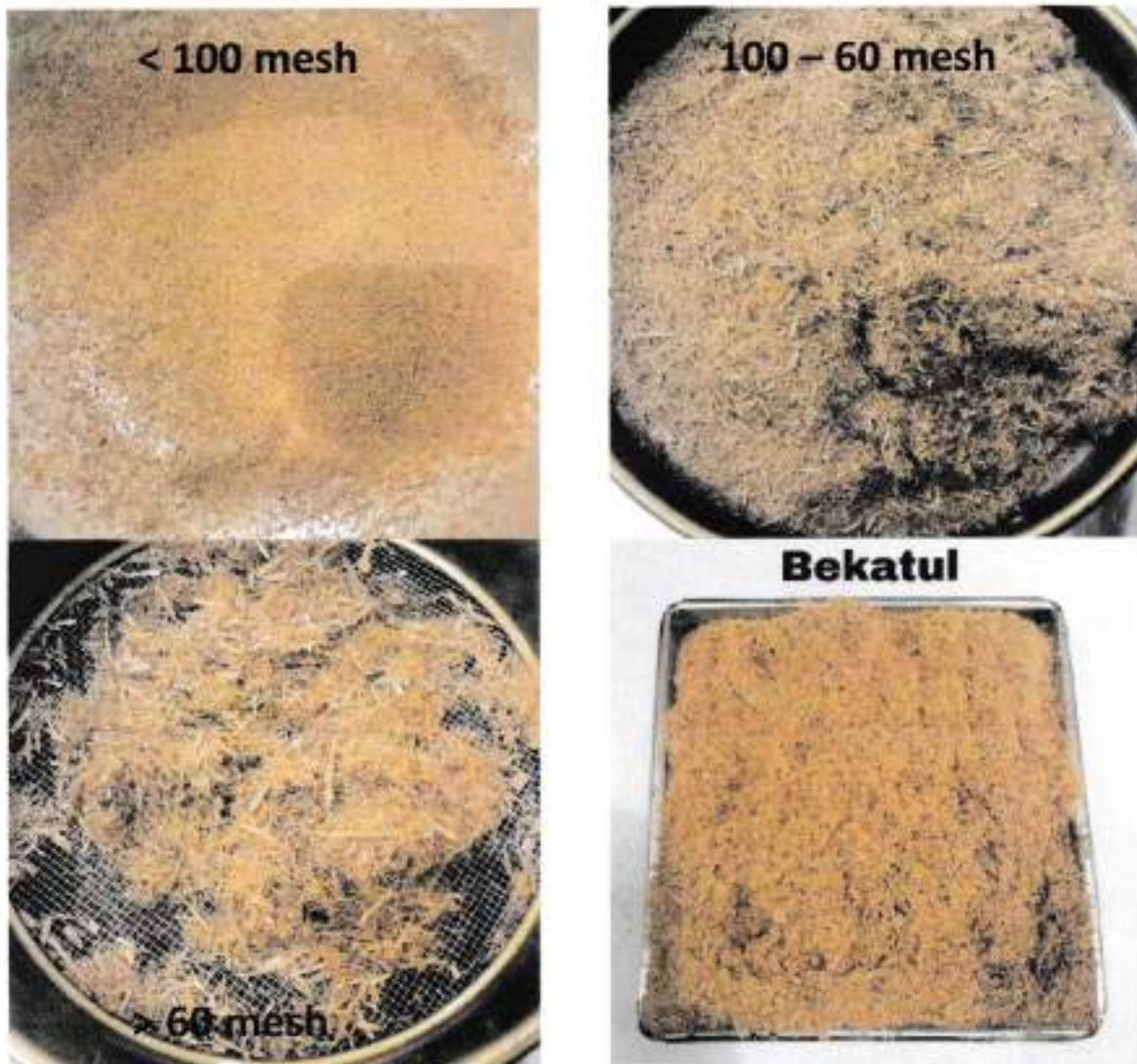
(f) Nilai Kalori (HHV)

Nilai kalori pellet diukur menggunakan bomb calorimeter. Satu gram sampel pellet yang sudah dikeringkan oven dihancurkan lalu dimasukkan ke dalam crucible nikrom. Benang katun sepanjang 15 cm ditempatkan pada sampel sebagai penyulut untuk memfasilitasi penyalaan. Kedua elektroda dari kalorimeter dihubungkan menggunakan kawat nikrom. Oksigen dipompa ke dalam bomb hingga tekanan 3000 kPa. Nyalakan bomb calorimeter dan input data berat sampel. Bomb calorimeter akan bekerja. Tunggu beberapa saat hingga hasilnya (HHV_d) ditampilkan di layar. Nilai kalori sampel (MJ/kg) dihitung dengan memperhitungkan kadar air bahan (KA_{bb}):

$$HHV_w = HHV_d (1 - KA_{bb}) \dots\dots\dots (10)$$

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.1 menunjukkan partikel jerami padi yang sudah digiling dan diayak dengan ayakan ukuran 60 dan 100 mesh. Hasil penggilingan jerami kering menggunakan hammer mill menghasilkan distribusi partikel halus (lolos ayakan 100 mesh) mencapai 22,8%, partikel sedang (lolos ayakan 60 mesh, tidak lolos ayakan 100 mesh) paling banyak mencapai 40,7%, dan partikel kasar (tidak lolos ayakan 60 mesh) mencapai 36,5%. Dalam gambar juga ditampilkan bekatul yang akan digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan pelet dari jerami padi. Bekatul dipilih karena memiliki kandungan minyak yang diharapkan dapat menjadi perekat.



Gambar 4.1. Fraksi ukuran partikel jerami dari penggilingan menggunakan hemmer mill dan bekatul.

Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik jerami padi sebagai bahan bakar. Sifat yang paling mencolok dari jerami padi adalah masa jenis kamba (bulk density) yang sangat rendah, yaitu hanya 0,065 gram/cm³ atau 0,065 ton/m³ atau 65 kg/m³. Ini berarti satu truk dengan kapasitas 10 ton hanya akan memuat 650 kg atau 6,5 kwintal. Jika pengikatan dan penumpukan mengakibatkan pemadatan hingga 3 kali lipat maka, truk dengan kapasitas 10 ton hanya sanggup mengangkut jerami 2 ton. Efek nyata dari sifat ini adalah mahal biaya transportasi.

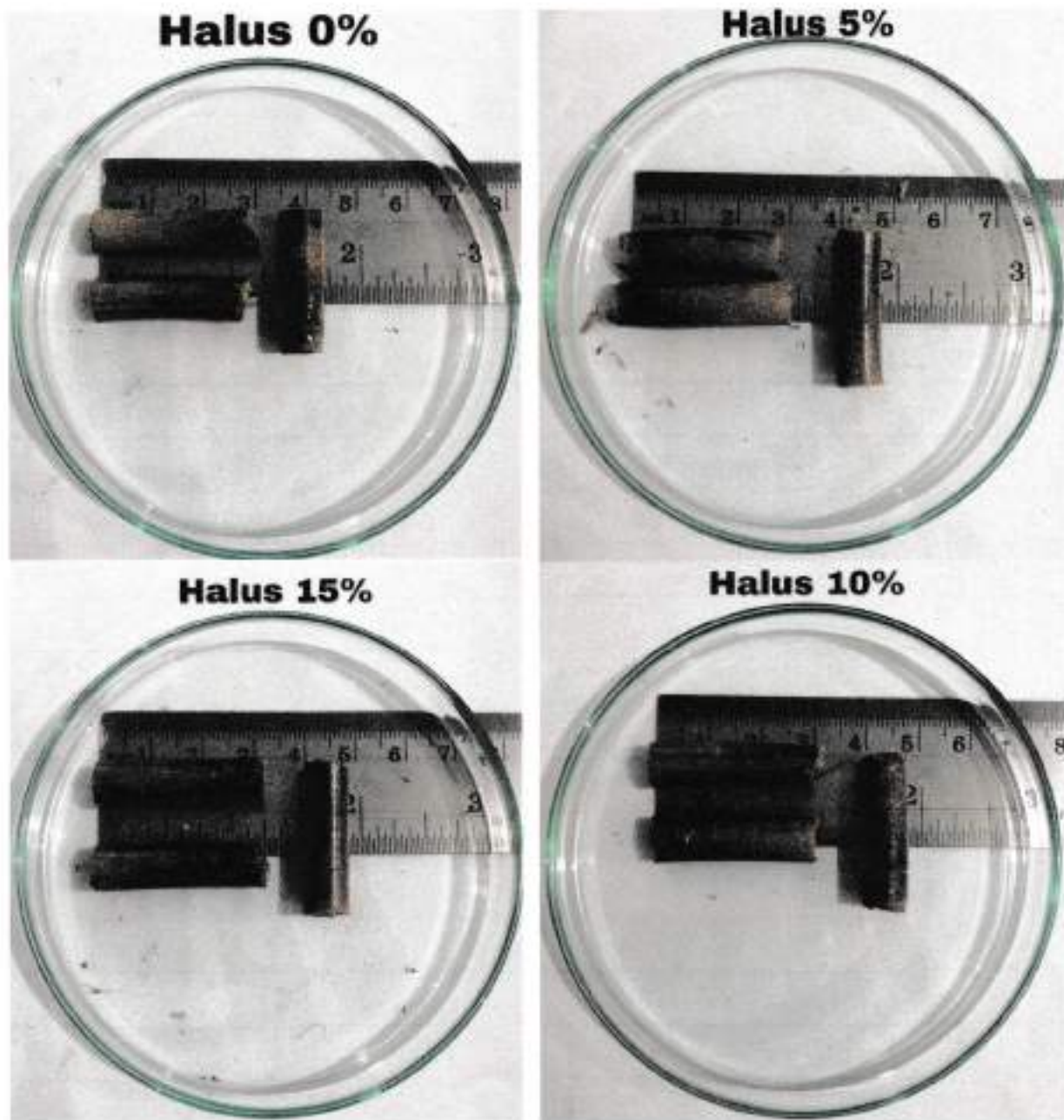
Tabel 4.1. Karakteristik jerami padi.

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Kadar air	%	11
2	Distribusi ukuran partikel		
	Halus (lolos ayakan 100 mesh)	%	22,8
	Sedang (lolos ayakan 60 mesh, tidak lolos ayakan 100 mesh)	%	40,7
	Kasar (tidak lolos ayakan 60 mesh)	%	36,5
3	Masa jenis kamba (bulk density) jerami giling	g/cm ³	0,065
4	Kadar abu (Ash)	% TS	28,48
5	Kadar volatile (VS)	% TS	71,52
6	Nilai energi (HHV, high heating value)	MJ/kg	17,4

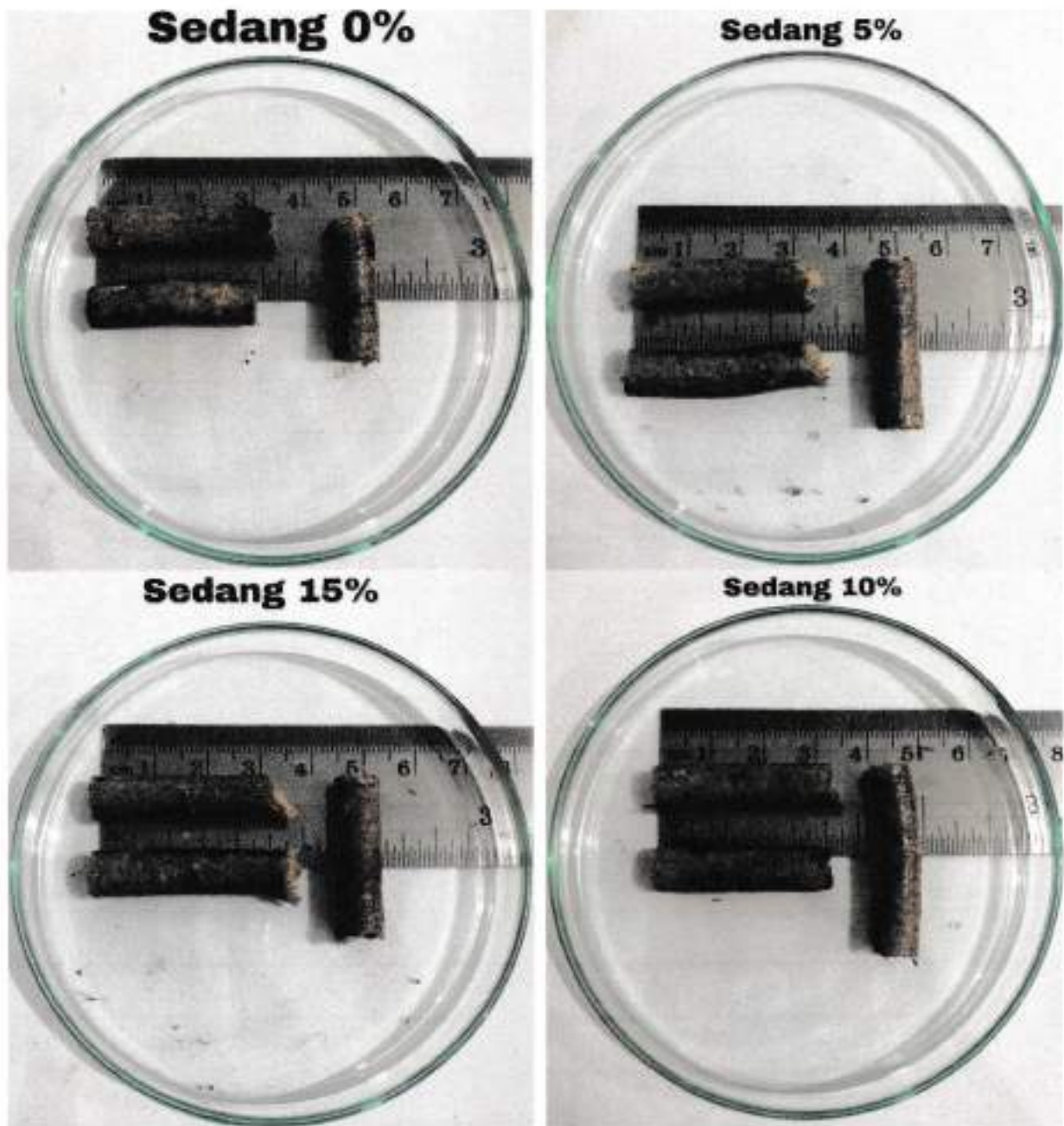
Gambar 4.1 hingga 4.5 menunjukkan visualisasi pelet yang diperoleh dengan aplikasi tekanan 15 ton pada berbagai penambahan bekatul (0 hingga 15%) dan ukuran partikel jerami (> 100 mesh, 100 hingga 60 mesh, < 60 mesh dan campuran). Secara kasat mata, terlihat bahwa ukuran partikel kecil hingga sedang (lolos ayakan 60 mesh) menghasilkan pelet yang lebih baik. Pelet tampak lebih kompak dan kuat. Sedangkan partikel yang tidak lolos ayakan 60 mesh dan partikel yang tidak diayak (campuran), menghasilkan pelet yang tidak begitu kompak. Penambahan bekatul juga berpengaruh pada kekuatan pelet yang terlihat dari kenampakan (visual) pelet. Bahan yang diberi penambahan bekatul menghasilkan pelet yang lebih kompak dan lebih kuat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa ukuran partikel dan penambahan bekatul berpengaruh pada karakteristik pelet yang dihasilkan dari jerami padi. Gambar 4.6 menyajikan hubungan antara faktor penelitian (ukuran partikel dan penambahan bekatul) terhadap masa jenis pelet. Terlihat dengan jelas bahwa makin kecil ukuran partikel menghasilkan pelet dengan masa

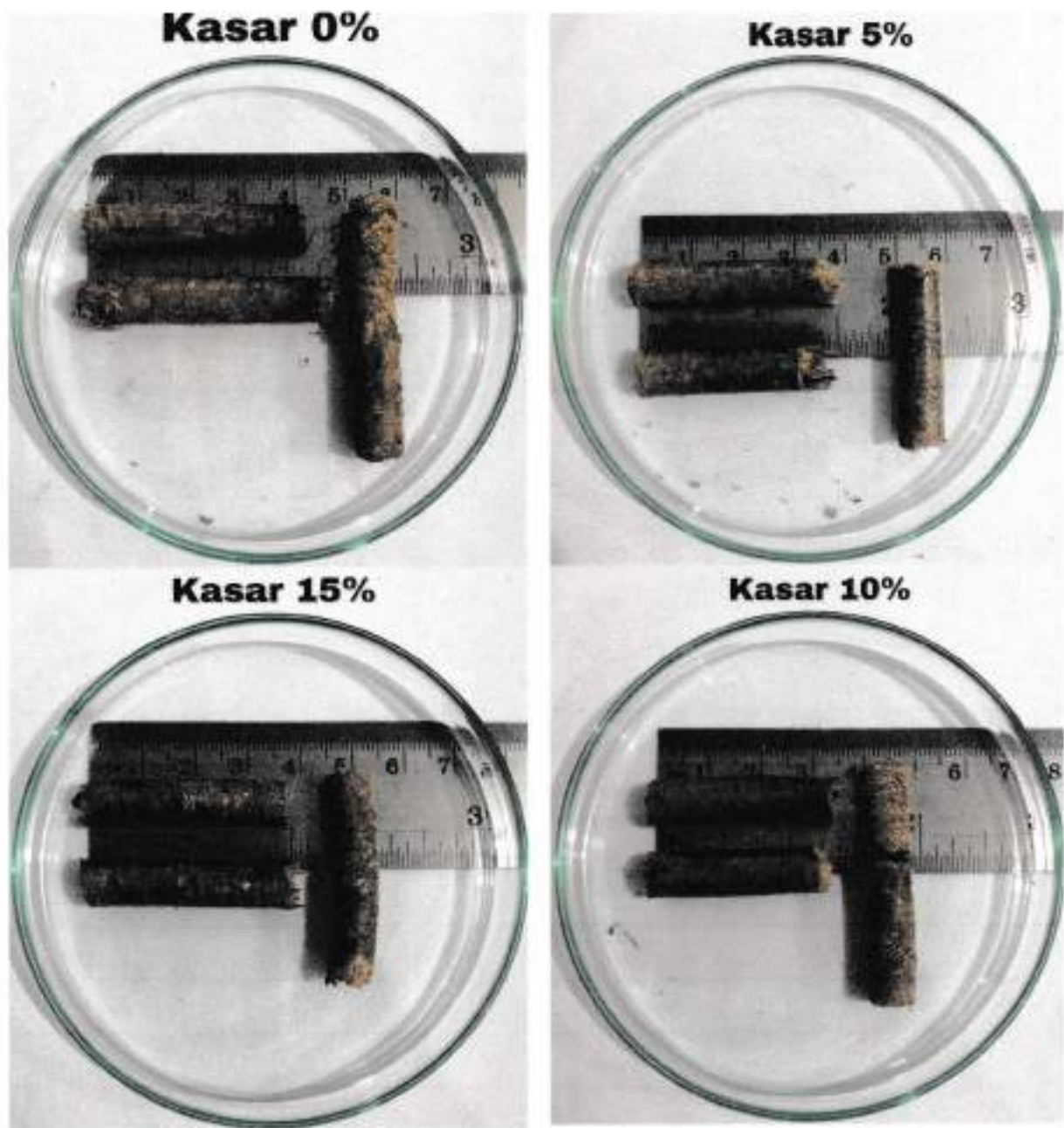
jenis yang makin tinggi. Dibandingkan dengan bahan jerami, pelet yang dihasilkan dari pengepresan dengan dongkrak berkekuatan 15 ton memiliki masa jenis antara 14 - 20 kali.



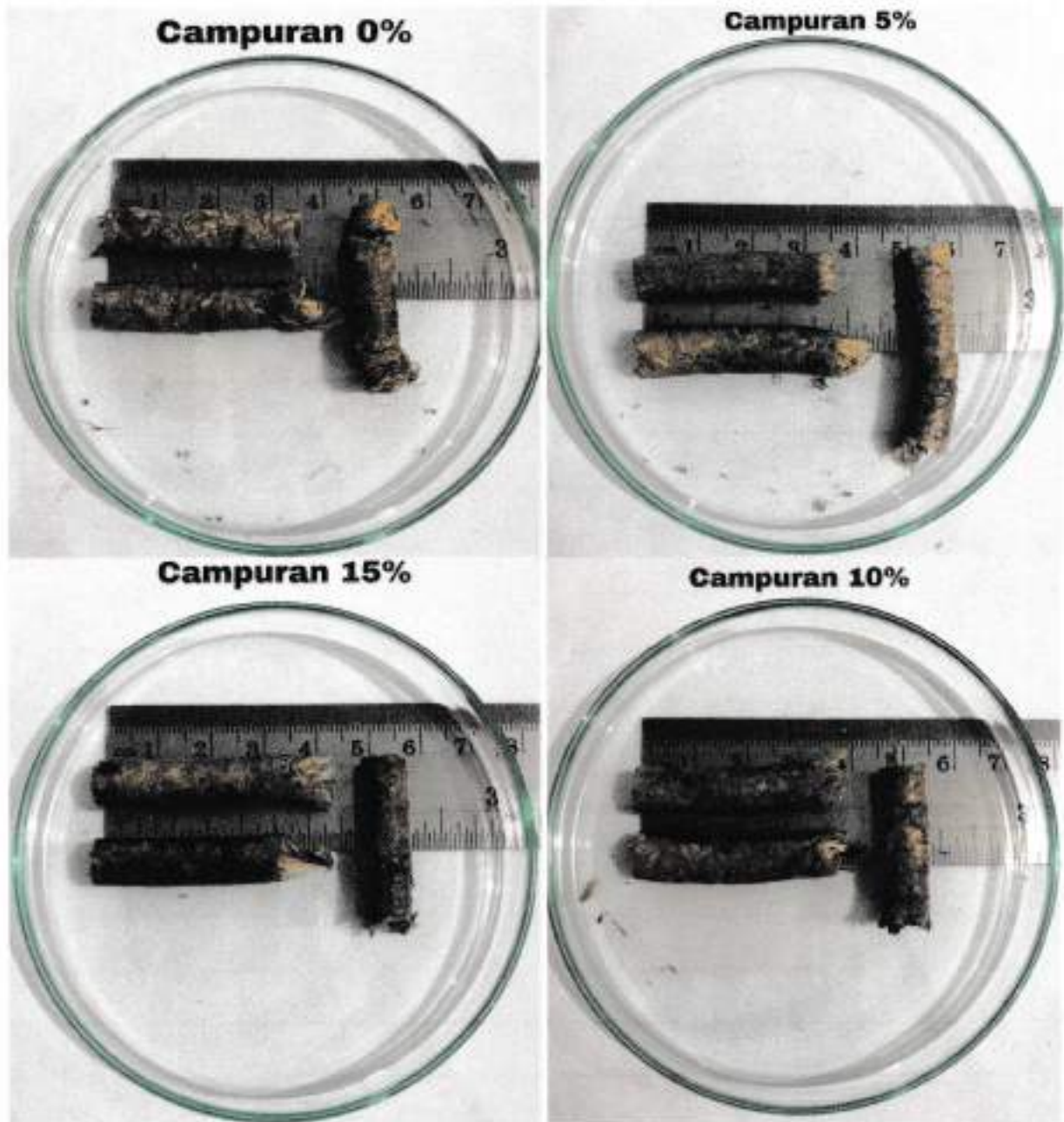
Gambar 4.2. Pelet yang dihasilkan dari pengepresan partikel jerami halus (lolos ayakan 100 mesh) pada tekanan 15 ton dengan variasi penambahan bekatul (0 – 15%)



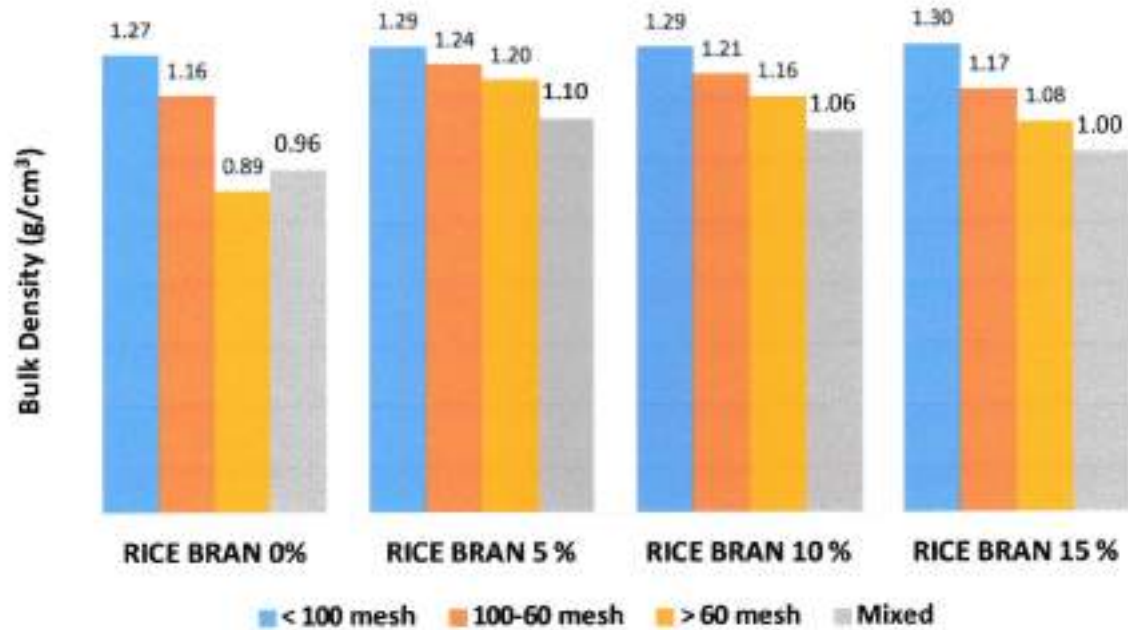
Gambar 4.3. Pelet yang dihasilkan dari pengepresan partikel jerami sedang (lolos ayakan 60 mesh, tidak lolos ayakan 100 mesh) pada tekanan 15 ton dengan variasi penambahan bekatul (0 – 15%).



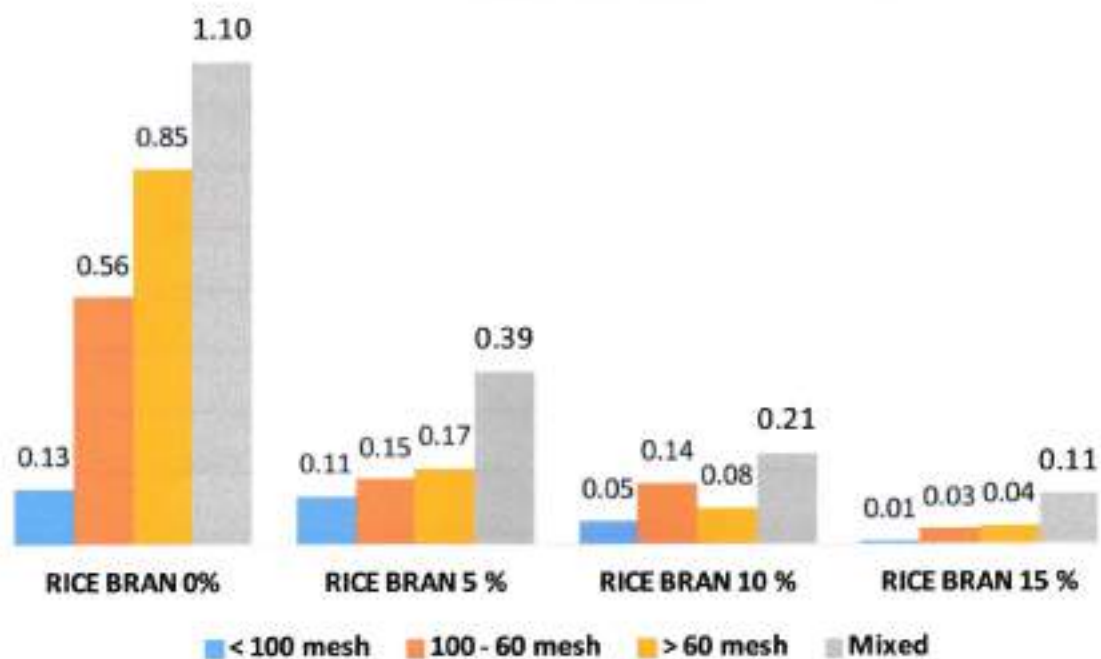
Gambar 4.4. Pelet yang dihasilkan dari pengepresan partikel jerami kasar (tidak lolos ayakan 60 mesh) pada tekanan 15 ton dengan variasi penambahan bekatul (0 – 15%)



Gambar 4.5. Pelet yang dihasilkan dari pengepresan partikel jerami (tidak diayak) pada tekanan 15 ton dengan variasi penambahan bekatul (0 – 15%)



Gambar 4.6. Pengaruh ukuran partikel jerami dan penambahan bekatul terhadap masa jenis kamba pelet yang dihasilkan dari pengepresan dengan dongkrak 15 ton.



Gambar 4.7. Pengaruh ukuran partikel jerami dan penambahan bekatul terhadap kekuatan pelet yang dihasilkan dari pengepresan dengan dongkrak 15 ton (ditunjukkan oleh serpihan pelet dari uji jatuh 2 m).

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh ukuran partikel dan penambahan bekatul terhadap persentase serpihan pelet yang dijatuhkan dari ketinggian 2 m. Uji jatuh dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari pelet. Persentase serpihan diperoleh dari :

$$\text{Serpihan (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100\% \quad (11)$$

dimana M_1 dan M_2 berturut-turut adalah masa pelet sebelum dan sesudah dijatuhkan dari ketinggian 2 m. Jika pelet patah maka M_2 adalah patahan yang paling besar.

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa ukuran partikel dan penambahan bekatul memberikan efek terhadap kekuatan pelet. Makin halus ukuran partikel menghasilkan pelet dengan kekuatan yang makin besar. Demikian juga, penambahan bekatul memberikan efek positif pada kekuatan pelet yang dihasilkan. Penambahan bekatul 5% pada jerami kasar bahkan mampu menghasilkan pelet dengan masa jenis mendekati pelet jerami halus tanpa bekatul. Efek penambahan bekatul terhadap kekuatan pelet sangat terlihat terutama untuk pelet yang dicetak dari partikel kasar. Serpihan dari uji jatuh pelet kasar dapat diturunkan dari 1,1% (tanpa bekatul) menjadi 0,4% dengan penambahan bekatul 5%. Sedangkan pada pelet sedang, serpihan pelet dapat diturunkan dari 0,56% (tanpa bekatul) menjadi 0,15% (penambahan bekatul 5%) dan hanya 0,03% (penambahan bekatul 15%). Dapat diambil kesimpulan bahwa ukuran partikel yang lolos pada ayakan 60 mesh dan penambahan bekatul 5% menghasilkan pelet yang baik yang ditandai dengan masa jenis hingga 20 kali lipat dan kekuatan yang besar (persentase serpihan 0,15%).

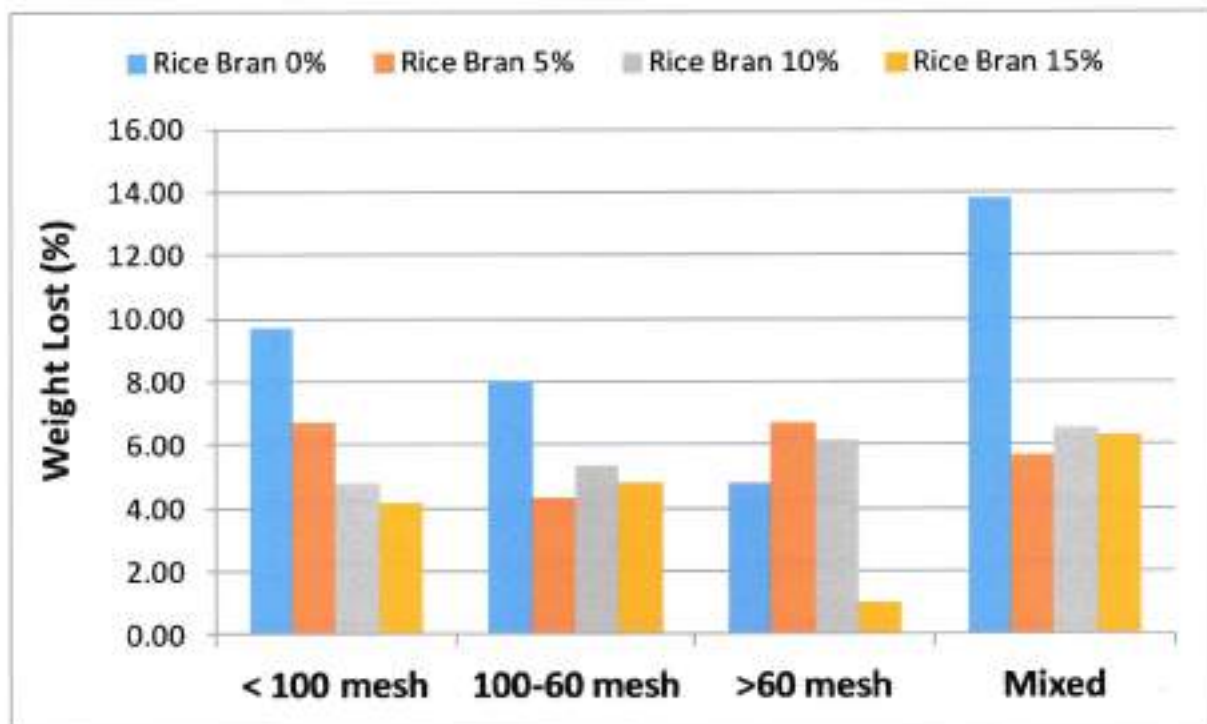
Selama proses pencetakan pelet, sebagian masa jerami juga hilang yang terjadi karena tercecer maupun lepas pada saat pengambilan pelet dari cetakan. Kehilangan masa (*weight loss*) bahan pelet dihitung dari:

$$\text{Weight loss (\%)} = \frac{M_j - M_p}{M_j} \times 100\% \quad (12)$$

dimana M_j dan M_p berturut-turut adalah masa bahan pelet yang digunakan dan masa pelet yang dihasilkan.

Besarnya kehilangan masa bahan pelet bervariasi dari 1% hingga 14%. Tetapi, sebagian besar data menunjukkan kehilangan masa bahan pelet pada kisaran 4 hingga 6 persen. Gambar 4.8 menunjukkan bahwa pelet yang dicetak tanpa penambahan bekatul menghasilkan *weigh loss* yang lebih besar. Hal ini mungkin disebabkan karena tanpa bekatul pelet tidak terikat dengan kuat dan sebagian bahan lepas pada saat pelet dilepaskan dari alat pencetaknya. Meskipun

demikian, kehilangan masa bahan pelet lebih disebabkan oleh penanganan pada saat pencetakan pelet dilakukan. Dengan penanganan yang baik dan lebih hati-hati, maka kehilangan masa pelet dapat ditekan hingga 1% saja.



Gambar 4.8. Pengaruh ukuran partikel jerami dan penambahan bekatul terhadap kehilangan masa bahan pelet (weight loss) yang dihasilkan dari pengepresan dengan dongkrak 15 ton.

BAB 5. KESIMPULAN

1. Jerami padi memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan bakar pellet
2. Ukuran partikel jerami mempengaruhi karakteristik pelat. Makin halus, pellet yang dihasilkan memiliki densitas makin tinggi dan kekuatan makin tinggi. Partikel dengan ukuran lolos dari ayakan 60 mesh menghasilkan pellet dengan kualitas yang baik.
3. Penambahan bekatul juga mempengaruhi karakteristik pelat. Penambahan bekatul menghasilkan pellet yang memiliki densitas makin tinggi dan kekuatan makin tinggi. Penambahan bekatul hingga 5% menghasilkan pellet dengan kualitas yang baik.

REFERENSI

- Abraham, A., Mathew, A.K., Sindhu, R., Pandey, A., and Binod, P. 2016. Potential of rice straw for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology* **215**: 29-36. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.04.011
- Atchison, J.E. 1976. Agricultural residues and other nonwood plant fibers. *Science* **191**(4228): 768-772
- BPS. 2017. Statistik Indonesia 2017. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Baker, R. 2000. Biomass fuel leaching for the control of fouling, slagging, and agglomeration in biomass power generation. *PhD Dissertation*, University of California.
- Calvo, L.F., Gil, M.V., Otero, M., Morán, A., and García, A.I. 2012. Gasification of rice straw in a fluidized-bed gasifier for syngas application in close-coupled boiler-gasifier systems. *Bioresource Technology* **109**: 206-214. DOI:10.1016/S0378-3820(03)00202-9.
- Chang, C.H., Liu, C.C., and Tseng, P.Y. 2013. Emissions inventory for rice straw open burning in Taiwan based on burned area classification and mapping using Formosat-2 satellite imagery. *Aerosol Air Qual. Res.* **13**: 474-87.
- Datta, R. 1981. Acidogenic fermentation of lignocellulose-acid yield and conversion of components. *Biotech. and Bioeng.* **23**(9): 2167-2170 ()
- Delivand, M.K., Barz, M., Gheewala, S.H., and Sajjakulnukit, B. 2011. Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand. *Applied Energy* **88**: 3651-3658.
- Devendra, C. and Thomas, D. 2002. Crop-animal interactions in mixed farming systems in Asia. *Agric. Syst.* **71**: 27-40.
- Dobermann, A. and Fairhurst, T.H. 2002. Rice straw management. *Better Crops Int.* **16**: 7-9.
- Drake, D., Nader, G., and Forero, L. 2002. Feeding rice straw to cattle. Publication 8079. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. <http://anrcatalog.ucdavis.edu>.
- Engling, G., Lee, J., and Tsai, Y. 2009. Size-resolved anhydrosugar composition in smoke aerosol from controlled field burning of rice straw. *Aerosol Sci. Tech.* **43**(7): 662-672. DOI: 10.1080/02786820902825113.
- Guillemot, A., Bruant, R., Pasquiou, V., Boucher, E. 2014. Feasibility study for the implementation of two ORC power plants of 1 MWe each using rice straw as a fuel in the context of a public-private partnership with the institutions PhilRice and UPLB. Courbevoie, France: ENERTIME.
- Haryanto, A., Sugara, B.P., Telaumbanua, M., and Rosadi, R.A.B. 2017. Anaerobic co-digestion of cow dung and rice straw to produce biogas using semi-continuous flow

- digester: Effect of urea addition. *The 2nd International Conference on Agricultural Engineering for Sustainable Agriculture Production (AESAP)*. 23-25 October 2017. Bogor Agricultural University (IPB), Indonesia.
- IRRI (International Rice Research Institute). 2018. Rice Straw (Rice Knowledge Bank). <http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-straw> (visited February 10, 2018)
- Djajanegara, A. and Rangkuti, M. 1983. Residues of importance as potential animal feeds in Indonesia. In *The Use of Organic Residues in Rural Communities*, edited by C. A. Shacklady. United Nations University Press.
- Jenkins, B.M. 1998. Physical properties of biomass. In: Kitani O, Hall CW, editors. *Biomass Handbook*, Chapter 5.2. Gordon and Breach, New York.
- Jenkins, B.M., Bakker, R.R., and Wei, J.B. 1996. On the properties of washed straw. *Biomass Bioenergy* **10(4)**: 177–200.
- Jenkins, B.M., Mehlschau, J.J., Williams, R.B., Solomon, C., Balmes, J., Kleinman, M., and Smith, N. 2003. Rice straw smoke generation system for controlled human inhalation exposures. *Aerosol Sci. Technol.* **37(5)**: 437–454. DOI:10.1080/02786820300977.
- Jenkins, B.M., Bakker, R.R., Williams, R.B., Bakker-Dhaliwall, R., Summers, M.D., Lee, H., Bernheim, L.G., Huisman, W., Yan, L.L, Andrade-Sanchez, P. and Yore, M. 2000. Commercial feasibility of utilizing rice straw in power generation. *Proceedings Bioenergy 2000*, Buffalo, New York.
- Kargbo, F.R., Xing, J., and Zhang, Y. 2009. Pretreatment for energy use of rice straw: A review. *African Journal of Agricultural Research* **4(13)**: 1560-1565.
- Khan, A. 2015. Economic feasibility of biomass gasification for electricity generation in Pakistan. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdisciplinary* **15(1)**: 19-23.
- Klass, L. 1998. *Biomass for Renewable Energy and Fuels*. Entech International, Inc. Barrington, Illinois, United States.
- Lehmann, J. and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. *Biochar Environ. Manage.* 1–12.
- Lim, J.S., Manan, Z.A., Alwi, S.R.W., and Hashim, H. 2012. A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renew. Sust. Energ. Rev.* **16**: 3084–3094.
- Makhrani. 2014. Potential analysis of rice straw as an alternative energy source for substitute coal in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials* **554**: 276-280
- Mandal, K.G., Misra, A.K., Hati, K.M., Bandyopadhyay, K.K., Ghosh, P.K., and Mohanty, M. 2004. Rice residue management options and effects on soil properties and crop productivity. *Food Agric. Environ.* **2**: 224–231.

- Mani, S., Tabil, L.G. and Sokhansanj, S. 2002. Compaction characteristics of some biomass grinds. AIC 2002 Meeting, CSAE/SCGR Program, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, July 14–17 (2002).
- Marsetyo. 2008. Strategi pemenuhan pakan untuk peningkatan produktivitas dan populasi sapi potong. *Seminar Nasional Pengembangan Sapi Potong Untuk Mendukung Percepatan Pencapaian Swasembada Daging Sapi 2008-2010*. Kerjasama Universitas Tadulako dan Subdinas Peternakan Distanbunak, Palu: 94-103.
- Matsumura, Y., Minowa, T., and Yamamoto, H. 2005. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass and Bioenergy* **29**: 347–354
- Mondal, M.A.H. and Denich, M. 2010. Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14**: 2401-2413. DOI: 10.1016/j.rser.2010.05.006
- Munder S. 2013. Improving thermal conversion properties of rice straw by briquetting. Master-Thesis. University of Hohenheim.
- Nguyen, H.V., Nguyen, C.D., Tran, T.V., Hau, H.D., Nguyen, N.T., and Gummert, M. 2016. Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the Mekong river delta of Vietnam. *Field Crops Research* **198**: 16–22.
- Nurhayati, T., Waridi, Y., and Roliadi, H. 2006. Progress in the technology of energy conversion from woody biomass in Indonesia. *Forestry Studies in China* **8**(3): 1–8.
- Oanh, N.T., Ly, B.T., and Tipayarom, D. 2011. Characterization of particulate matter emission from open burning of rice straw. *Atmos. Environ.* **45**(2): 493–502. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.09.023.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as a source of nutrients for wetland rice. *Organic Matter and Rice*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. p 117–135.
- Samuel, V. 2013. Environmental and socioeconomic assessment of rice straw conversion to ethanol in Indonesia: the case of Bali. *Master of Science Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology EGI-2013-071MSC Division of Energy and Climate Studies 100 44 Stockholm, Sweden
- Sander, B.O., Samson, M., and Buresh, R.J. 2014. Methane and nitrous oxide emissions from flooded rice fields as affected by water and straw management between rice crops. *Geoderma* **235**(36) :355–362.
- Sidjabat, O. 2011. Prospect of rice straw potential for bioenergy in Indonesia as substituted gasoline and reducing of environmental problem. *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan* **10**(2): 113-122.
- Singh, Y. and Sidhu, H.S. 2014. Management of cereal crop residues for sustainable rice-wheat production system in the Indo-gangetic plains of India. *Proc. Indian Natn. Sci. Acad.* **80**(1): 95–114.

- Singh, Y., Singh, B., and Timsina, J. 2005. Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics. *Adv. Agron.* **85**: 269–407.
- Suramaythangkoor, T. and Gheewala, S.H. 2010. Potential alternatives of heat and power technology application using rice straw in Thailand. *Applied Energy* **87**: 128-133. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.06.018
- Tumuluru, J.S., Wright, C.T., Hess, J.R. and Kenney, K.L. 2011. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* **5**: 683–707. DOI: 10.1002/bbb
- van Loo, S. and Koppejan, J. 2008. *Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing*. Earthscan Publication Ltd, London, UK.
- Whittaker, C. and Shield, I. 2017. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **71**: 1–11.
- Yadav, M., Prawasi, R., Satyawani, Rana, P., Kumari, Kiran K., Lal, S., Siddharth and Hooda, R.S. 2015. Assessment of rice straw burning and its power generation potential in major rice growing districts of Haryana, India. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)* 4(5): 1287-1293.
- Yasa, I.M.R. 2011. Potensi dan permasalahan jerami padi untuk pakan ternak sapi. *Buletin Teknologi dan Informasi Pertanian (BPTP Bali)* **9(27)**.
- Zhang, Z., Zhao, W., and Zhao, W. 2014. Commercialization development of crop straw gasification technologies in China. *Sustainability* **6**: 9159-9178.

LAMPIRAN

Draft Makalah: Energi Terbarukan dari Jerami Padi
: Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia
(Under review in Jurnal Keteknikan Pertanian,
SINTA 2)

1 **Energi Terbarukan dari Jerami Padi : Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia**
2 *Renewable Energy from Rice Straw: Review on Potential and Challenges for Indonesia*

3 Agus Haryanto, Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung, email:

4 agus.haryanto@fp.unila.ac.id

5 Siti Suharyatun, Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung

6 Winda Rahmawati, Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung

7 Sugeng Triyono, Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung

8 *Abstract*

9 *Straw is a waste produced from the threshing and harvesting of rice. So far, rice straw has*
10 *only been removed. In fact, it can be used as a potential energy source. This paper aims to*
11 *examine the potential of rice straw as a renewable energy source in Indonesia. Opportunities*
12 *and challenges were evaluated based on extensive and in-depth literature review. The paper*
13 *discussed rice straw potential, its characteristics and benefits of using straw energy.*
14 *Technology to convert rice straw into energy was also discussed. Results showed that*
15 *renewable energy potential of rice straw is 28.8 TJ/year. Conversion technologies that can be*
16 *applied include densification, combustion, gasification, and biogas. The biggest challenge for*
17 *using rice straw energy is collection and transportation. Densification may overcome density*
18 *problem by producing high quality pellets or briquettes that reduce transportation and*
19 *storage costs. Straw characteristics need to be improved to increase its combustion properties.*

20 **Keywords:** *combustion, biogas, gasification, transportation, alkali metals.*

21 **Abstrak**

22 Jerami merupakan limbah dari proses perontokan dan pemanenan padi. Selama ini jerami padi
23 hanya dibuang, padahal, bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi yang potensial. Makalah ini
24 bertujuan membahas potensi jerami padi sebagai sumber energi terbarukan Indonesia. Peluang
25 dan tantangan dikaji berdasarkan studi literatur secara ekstensif dan mendalam. Makalah berisi
26 perhitungan potensi jerami padi, karakteristik, dan keuntungan pemanfaatan energi jerami.
27 Teknologi konversi untuk menghasilkan energi dari jerami juga dibahas. Hasil pengkajian
28 menunjukkan potensi energi terbarukan dari jerami 28.8 TJ/tahun. Teknologi konversi yang
29 dapat diaplikasikan meliputi densifikasi, pembakaran, gasifikasi, dan biogas. Tantangan
30 terbesar pemanfaatan jerami padi adalah pengumpulan dan transportasi. Densifikasi dapat
31 mengatasi masalah berat jenis dan menghasilkan pelet atau briket berkualitas yang dapat
32 menurunkan biaya transportasi dan penyimpanan. Karakteristik intrinsik jerami perlu
33 diperbaiki untuk mengurangi kandungan logam dan meningkatkan sifat-sifat pembakarannya.

34 **Kata Kunci:** pembakaran, biogas, gasifikasi, transportasi, logam alkali.

1

Latar Belakang

2 Indonesia merupakan negara penghasil padi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan terbesar
3 ketiga di dunia (Abraham *et al.*, 2016). Oleh karena itu, budidaya padi rantai prosesnya
4 memiliki posisi penting di Indonesia dan dapat dilihat dari sumbangannya yang mencapai 21%
5 dari total produksi sektor pertanian nasional (Samuel, 2013). Dengan luas panen mencapai
6 15.79 juta ha, produksi padi Indonesia mencapai 81.38 juta ton gabah kering giling (BPS,
7 2017). Proses produksi beras akan menghasilkan produk samping berupa jerami padi, kulit,
8 dan bekatul. Jerami, yang dihasilkan pada saat pemanenan dan perontokan padi, merupakan
9 produk samping terbesar. Seiring dengan perkembangan produksi padi, maka potensi jerami
10 Indonesia sangat besar dan terus meningkat setiap tahun (Makhrani, 2014). Dalam suasana
11 global yang bergantung pada bahan bakar fosil, jerami padi bisa memainkan peran penting di
12 negara-negara penghasil padi seperti India, China, dan Indonesia. Jerami bisa menjadi sumber
13 energi alternatif menggantikan energi fosil sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK)
14 serta menghindari masalah polusi lokal dari pembakaran terbuka. Jerami padi menarik karena
15 dapat diperbaharui dan dianggap netral karbon dioksida. Tetapi, jerami padi memiliki sifat
16 intrinsik yang kurang baik sebagai bahan bakar. Selain itu, jerami padi tercecer di lahan yang
17 basah sehingga susah dikumpulkan dan mengakibatkan biaya koleksi yang mahal. Berat jenis
18 yang rendah juga mengakibatkan transportasi jerami padi ke lokasi pengguna menjadi mahal.
19 Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil ulasan (*review*) mendalam mengenai potensi
20 dan tantangan jerami padi sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia.

21

Potensi dan Pemanfaatan Jerami Padi Indonesia

22 Proses produksi beras akan menghasilkan produk samping berupa jerami padi, kulit, dan
23 bekatul. Jerami dihasilkan pada saat pemanenan dan perontokan padi. Jerami meliputi bagian
24 yang tertinggal pada saat panen (batang dan daun) dan setelah gabah dirontokkan (merang)
25 dan merupakan yang paling besar dalam produksi padi. Setiap kg beras putih menghasilkan
26 jerami sebanyak 0.7–1.4 kg tergantung dari varitas, tinggi pemotongan, dan kadar air selama
27 pemanenan (IRRI, 2018). Produksi jerami kering berkisar 2.3 (Djajanegara dan Rangkuti,
28 1983) hingga 3.86 ton/ha/tahun (Marsetyo, 2008). Penelitian di Vietnam menghasilkan angka
29 4.72 ton/ha (Nguyen *et al.*, 2016). Dengan mengambil angka produksi jerami padi rata-rata

1 3.02 ton/ha, maka total potensi jerami padi Indonesia adalah 47.68 juta ton.

2 Hingga saat ini umumnya pengelolaan jerami padi adalah pembakaran langsung terbuka di
3 lahan, penggunaan sebagai pakan ternak, dan pencampuran ke dalam tanah. Samuel (2013)
4 menyatakan bahwa 61% dari potensi jerami dibakar di lahan. Alasan utama pembakaran
5 jerami padi adalah murah dan kurangnya tenaga kerja. Pembakaran juga dipicu oleh aplikasi
6 mesin pemanen *combine* yang mengakibatkan jerami berceceran dan sulit dikumpulkan.
7 Pembakaran jerami dapat membantu mengendalikan gulma, hama dan penyakit. Efek negatif
8 pembakaran meliputi kehilangan unsur hara, penipisan bahan organik tanah, dan pengurangan
9 biota tanah (Mandal *et al.*, 2004). Jerami yang terbakar di lahan juga menyebabkan emisi
10 GRK dan polutan seperti CH₄, SO₂, NO_x, HCl, dioksin, dan furan (Jenkins *et al.*, 2003) hingga
11 debu kasar (PM10) dan halus (PM2.5) (Chang *et al.*, 2013), yang mempengaruhi kualitas
12 udara regional. Emisi akibat pembakaran jerami padi dalam bentuk PM10, VOC, NO_x, SO_x,
13 dan CO berturut-turut adalah 3.7, 1.0, 3.1, 0.7, dan 34.7 kg/t jerami (Kadam *et al.*, 2000).

14 Jerami juga digunakan sebagai pakan ternak. Dari potensi yang ada, 21% jerami telah
15 digunakan sebagai pakan ternak (Samuel, 2013) dan merupakan pemandangan umum di Asia
16 Tenggara. Tetapi, jerami padi merupakan pakan yang buruk karena mengandung silika yang
17 tinggi (Singh and Sidhu, 2014). Fermentasi jerami dengan menambahkan ammonia atau urea,
18 merupakan metode praktis untuk meningkatkan nilai nutrisi jerami sebagai bahan pakan.
19 Alternatif yang lebih ramah lingkungan adalah penggunaan jamur *white-rot fungi*, atau enzim
20 khusus untuk mendekomposisi selulose dan hemiselulose (Sarnklong *et al.*, 2010).

21 Pengelolaan jerami yang juga sering ditemui adalah menyatukan jerami dengan tanah melalui
22 pembajakan dan pencangkulan. Ini berguna untuk mengembalikan bahan organik ke dalam
23 tanah. Di daerah tropis, termasuk Indonesia, praktek ini dapat memperbaiki kesuburan tanah
24 tanpa menurunkan produksi (Flinn and Marciano, 1984). Tetapi, pembenaman jerami dapat
25 meningkatkan emisi GRK karena dekomposisi jerami di dalam lumpur terjadi secara anaerob
26 dan menghasilkan gas metana (CH₄) antara 2.5–4.5 kali dibandingkan emisi dari pembakaran
27 jerami (Fitzgerald *et al.*, 2000). Dekomposisi jerami juga memerlukan waktu lama sehingga
28 tidak sesuai untuk sistem budidaya dengan 2-3 kali panen setahun. Dekomposisi yang tidak
29 sempurna tidak memberikan efek menguntungkan. Jerami yang panjang juga dapat membelit

1 implemen hingga macet dan menjadi lebih mahal daripada pembakaran (Singh *et al.*, 2008).

2 **Sifat Jerami Padi**

3 Sebagai biomassa lignoselulosik, jerami tersusun atas tiga komponen, yaitu: lignin, selulose,
4 dan hemiselulose. Selulose dan hemiselulose adalah serat organik, sedangkan lignin adalah
5 dinding sel. Jerami memiliki massa jenis yang rendah, yaitu 70–80 kg/m³ pada kadar air 15–
6 18%. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya proses pengumpulan dan
7 transportasinya yang akan dibahas lebih detil pada bagian lain. Tabel 1 memberikan sifat dan
8 komposisi beberapa jenis jerami. Dua hal yang menyolok dari jerami padi dibandingkan
9 jerami yang lain dapat kita amati, yaitu kadar abu yang tinggi (hingga 22.1%) dan nilai kalori
10 (HHV) yang rendah (kurang dari 15 MJ/kg).

11 **Insert Tabel 1**

12 **Teknologi Konversi Energi Jerami**

13 Jerami padi dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan bahan bakar, panas,
14 atau listrik melalui proses-proses termal, kimia, atau biologi. Dengan nilai kalori rata-rata
15 14.32 GJ/ton, maka potensi energi jerami padi adalah 681,644 TJ/tahun, setara 18.47 juta
16 kiloliter solar. Yadav *et al.* (2015) melaporkan bahwa setiap MW listrik memerlukan 10 ton
17 jerami. Jadi, potensi jerami padi Indonesia dapat membangkitkan daya 4.8 GW. Jerami masih
18 merupakan sumber bahan bakar utama bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14%
19 dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al.*, 2005). Gambar 1 memperlihatkan
20 diagram potensi konversi jerami padi untuk menghasilkan energi yang bermanfaat.

21 **Insert Gambar 1**

22 **Densifikasi**

23 Keterbatasan utama penggunaan jerami padi sebagai bahan baku energi adalah kerapatan
24 curahnya yang rendah (antara 80-100 kg/m³) yang menyulitkan penanganan, penyimpanan,
25 dan transportasi. Upaya mengatasi keterbatasan ini adalah densifikasi atau peletisasi yang
26 dapat menghasilkan bahan bakar yang homogen dengan densitas hingga 10 kali sehingga

1 menurunkan biaya transportasi serta ruang penyimpanan (Tumuluru *et al.*, 2011). Proses
2 densifikasi melibatkan tahap-tahap pengeringan, penggilingan, pengkondisian, pencetakan,
3 dan pendinginan pelet. Densifikasi menghasilkan dua jenis produk dengan karakteristik yang
4 berbeda, yaitu briket dan pellet (Gambar 2). Pelet biasanya berbentuk silinder dengan diameter
5 6-12 mm, panjang <10 cm, densitas satuan 1000–1400 kg/m³ dan densitas kamba sekitar 700
6 kg/m³ (Stelte *et al.*, 2011). Pelet dapat digunakan baik untuk aplikasi rumah tangga (kompor)
7 maupun industri (boiler). Untuk menghasilkan pelet, jerami padi dihancurkan (digiling)
8 menjadi partikel halus lalu dipres dengan tekanan tinggi. Umumnya pelet dibuat dengan
9 menambahkan uap tanpa perekat. Untuk menghasilkan pelet berkualitas, kadar air bahan harus
10 berkisar 13-20% pada suhu 60 atau 80 °C (Ishii and Furuichi, 2014). Jika terlalu kering,
11 permukaan bahan bisa menjadi arang dan perekat akan terbakar sebelum proses selesai.
12 Sebaliknya jika terlalu basah, maka uap air pada saat pengepresan tidak bisa lepas sehingga
13 memperbesar volume pelet dan membuatnya lemah secara mekanis. Ukuran partikel jerami
14 mempengaruhi tekanan kerja (makin kecil partikel makin besar tekanan yang diperlukan).
15 Tekanan sangat menentukan kualitas pelet, tetapi di atas 200 MPa tekanan pencetakan tidak
16 berpengaruh signifikan terhadap densitas pelet (Stelte *et al.*, 2011).

17

Insert Gambar 2

18 Briket memiliki bentuk beragam (silinder atau balok) dengan ukuran 60-100 mm dan panjang
19 60-150 mm. Briket umumnya dipakai untuk bahan bakar boiler dan kurang sesuai untuk
20 aplikasi rumah tangga. Untuk menghasilkan briket, jerami cukup dipotong-potong lalu dipres
21 dengan mesin kempa. Berdasarkan cara kerjanya, mesin pres briket dikelompokkan menjadi
22 empat, yaitu mesin pres piston mekanis, mesin pres ulir, mesin kempa hidrolis, dan mesin pres
23 rol (Chen *et al.*, 2009). Untuk menghasilkan briket yang baik diperlukan tekanan sekitar 30
24 MPa (Singh and Singh, 1982). Kadar air bahan 12–14%, ukuran partikel 14–16 mm, dan kadar
25 perekat 20% merupakan kondisi optimum pembuatan briket jerami dengan kebutuhan daya
26 minimum (36,60 kW) dan menghasilkan briket dengan densitas tinggi (1030,38–1159,22
27 kg/m³), nilai kalori tinggi (15.61 MJ/kg), dan kandungan abu minimum (16.34%) terjadi pada
28 kondisi (Gill *et al.*, 2017). Jenkins *et al.* (2000) mencatat konsumsi energi pada proses
29 densifikasi jerami padi mencapai 16 kWh/ton atau 2% dari daya yang dihasilkan pembangkit

1 berbahan bakar jerami padi. Sedangkan energi untuk penggilingan bergantung pada ukuran
2 partikel, tetapi umumnya sekitar 30 kWh /ton atau 4% dari daya yang dihasilkan pembangkit.

3 **Pembangkit melalui Pembakaran Langsung**

4 Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan
5 listrik dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia (Makhrani, 2014). Untuk
6 aplikasi komersial, pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami
7 yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Pembangkit listrik
8 berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO₂-eq/kWh
9 jika dibandingkan dengan pembangkit batubara dan 1,05 kg CO₂-eq/kWh jika dibandingkan
10 pembangkit gas alam (Shafie *et al.*, 2014). Di India, Soam *et al.* (2017) menyimpulkan tiap ton
11 jerami padi yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1471 kg
12 CO₂-eq. Tetapi, Jenkins *et al.* (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20%
13 pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar
14 25% (dari \$20 menjadi \$24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan
15 bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan
16 batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ)
17 (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk boiler industri, pemanfaatan jerami lebih
18 kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal boiler khusus berbahan bakar
19 jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke
20 jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan bakar sebesar 0.01 Baht/MJh.

21 **Gasifikasi Jerami**

22 Proses termal yang paling banyak dilakukan untuk keperluan domestik (masak), industri kecil-
23 menengah, dan pengoperasian turbin uap skala kecil adalah pembakaran langsung yang
24 sebenarnya tidak efisien. Contohnya, efisiensi tungku dapur, kedai makan dan industri kecil-
25 menengah berkisar 1.6–23.9%, dan tungku pada pembuatan gula sekitar 15–18,6% (Nurhayati
26 *et al.*, 2006). Gasifikasi merupakan teknologi konversi energi jerami yang menjanjikan untuk
27 menghasilkan daya listrik atau panas (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Gasifikasi
28 adalah proses termokimia dimana biomassa dikonversi menjadi syngas yang terdiri dari CO,

1 H₂, CH₄, dan sedikit gas lain. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar maupun feedstock
2 industri. Gasifikasi jerami dapat mengurangi polusi dan memperbaiki kualitas udara rumah
3 tangga. Delivand *et al.* (2011) menyimpulkan gasifikasi kapasitas pembangkit 8-10 MW lebih
4 praktis dan memenuhi kriteria keekonomian. Studi di Pakistan menyimpulkan gasifikasi
5 biomassa layak diimplementasikan di wilayah pedesaan dengan populasi sekitar 200 keluarga
6 atau untuk industri kecil (Khan, 2015). Sistem pembangkitan listrik jerami dapat ditingkatkan
7 efisiensinya hingga 43% dengan mengintegrasikan semua komponen sistem, yaitu torefaksi,
8 gasifikasi, pembersihan gas, dan pembangkit siklus kombinasi (Darmawan *et al.*, 2017).

9 **Biogas Jerami**

10 Produksi biogas diakui sebagai salah satu proses konversi biomassa menjadi energi terbarukan
11 yang paling ramah lingkungan (Mussoline *et al.*, 2013). Banyak penelitian yang membuktikan
12 viabilitas produksi biogas dari campuran jerami padi dan limbah organik lainnya. Kalra dan
13 Panwar (1986) melaporkan setiap kilogram jerami padi dapat menghasilkan sekitar 220 L
14 biogas. Baru-baru ini kami melaporkan campuran jerami padi dan kotoran sapi (perbandingan
15 berat kering 3:1) dapat meningkatkan produksi biogas total dengan kandungan metana
16 mencapai 50.12% (Haryanto *et al.*, 2018). Kotoran hewan yang umum digunakan sebagai
17 sumber bakteri meliputi kotoran babi (Sheng *et al.*, 2015), kotoran sapi (Haryanto *et al.*, 2018),
18 dan kotoran ayam (Wang *et al.*, 2014). Kotoran sapi yang dicampur kotoran ayam dapat
19 meningkatkan kapasitas buffering dan menghasilkan efek sinergis (Wang *et al.*, 2014).
20 Mussoline *et al.* (2012; 2013) melaporkan kondisi optimal adalah pH (6.5–8.0), suhu (35–
21 40°C) dan rasio C/N 25–35 dan dari digester 1-m³ berisi campuran 50 kg jerami padi dengan
22 air limbah babi dapat diperoleh biogas total 22,859 L selama 189 hari (231 L CH₄/kgVS). Jika
23 sistem diperluas untuk pertanian padi 100-ha, maka skenario ini dapat menghasilkan 100.000
24 m³CH₄ per tahun, setara 328 MWh. Biogas dapat digunakan untuk membangkitkan daya
25 listrik melalui mesin pembakaran internal maupun melalui boiler. Hibukawa *et al.* (2014)
26 melaporkan bahwa Nagaoka Wastewater Treatment Plant di kota Niigata, Jepang, memerlukan
27 1916 ton jerami padi (kadar air, 20%) untuk dicampurkan dengan lumpur air limbah guna
28 menghasilkan biogas. Hal ini merupakan motivasi bahwa jerami padi memiliki
29 prospek yang baik untuk digunakan sebagai substrat dalam proses produksi biogas.

1 Meskipun demikian, suatu perlakuan awal (*pretreatment*) diperlukan untuk jerami padi karena
2 dinding lignin dalam jerami menghambat pencernaan (*digestibility*), yang mengurangi efisiensi
3 proses konversi menjadi biogas. Berbagai metode pretreatment jerami padi dapat dipilih,
4 seperti perlakuan mekanis (pengecilan ukuran), bahan kimia, termal, dan enzim (Bruni *et al.*,
5 2010). Perlakuan menggunakan alkali merupakan yang sangat efektif mengurangi lignin
6 sehingga meningkatkan proses dekomposisi anaerobik. Produksi biogas dari jerami padi
7 dengan perlakuan NaOH meningkat antara 27.3–64.5% (He *et al.*, 2008). Pretreatment dengan
8 0,5 M Na₂CO₃ pada 110°C selama 2 jam menghasilkan 292 L CH₄/kgVS, sedangkan jerami
9 tanpa diolah hanya memproduksi 130 L CH₄/kgVS (Dehghani *et al.*, 2015).

10

Tantangan

11 Di balik potensi energi yang besar dari jerami padi, terdapat tantangan yang harus dihadapi,
12 baik sosial, ekonomi, maupun teknis. Persoalan sosial-ekonomi terkait dengan praktek
13 budidaya padi di lahan basah dan biaya pengumpulan dan transportasi jerami padi yang mahal;
14 sedangkan persoalan teknis meliputi karakteristik intrinsik dari jerami itu sendiri.

15 Pengumpulan dan Transportasi

16 Pengumpulan jerami masih menjadi tantangan utama dalam rantai penyediaan jerami untuk
17 penggunaan lebih lanjut. Jerami perlu dikumpulkan dan diikat agar lebih kompak dan mudah
18 diangkut. Pada pemanenan tradisional dengan sabit, proses perontokan (baik menggunakan
19 *thresher* maupun dibanting pada gebot) akan meninggalkan jerami yang terkumpul dalam satu
20 area sempit. Dengan mesin *combine harvester*, proses pengumpulan jerami padi menjadi
21 makin sulit dan mahal karena jerami tercecer dan tersebar di lahan (Samuel, 2013). Studi di
22 Vietnam menunjukkan pengumpulan jerami secara mekanis berkapasitas 0.87–2.47 ton/jam
23 dapat menekan kebutuhan tenaga kerja hingga 90% dengan biaya pengumpulan jerami antara
24 12–18 US\$/ton (Nguyen *et al.*, 2016). Biaya pengumpulan jerami padi di Taiwan 31,66
25 US\$/ton dan biaya transportasi 20.7 US\$/ton (Chiu *et al.*, 2016). Pengumpulan jerami padi
26 secara mekanis dapat mencegah pembakaran di lahan, menjamin kelangsungan pasokan
27 feedstock untuk penggunaan lebih lanjut, dan memberikan nilai tambah bagi budidaya padi.
28 Oleh karena itu, kajian menyeluruh sistem koleksi dan transportasi perlu dilakukan untuk

1 mempertimbangkan jerami padi sebagai sumber energi. Hambatan utama pemanfaatan jerami
2 padi untuk energi adalah biaya yang tinggi untuk logistik pengumpulan, pengangkutan,
3 penanganan dan penyimpanan. Di Amerika Serikat, biaya transportasi jerami padi dipengaruhi
4 oleh jarak tempuh. Pada jarak tempuh antara 12–20 km, biaya transportasi jerami padi 5.40–
5 6.40 \$/ton. Secara umum biaya transportasi jerami padi adalah 7.83 \$/ton pada jarak 32 km
6 dengan peningkatan 0.12 \$/ton per km (Jenkins *et al.*, 2000).

7 **Insert Gambar 3**

8 Logistik penyediaan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap ekonomi perembangkit listrik
9 biomassa, khususnya jerami padi. Salah satu gagasan menarik adalah mengoptimalkan mesin
10 combine agar mampu memanen padi, merontok dan mengepak gabah, serta menggulung
11 jerami padi *in situ* menjadi bal (Gambar 3). Analisis biaya penggunaan mesin baler di
12 Thailand (Delivand *et al.*, 2011) menunjukkan biaya untuk semua operasi logistik bervariasi
13 dari 18.75 hingga 19.89 US\$/t. Oleh karena itu, menyatukan proses pemanenan hingga
14 penggulangan jerami padi menjadi penting karena biaya untuk koleksi jerami cukup besar.
15 Dengan cara ini proses pemanenan jerami hanya menyisakan bongkar-muat dan transportasi.

16 **Karakteristik Intrinsik Jerami Padi**

17 Jerami padi merupakan bahan bakar yang buruk, terutama untuk sistem yang beroperasi pada
18 suhu dan efisiensi sistem yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik intrinsik dari
19 jerami padi itu sendiri, seperti kadar abu yang tinggi dan kandungan elemen-elemen (Si, K, Na,
20 S, Cl, P, Mg, dan Fe) yang tinggi. Kandungan abu yang tinggi menurunkan nilai energi,
21 seperti terlihat pada Gambar 3. Abu jerami yang tinggi juga mengakibatkan tambahan biaya
22 0,5 \$/MWh terhadap biaya total pembangkitan untuk menangani masalah yang terkait dengan
23 abu dan ammonia (Jenkins *et al.*, 2000).

24 **Insert Gambar 4**

25 Komposisi kimia abu jerami padi terdiri dari logam alkali dan alkali tanah (Si, Ca, Mg, Na dan
26 K). Logam-logam ini bertanggung jawab terhadap berbagai reaksi yang tidak diinginkan
27 dalam sistem pembakaran. Konsentrasi abu dan kandungan silika serta logam alkali yang

1 tinggi pada jerami padi mengakibatkan aglomerasi, fouling, slagging pada komponen boiler
2 (Jenkins *et al.*, 1998; Lim *et al.*, 2012) yang berdampak pada menurunnya efisiensi sistem
3 (Jenkin *et al.*, 2000) dan kegagalan pada sebagian besar tanur dan boiler. Kegagalan ini telah
4 menghambat pemanfaatan jerami untuk boiler skala besar, bahkan di wilayah dimana boiler
5 berdekatan dengan sumber jerami. Kandungan silika yang tinggi pada jerami padi
6 menyebabkan komponen mesin pencacah atau penggiling cepat aus. Jerami padi juga sangat
7 sulit dibakar, terutama pada tungku pembakaran yang dirancang untuk pembangkit akibat
8 terbentuknya deposit. Deposit ini menghambat laju perpindahan panas, memicu pembentukan
9 kerak dalam tungku dan pada sarangan sehingga mempersulit pengumpanan bahan bakar dan
10 pembuangan abu (Jenkins *et al.*, 1998). Hal ini meningkatkan biaya pembangkitan listrik
11 karena rendahnya efisiensi.

12 Salah satu upaya menurunkan K dan Cl adalah pelindian (*leaching*). Pelindian dengan air
13 dapat menghilangkan 80% K dan 90% Cl. Pelindian dapat dilakukan secara alami dengan
14 membiarkan jerami terkena hujan lalu memanennya, atau menggunakan perkakas tertentu
15 setelah jerami dikumpulkan. Pencampuran 20-25% jerami yang sudah terlindi dengan kayu
16 bakar atau sekam padi dapat menurunkan resiko akibat terbentuknya kerak (Bakker, 2000).

17

Simpulan

18 Jerami padi di Indonesia mencapai 47,68 juta ton per tahun. Selama ini jerami dibakar di lahan
19 atau dipakai sebagai bahan pakan sapi dan digunakan sebagai bahan bakar pada industri batu
20 bata dan genteng. Jerami padi berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi
21 terbarukan. Potensi tahunan jerami padi di Indonesia mencapai yang setara dengan 681.644 TJ.
22 Beberapa teknologi konversi jerami menjadi energi terbarukan yang tersedia meliputi
23 pembakaran terkontrol, densifikasi untuk menghasilkan pelet maupun briket, gasifikasi, dan
24 dekomposisi anaerobik (biogas). Tantangan utama pemanfaatan jerami meliputi kandungan
25 abu dan kandungan logam alkali yang tinggi yang mengakibatkan aglomerasi pada sistem
26 konversi dengan suhu tinggi. Perlakuan *leaching* (pelindihan) menggunakan air bisa
27 mengurangi secara signifikan kandungan logam alkali. Tantangan lain adalah proses koleksi
28 yang secara ekonomi masih masih mahal. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya

1 proses pengumpulan dan transportasi. Salah satu solusinya adalah densifikasi *in situ* yang
2 disatukan dengan proses pemanenan menggunakan mesin combine harvester.

3 **Ucapan Terima Kasih**

4 Penelitian ini dibiayai oleh Penelitian Terapan Unggulan BLU Universitas Lampung tahun
5 2018 dengan nomor kontrak 1459/UN26.21/PN/2018.

6 **Daftar Pustaka**

- 7 Abraham, A., A.K. Mathew, R. Sindhu, A. Pandey and P. Binod. 2016. Potential of rice straw
8 for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology* Vol. **215**, p. 29-36.
- 9 BPS. 2017. Statistik Indonesia 2017. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- 10 Bruni, E., A.P. Jensen and I. Angelidaki. 2010. Comparative study of mechanical, hydro-
11 thermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas
12 production. *Bioresource Technology* Vol. **101**, p. 8713–8717.
- 13 Chang, C.H., C.C. Liu and P.Y. Tseng. 2013. Emissions inventory for rice straw open burning
14 in Taiwan based on burned area classification and mapping using Formosat-2 satellite
15 imagery. *Aerosol Air Qual. Res.* Vol. **13**, p. 474–87.
- 16 Chen, L., L. Xing and L. Han. 2009. Renewable energy from agro-residues in China: Solid
17 biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
18 Vol. **13(9)**, p. 2689-2695.
- 19 Chiu, Y.-C., S.-J. Guo, S. Chen, C.-Y. Tsai and J.-M. Tsai. 2016. Planning the collection and
20 transportation of rice straw in Nantou County, Taiwan. *Applied Engineering in Agriculture*
21 Vol. **32(5)**, p. 1-8.
- 22 Darmawan, A., A.C. Fitrianto, M. Aziz, and K. Tokimatsu. 2017. Enhanced electricity
23 production from rice straw. *Energy Procedia* Vol. **142**, p. 271–277.
- 24 Dehghani, M., K. Karimi and M. Sadeghi. 2015. Pretreatment of rice straw for the
25 improvement of biogas production. *Energy Fuels* Vol. **29(6)**, p. 3770–3775.
- 26 Delivand, M.K., M. Barz, S.H. Gheewala and B. Sajjakulnukit. 2011. Economic feasibility
27 assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in
28 Thailand. *Applied Energy* Vol. **88**, p. 3651–3658.
- 29 Djajanegara, A. and M. Rangkuti. 1983. Residues of importance as potential animal feeds in
30 Indonesia, in edited by Shacklady, C.A. (Ed). *The Use of Organic Residues in Rural*
31 *Communities*, United Nations University Press, Tokyo, p. 3-10.
- 32 Fitzgerald, G.J., K.M. Scow and J.E. Hill. 2000. Fallow season straw and water management
33 effects on methane emissions in California rice. *Global Biogeochem. Cy.* Vol. **14**, p. 767-
34 776.
- 35 Flinn, J.C. and Marciano, V.P. 1984. Rice straw and stubble management, in *Organic Matter*
36 *and Rice*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines, p. 593-611.
- 37 Gill, N., R. Dogra and B. Dogra. 2017. Influence of moisture content, particle size, and binder
38 ratio on quality and economics of rice straw briquettes. *Bioenergy Research*. DOI:
39 10.1007/s12155-017-9877-9.

- 1 Haryanto, A., B.P. Sugara, M. Telaumbanuwa, and R.A.B. Rosadi. 2018. Anaerobic co-
2 digestion of cow dung and rice straw to produce biogas using semi-continuous flow
3 digester: Effect of urea addition. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*
4 Vol. **147(1)**, p. 012032.
- 5 He, Y., Y. Pang, Y. Liu, X. Li and K. Wang. 2008. Physicochemical characterization of rice
6 straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production.
7 *Energy and Fuels* Vol. **22**, p. 2775–81.
- 8 Hibukawa, H.S., A.I. Noue, S.H. Imeno and T.K. Omatsu. 2014. Examination of rice straw
9 collection and transportation systems for the production of biogas by co-digestion with
10 sewage sludge: A case study of the Nagaoka region in Niigata Prefecture. *Japanese Journal*
11 *of FarmWork Research* Vol. **49(2)**, p. 69-78.
- 12 IRRI (International Rice Research Institute). 2018. Rice Straw (Rice Knowledge Bank).
13 [http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-](http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-straw)
14 [products/rice-straw](http://www.knowledgebank.irri.org/step-by-step-production/postharvest/rice-by-products/rice-straw) (visited February 10, 2018).
- 15 Ishii, K. and T. Furuichi. 2014. Influence of moisture content, particle size and forming
16 temperature on productivity and quality of rice straw pellets. *Waste Management* Vol.
17 **34(12)**, p. 2621-2626.
- 18 Jenkins, B.M. 1998. Physical properties of biomass, in Kitani, O. and C.W. Hall (Eds).
19 *Biomass Handbook*. Gordon and Breach, New York, p.
- 20 Jenkins, B.M., R.R. Bakker, R.B. Williams, R. Bakker-Dhaliwal, M.D. Summers, H. Lee, L.G.
21 Bernheim, W. Huisman, L.L. Yan, P. Andrade-Sanchez and M. Yore. 2000. Commercial
22 feasibility of utilizing rice straw in power generation. *Proceedings Bioenergy 2000*, Buffalo,
23 New York.
- 24 Jenkins, B.M., J.J. Mehlschau, R.B. Williams, C. Solomon, J. Balmes, M. Kleinman and N.
25 Smith. 2003. Rice straw smoke generation system for controlled human inhalation
26 exposures. *Aerosol Sci. Technol.* Vol. **37(5)**, p. 437–454.
- 27 Kadam, K.L., L.H. Forrest and W.A. Jacobson. 2000. Rice straw as a lignocellulosic resource:
28 Collection, processing, transportation, and environmental aspects. *Biomass and Bioenergy*
29 Vol. **18**, p. 369-389.
- 30 Kalra, M.S. and J.S. Panwar. 1986. Anaerobic digestion of rice crop residues. *Agricultural*
31 *Wastes* Vol. **17**, p. 263-269.
- 32 Khan, A. 2015. Economic feasibility of biomass gasification for electricity generation in
33 Pakistan. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdisciplinary* Vol. **15(1)**, p.
34 19-23.
- 35 Lim, J.S., Z.A. Manan, S.R.W. Alwi and H. Hashim. 2012. A review on utilisation of biomass
36 from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy*
37 *Reviews* Vol. **16**, p. 3084–3094.
- 38 Makhrani. 2014. Potential analysis of rice straw as an alternative energy source for substitute
39 coal in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials* Vol. **554**, p. 276–280
- 40 Mandal, K.G., A.K. Misra, K.M. Hati, K.K. Bandyopadhyay, P.K. Ghosh and M. Mohanty.
41 2004. Rice residue management options and effects on soil properties and crop productivity.
42 *Food Agric. Environ.* Vol. **2**, p. 224–231.
- 43 Marsetyo. 2008. Strategi pemenuhan pakan untuk peningkatan produktivitas dan populasi sapi
44 potong. *Seminar Nasional Pengembangan Sapi Potong Untuk Mendukung Percepatan*
45 *Pencapaian Swasembada Daging Sapi 2008-2010*. Kerjasama Universitas Tadulako dan
46 Subdinas Peternakan Distanbunak, Palu, p. 94–103.

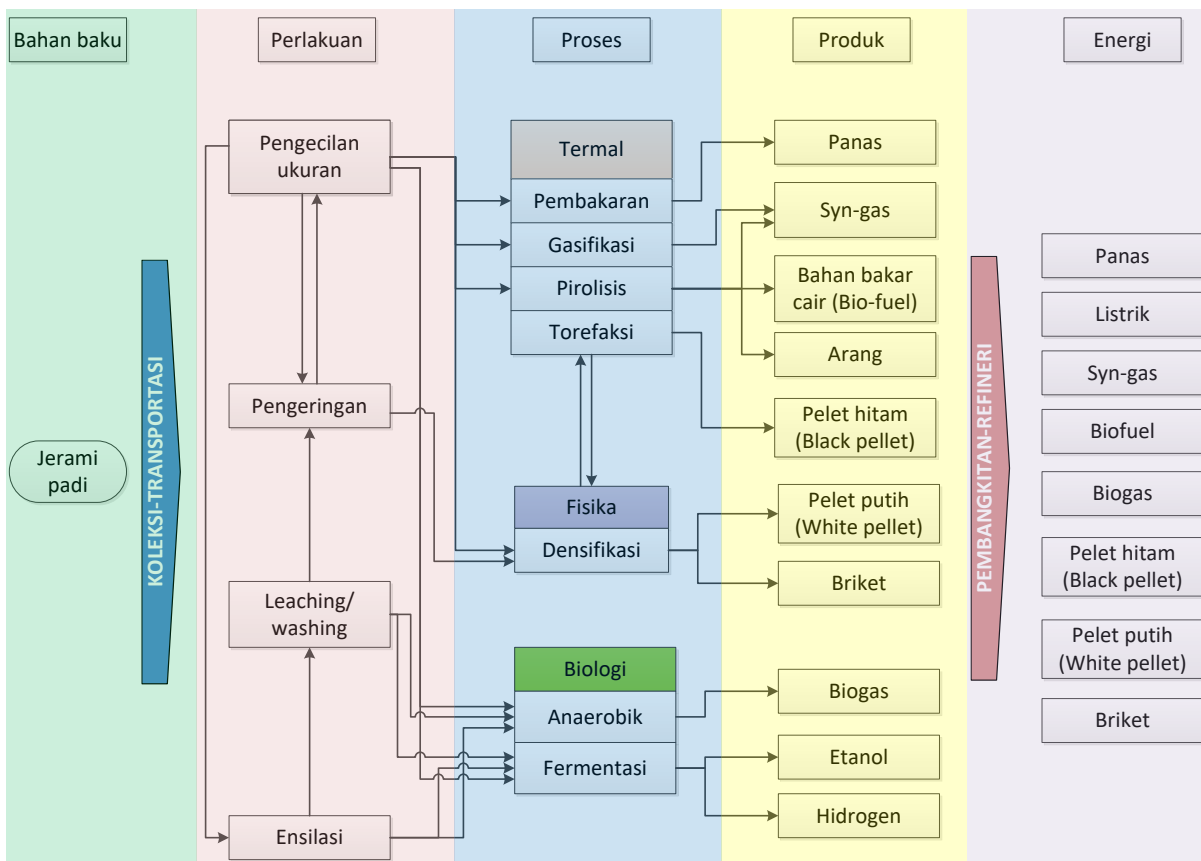
- 1 Matsumura, Y., T. Minowa and H. Yamamoto. 2005. Amount, availability, and potential use
2 of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass and*
3 *Bioenergy* Vol. **29**, p. 347–354
- 4 Mussoline, W., G. Esposito, A. Giordano and P. Lens. 2013. The anaerobic digestion of rice
5 straw: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* Vol. **43**, p.
6 895–915.
- 7 Nguyen, H.V., C.D. Nguyen, T.V. Tran, H.D. Hau, N.T. Nguyen and M. Gummert. 2016.
8 Energy efficiency, greenhouse gas emissions, and cost of rice straw collection in the
9 Mekong river delta of Vietnam. *Field Crops Research* **198**: 16–22.
- 10 Nurhayati, T., Y. Waridi and H. Roliadi. 2006. Progress in the technology of energy
11 conversion from woody biomass in Indonesia. *Forestry Studies in China* Vol. **8(3)**, p. 1–8.
- 12 Samuel, V. 2013. Environmental and socioeconomic assessment of rice straw conversion to
13 ethanol in Indonesia: the case of Bali. *Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and
14 Management Energy Technology, Stockholm, Sweden.
- 15 Sarnklong, C., J.W. Cone, W. Pellikaan and W.H. Hendriks. 2010. Utilization of rice straw
16 and different treatments to improve its feed value for ruminants: A review. *Asian-Aust. J.*
17 *Anim. Sci.* Vol. **23(5)** : 680–692.
- 18 Shafi, S.M., H.H. Masjuki and T.M.I. Mahlia. 2014. Life cycle assessment of rice straw-based
19 power generation in Malaysia. *Energy* Vol. **70**, 401-410.
- 20 Singh, A. and Y. Singh. 1982. Briquetting of paddy straw. *Agric Mech Asia Africa Latin Am.*
21 Vol. **13(4)**, p. 42–44.
- 22 Singh, B., Shan, Y.H., Johnson-Beebout, S.E., Singh, Y. and Buresh, R.J. 2008. Crop residue
23 management for lowland rice-based cropping systems in Asia. *Advances in Agronomy* Vol.
24 **98**, p. 117-199.
- 25 Singh, Y. and H.S. Sidhu. 2014. Management of cereal crop residues for sustainable rice-
26 wheat production system in the Indo-gangetic plains of India. *Proc. Indian Natn. Sci. Acad.*
27 Vol. **80(1)**, p. 95–114.
- 28 Soam, S., P. Borjesson, P.K. Sharma, R.P. Gupta, D.K. Tuli and R. Kumar. 2017. Life cycle
29 assessment of rice straw utilization practices in India. *Bioresource Technology* Vol. **228**, p.
30 89-98.
- 31 Stelte, W., J.K. Holm, A.R. Sanadi, S. Barsberg, J. Ahrenfeldt and U.B. Henriksen. 2011. Fuel
32 pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the
33 processing conditions. *Fuel* Vol. **90**, p. 3285–3290.
- 34 Suramaythangkoor, T. and S.H. Gheewala. 2010. Potential alternatives of heat and power
35 technology application using rice straw in Thailand. *Applied Energy* Vol. **87**, p. 128-133.
- 36 Tumuluru, J.S., C.T. Wright, J.R. Hess and K.L. Kenney., 2011. A review of biomass
37 densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application.
38 *Biofuels, Bioprod. Bioref.* Vol. **5**, p. 683–707.
- 39 Wang, XX. , Lu, F. Li and G. Yang. 2014. Effects of temperature and Carbon-Nitrogen (C/N)
40 ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and
41 rice straw: Focusing on ammonia inhibition. *PLOS ONE* Vol. **9(5)**, p. e97265.
- 42 Yadav, M., R. Prawasi, R.P. Satyawani, K.K. Kumari, S.L. Siddharth and R.S. Hooda. 2015.
43 Assessment of rice straw burning and its power generation potential in major rice growing
44 districts of Haryana, India. *International Journal of Science, Engineering and Technology*
45 *Research (IJSETR)* Vol. **4(5)**, p. 1287-1293.

1 Table 1. Sifat-sifat jerami padi dan bahan sejenisnya.

Jenis Jerami	Uji Proksimat (%, bk)		Uji Ultimat (%, bk)				Komposisi Abu (% abu)			HHV (MJ/kg)	Ref.
	Fix C	Abu	C	H	N	O	Si	Na	K		
Padi	17.82	20.15	49.15	6.23	1.59	42.13	80.68	0.74	5.72	14.74	*
Padi	15.86	18.67	38.24	5.20	0.87	36.84	74.67	0.96	12.30	15.08	**
Gandum (wheat)	14.87	3.89	47.55	5.86	0.59	42.02	55.32	1.51	12.90	18.38	**
Gandum (oat)	14.55	8.20	50.58	6.16	0.53	46.23	31.43	0.55	22.37	18.94	*
Alfalfa (rumpun)	15.81	5.27	47.17	5.99	2.68	38.69	5.79	1.10	28.10	18.66	**
Miscanthus	12.55	3.05	47.29	5.75	0.33	43.52	61.84	0.33	11.60	18.72	**
Switchgrass	14.34	8.97	46.68	5.82	0.77	37.57	65.18	0.58	11.60	18.06	**
Jerami jagung	14.83	5.06	49.31	6.04	0.70	43.56	54.04	0.15	20.67	19.06	*
Bagas tebu	11.95	2.44	48.64	5.87	0.14	38.39	46.61	0.79	4.15	18.99	**

2 Keterangan: *) <https://phyllis.nl> ; **) Jenkins *et al.* (1998)

3

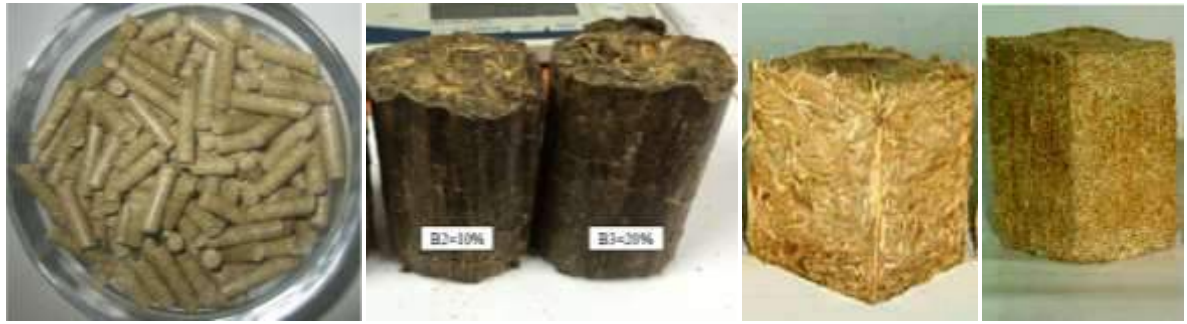


4 Gambar 1. Potensi proses konversi energi jerami padi (adaptasi dari IRR, 2018).

5

6

7



1

2

Gambar 2. Bahan bakar padat dari jerami: (a) pellet (Said *et al.*, 2015), (b) briket silinder (Gill *et al.*, 2017), (c) briket balok (Chou *et al.*, 2009).

3

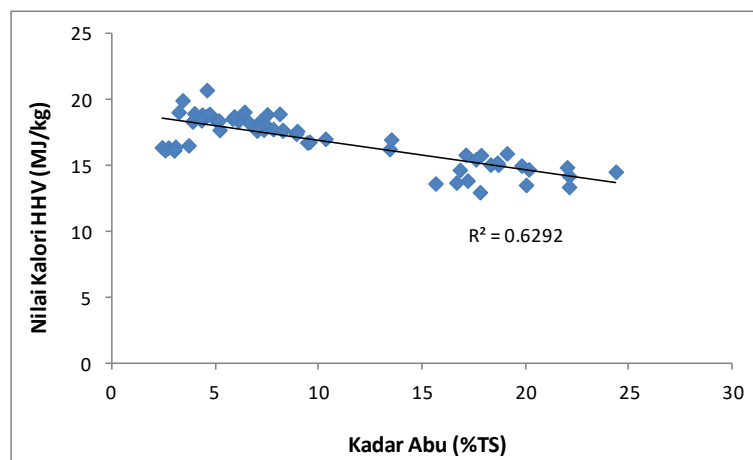


4

Gambar 3. Sebuah mesin pemanen padi combine harvester-baler (www.youtube.com)

5

6



7

8

Gambar 4. Pengaruh kadar abu biomasa terhadap nilai kalori (data dari <https://phyllis.nl>)