

---

PAPER NAME  
**Jtep ipb 2.pdf**

---

AUTHOR  
**a h**

---

WORD COUNT  
**5872 Words**

CHARACTER COUNT  
**34125 Characters**

PAGE COUNT  
**10 Pages**

FILE SIZE  
**1.1MB**

SUBMISSION DATE  
**Apr 7, 2023 11:11 AM GMT+7**

REPORT DATE  
**Apr 7, 2023 11:12 AM GMT+7**

---

### ● 13% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

- 13% Internet database
- 4% Submitted Works database
- 0% Publications database

### ● Excluded from Similarity Report

- Crossref database
- Bibliographic material
- Crossref Posted Content database
- Manually excluded sources

## Review

### 1 Energi Terbarukan dari Jerami Padi : Review Potensi dan Tantangan Bagi Indonesia

*Renewable Energy from Rice Straw: Review on Potential and Challenges for Indonesia*

4 Agus Haryanto, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: agus.haryanto@fp.unila.ac.id

Siti Suharyatun, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: ti\_suharyatun@yahoo.com

Winda Rahmawati, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: windarahmawati89@gmail.com

4 Sugeng Triyono, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Lampung.  
Email: striyono2001@yahoo.com

### 2 Abstract

Straw is a waste produced from the threshing and harvesting of rice. So far, rice straw has only been removed. In fact, it can be used as a potential energy source. This paper aims to examine the potential of rice straw as a renewable energy source in Indonesia. Opportunities and challenges were evaluated based on extensive and in-depth literature review. The paper discussed rice straw potential, its characteristics and benefits of using straw energy, and conversion technology. Results showed that renewable energy potential of rice straw is 693 PJ/year. Conversion technologies include densification, combustion, gasification, pyrolysis, fermentation, and biogas. The biggest challenge for using rice straw energy is collection and transportation. Straw characteristics also need to be improved to increase its combustion properties. Combustion, densification, and biogas are applicable technologies to convert rice straw to energy.

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

### Abstrak

Jerami merupakan limbah dari proses perontokan dan pemanenan padi. Selama ini jerami padi hanya dibuang, padahal, bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi yang potensial. Makalah ini bertujuan membahas potensi jerami padi sebagai sumber energi terbarukan Indonesia. Peluang dan tantangan dikaji berdasarkan studi literatur secara ekstensif dan mendalam. Makalah berisi perhitungan potensi jerami padi, karakteristik, keuntungan energi jerami, dan teknologi konversi. Hasil pengkajian menunjukkan potensi energi terbarukan dari jerami 693 PJ/tahun. Teknologi konversi jerami meliputi densifikasi, pembakaran, gasifikasi, pirolisis, fermentasi dan biogas. Tantangan terbesar pemanfaatan jerami padi adalah pengumpulan dan transportasi. Karakteristik intrinsik jerami juga perlu diperbaiki untuk mengurangi kandungan logam dan meningkatkan sifat pembakarannya. Pembakaran langsung, densifikasi, dan biogas adalah teknologi mengkonversi jerami padi yang sudah diaplikasikan.

**Kata Kunci:** pembakaran, biogas, gasifikasi, transprtasi, logam alkali.

10 Diterima: 29 Januari 2019; Disetujui: 11 April 2019

## Latar Belakang

**1** Indonesia merupakan negara penghasil padi terbesar di kawasan Asia Tenggara dan terbesar ketiga di dunia (Abraham et al., 2016), sehingga budidaya padi dan rantai prosesnya memiliki posisi penting. Hal ini dapat dilihat dari sumbangannya yang mencapai 21% dari total produksi sektor pertanian nasional (Samuel, 2013). Dengan luas panen mencapai 15.712 juta ha, produksi padi Indonesia mencapai 81.149 juta ton gabah kering giling (BPS, 2018). Proses produksi beras menghasilkan produk samping berupa jerami, kulit, dan bekatul. Jerami padi meliputi bagian yang tertinggal pada saat panen dan setelah gabah dirontokkan (merang), dan merupakan komponen yang paling besar. Produksi jerami kering berkisar 2.3 ton/ha (Djajanegara dan Bangkuti, 1983) hingga 3.86 ton/ha (Marsetyo, 2008). **1** Pada angka produksi jerami padi rata-rata 3.08 ton/ha dan luas panen padi tahun 2018 seluas 15.712 juta ha (BPS, 2018), maka total potensi jerami padi Indonesia adalah 48.39 juta ton bahan kering per tahun. Dengan nilai kalori rata-rata 14.32 GJ/ton, maka potensi energi jerami padi adalah 693 PJ/tahun, setara 19.25 juta kiloliter solar. Potensi jerami padi ini diperkirakan meningkat dengan laju 3.1%/tahun (Makhraji, 2014).

**5** Jerami padi bisa menjadi sumber energi alternatif menggantikan energi fosil sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) serta menghindari polusi lokal akibat pembakaran terbuka. Jerami padi menarik karena dapat diperbarui dan dianggap netral karbon dioksida. Tetapi, jerami padi memiliki sifat intrinsik yang kurang baik sebagai bahan bakar. Selain itu, jerami padi tercerer di lahan mengakibatkan biaya koleksi yang mahal. Berat jenis yang rendah juga mengakibatkan transportasi jerami padi ke lokasi pengguna menjadi mahal. Makalah ini bertujuan untuk menyajikan hasil ulasan (*review*) mendalam mengenai potensi dan tantangan jerami padi sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia.

## Sifat Jerami Padi

Sebagai biomassa lignoselulosik, jerami tersusun atas tiga komponen, yaitu: lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Hal ini membuka peluang bagi pemanfaatan jerami sebagai sumber energi melalui berbagai rute konversi. Jerami memiliki massa jenis yang rendah, yaitu 70–80 kg/m<sup>3</sup> pada kadar air 15–18%. Tabel 1 memberikan sifat dan komposisi beberapa jenis jerami. Dua hal yang menyolok dari jerami padi dibandingkan jerami lain adalah kadar abu yang tinggi (hingga 22.1%) dan nilai kalori (HHV) yang rendah (kurang dari 15 MJ/kg). Efek negatif dari kandungan abu yang tinggi dan komposisi mineralnya akan dibahas lebih rinci di bagian selanjutnya.

## Teknologi Konversi Energi Jerami

**5** Jerami padi dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan bahan bakar, panas, atau listrik melalui proses-proses termal-kimia, fisika, atau biologi (Gambar 1). Hingga saat ini konversi termal jerami padi yang paling umum adalah pembakaran langsung terbuka di lahan. Samuel (2013) menyatakan bahwa 61% dari potensi jerami dibakar di lahan. Alasan utama pembakaran jerami padi adalah murah dan kurangnya tenaga kerja. Pembakaran juga dipicu oleh aplikasi mesin pemanen *combine* yang mengakibatkan jerami berceceran dan sulit dikumpulkan. Pembakaran jerami dapat membantu mengendalikan gulma, hama dan penyakit. Efek negatif pembakaran meliputi kehilangan unsur hara, penipisan bahan organik tanah, dan pengurangan biota tanah (Mandal et al., 2004). Jerami yang terbakar di lahan juga menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) dan polutan seperti CH<sub>4</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, dioksin, dan furan (Jenkins et al., 2003) hingga debu kasar (PM10) dan debu halus (PM2.5) (Chang et al., 2013), yang mempengaruhi kualitas udara regional.

## Densifikasi

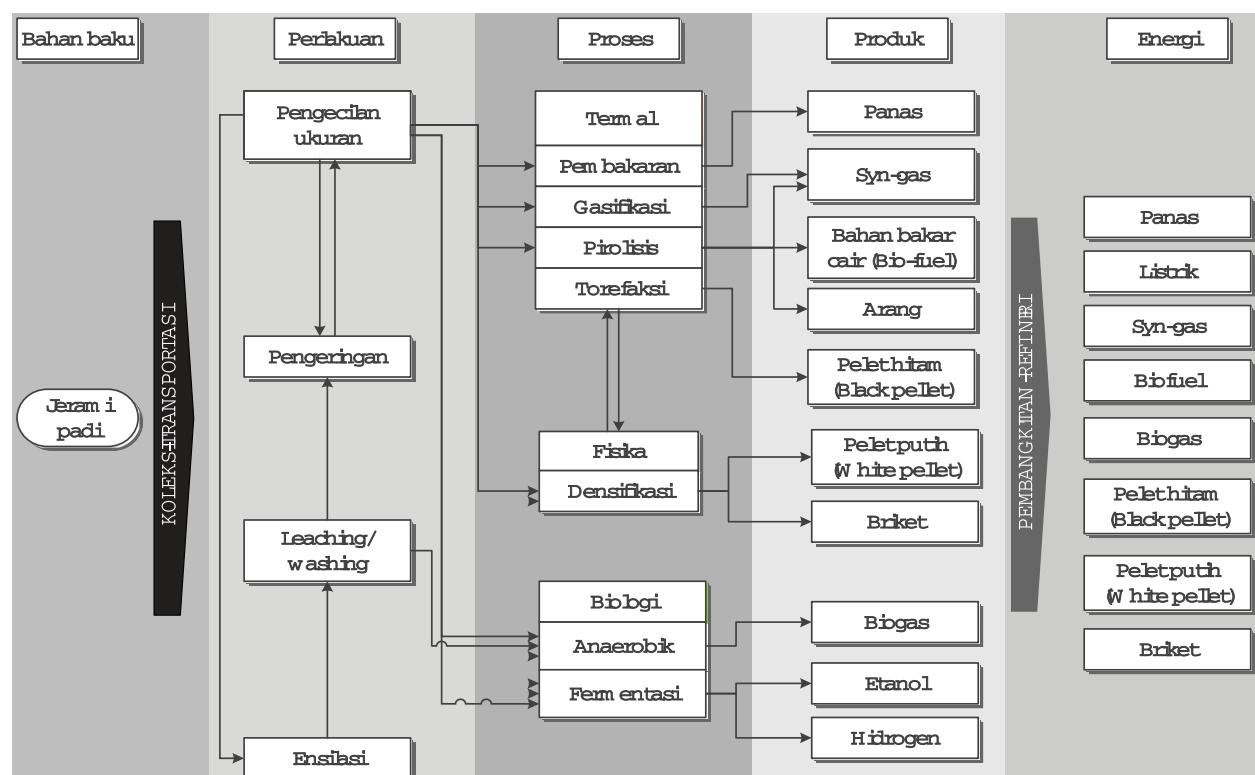
Keterbatasan utama jerami padi adalah kerapatan curah yang rendah (antara 80–100 kg/m<sup>3</sup>) sehingga menyulitkan penanganan, penyimpanan, dan transportasi. Densifikasi dapat menghasilkan bahan bakar yang homogen dan densitas hingga 10 kali sehingga menurunkan biaya transportasi serta ruang penyimpanan (Tumuluru et al., 2011). Densifikasi menghasilkan dua jenis produk, yaitu pelet dan briket (Gambar 2). Pelet berbentuk silinder dengan diameter 6–12 mm, panjang <10 cm, densitas satuan 1000–1400 kg/m<sup>3</sup> dan densitas kamba sekitar 700 kg/m<sup>3</sup> (Stelte et al., 2011). Pelet dapat digunakan untuk aplikasi rumah tangga maupun industri (*boiler*). Untuk menghasilkan pelet, jerami padi digiling menjadi partikel halus lalu dipres dengan tekanan tinggi (> 50 MPa). Tekanan sangat menentukan kualitas pelet, tetapi di atas 200 MPa tidak berpengaruh signifikan terhadap densitas pelet (Stelte et al., 2011). Ukuran partikel jerami mempengaruhi tekanan kerja (makin kecil partikel, makin besar tekanan). Pelet dibuat dengan menambahkan uap tanpa perekat. Pelet yang berkualitas dibuat dengan suhu 60–80°C dan kadar air bahan 13–20% (Ishii 2014). Jika jerami terlalu kering, permukaan pelet bisa menjadi arang dan terbakar sebelum proses selesai. Jika terlalu basah, uap air tidak bisa lepas pada saat pengepresan sehingga menghasilkan pelet yang lemah secara mekanis. Pengembangan pelet jerami padi menarik secara komersial, meningkatkan nilai tambah rantai proses padi, dan dapat membuka kesempatan kerja di wilayah pedesaan.

Briket berbentuk silinder atau balok dengan ukuran 60–100 mm dan panjang 60–150 mm. Briket dipakai untuk bahan bakar boiler dan kurang sesuai

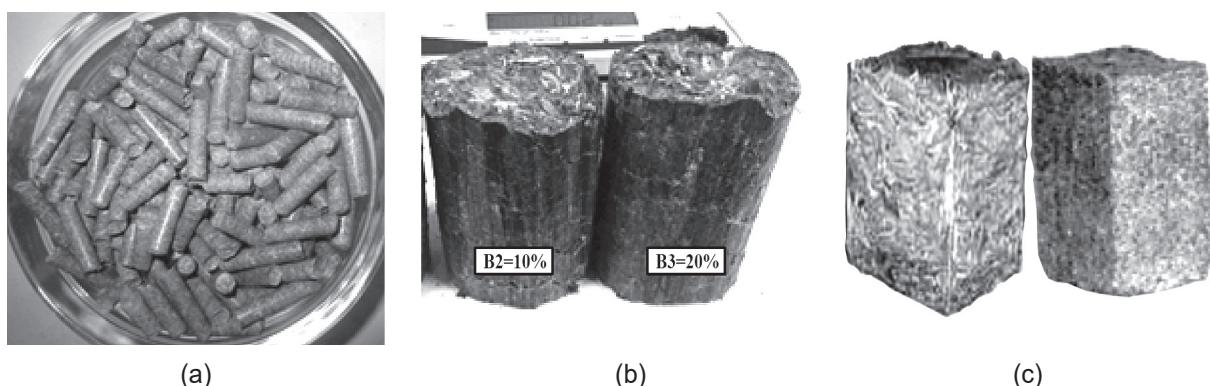
Table 1. Sifat-sifat jerami padi dan bahan sejenisnya.

Jenis Jerami	Uji Proksimat (%, bk)			Uji Ultima (%, bk)			Komposisi Ab (%, 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 (rumput)	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	**
Switchgraas	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	**

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



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

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

untuk aplikasi rumah tangga. Untuk menghasilkan briket, jerami cukup dipotong-potong lalu dipres dengan mesin kempa. Briket yang baik dihasilkan dari tekanan kerja sekitar 30 MPa (Singh and Singh, 1982). Kondisi optimum pembuatan briket jerami adalah kadar air bahan 12–14%, ukuran partikel 14–16 mm, dan perekat 20%. Pada kapasitas 1200 kg/jam, pembuatan briket memerlukan daya minimum (36.60 kW) dan menghasilkan briket dengan densitas tinggi (1030.38–1159.22 kg/m<sup>3</sup>) dan nilai kalori tinggi (15.61 MJ/kg) (Gill et al., 2017). Jenkins et al. (2000) mencatat konsumsi energi pada proses densifikasi dan penggilingan jerami padi berturut-turut mencapai 16 kWh/ton atau 2% dan 30 kWh/ton atau 4% dari daya yang dihasilkan pembangkit listrik jerami padi. Briket jerami untuk bahan bakar pembangkit listrik di daerah terpencil atau untuk mengoperasikan mesin penggiling gabah lebih berpeluang untuk dikembangkan karena tidak memerlukan energi untuk penggilingan dan biaya transportasi dapat ditekan.

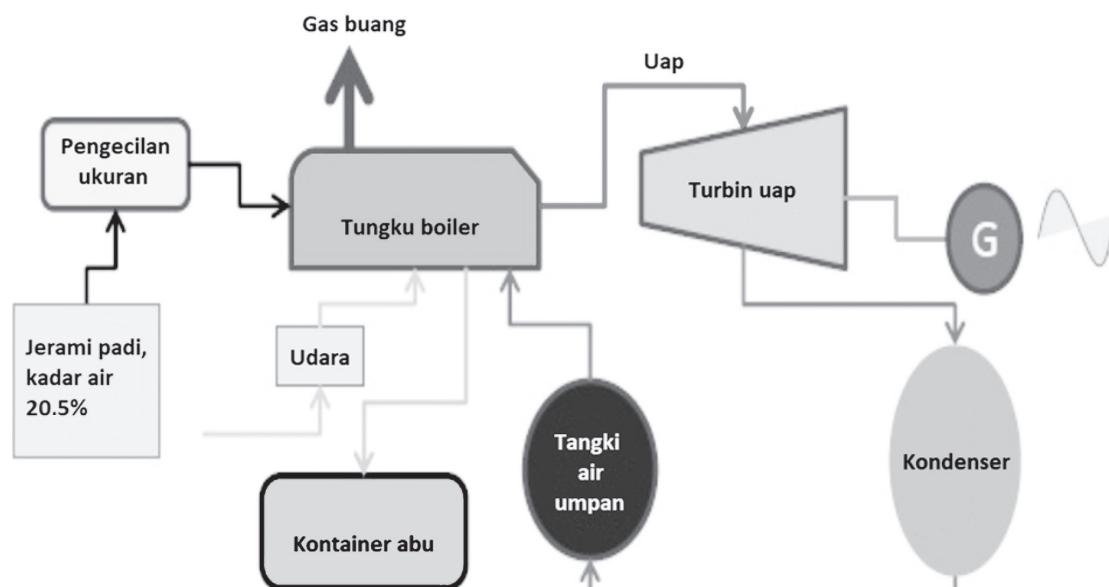
### Pembakaran Langsung

Jerami masih digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura et al., 2005). Pembakaran langsung merupakan proses termal yang paling banyak dipilih untuk keperluan industri kecil (pembakaran batubara, genteng) hingga pengoperasian turbin uap skala kecil. Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan listrik di Indonesia (Makhraji, 2014). Pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010).

Sistem pembangkit listrik dengan pembakaran langsung merupakan cara yang paling sederhana dan paling tua untuk membangkitkan listrik dari biomassa. Sistem pembangkit listrik jerami (Gambar 3) terdiri

dari komponen unit pengelolaan jerami (penyimpanan, pengecilan ukuran), tungku, boiler, kondenser, tangki air umpan, dan kontainer abu (Abdelhady et al., 2014). Dalam pembangkit ini jerami dibakar di dalam tungku dan memanaskan boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Bal jerami dikirim dari bin penyimpanan dan diumpulkan ke tungku boiler. Di dalam boiler, sebagian jerami dibakar di atas sarangan (grate) dan sebagian lainnya tertunda dan terbakar di dalam tungku. Uap bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan boiler memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Ketika turbin berputar maka generator juga berputar sehingga menghasilkan listrik yang kemudian ditransmisikan ke jaringan.

Pembangkit listrik berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit batubara, dan 1.05 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit gas alam (Shafie et al., 2014). Di India, Soam et al. (2017) menyimpulkan tiap ton jerami padi kering yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1.47 ton CO<sub>2</sub>-eq. Tetapi, Jenkins et al. (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20% pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar 25% (dari \$20 menjadi \$24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ) (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk boiler industri, pemanfaatan jerami lebih kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal boiler khusus berbahan bakar jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan bakar sebesar 0.01 Baht/MJ panas. Berdasarkan hal ini, pembangkit listrik tenaga jerami perlu diupayakan



Gambar 3. Komponen sistem pembangkit listrik pembakaran langsung berbahan bakar jerami (Abdelhady et al., 2014).

terutama untuk masyarakat yang tidak terjangkau PLN atau untuk mengoperasikan pabrik penggiling padi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik konvensional.

### Pembakaran Langsung

Jerami masih digunakan sebagai sumber bahan bakar bagi masyarakat di berbagai negara dan mencakup 14% dari konsumsi energi total di dunia (Matsumura *et al.*, 2005). Pembakaran langsung merupakan proses termal yang paling banyak dipilih untuk keperluan industri kecil (pembakaran batubara, genteng) hingga pengoperasian turbin uap skala kecil. Pemanfaatan jerami untuk bahan bakar pembangkit dapat mengatasi masalah kelangkaan listrik di Indonesia (Makhrani, 2014). Pembakaran langsung merupakan teknologi pembangkit listrik dari jerami yang paling menjanjikan (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010).

Sistem pembangkit listrik dengan pembakaran langsung merupakan cara yang paling sederhana dan paling tua untuk membangkitkan listrik dari biomassa. Sistem pembangkit listrik jerami (Gambar 3) terdiri dari komponen unit pengelolaan jerami (penyimpanan, pengecilan ukuran), tungku, boiler, kondenser, tangki air umpan, dan kontainer abu (Abdelhady *et al.*, 2014). Dalam pembangkit ini jerami dibakar di dalam tungku dan memanaskan boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Bal jerami dikirim dari bin penyimpanan dan diumpulkan ke tungku boiler. Di dalam boiler, sebagian jerami dibakar di atas sarangan (*grate*) dan sebagian lainnya tertunda dan terbakar di dalam tungku. Uap bersuhu dan bertekanan tinggi yang dihasilkan boiler memutar turbin yang dihubungkan dengan generator. Ketika turbin berputar maka generator juga berputar sehingga menghasilkan listrik yang kemudian ditransmisikan ke jaringan.

Pembangkit listrik berbahan bakar jerami padi berpotensi menurunkan emisi GRK sebesar 1.79 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit batubara, dan 1.05 kg CO<sub>2</sub>-eq/kWh jika dibandingkan dengan pembangkit gas alam (Shafie *et al.*, 2014). Di India, Soam *et al.* (2017) menyimpulkan tiap ton jerami padi kering yang dipakai untuk membangkitkan listrik dapat mereduksi emisi GRK 1.47 ton CO<sub>2</sub>-eq. Tetapi, Jenkins *et al.* (2000) mencatat bahwa pencampuran jerami padi sebanyak 20% pada pembangkit listrik berbahan bakar kayu justru meningkatkan biaya bahan bakar sebesar 25% (dari \$20 menjadi \$24.80 per ton). Studi di Thailand juga menunjukkan biaya bahan bakar pembangkit listrik jerami (0.38–0.61 Baht/MJ) belum kompetitif dibandingkan dengan batubara (0.30 Baht/MJ), tetapi masih sebanding dengan biomassa lain (0.35–0.53 Baht/MJ) (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Untuk *boiler* industri, pemanfaatan jerami lebih kompetitif dan fleksibel dengan dua opsi, yaitu (1) menginstal *boiler* khusus berbahan bakar jerami; atau (2) jika memakai boiler batubara, maka penggantian bahan bakar dari batubara ke jerami akan memberikan penghematan biaya penyediaan bahan

bakar sebesar 0.01 Baht/MJ panas. Berdasarkan hal ini, pembangkit listrik tenaga jerami perlu diupayakan terutama untuk masyarakat yang tidak terjangkau PLN atau untuk mengoperasikan pabrik penggiling padi sehingga dapat mengurangi konsumsi listrik konvensional.

### Gasifikasi Jerami

Gasifikasi merupakan teknologi konversi energi jerami yang menjanjikan untuk menghasilkan daya listrik atau panas (Suramaythangkoor and Gheewala, 2010). Gasifikasi adalah proses termokimia dimana biomassa dikonversi menjadi syngas yang terdiri dari CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, dan sedikit gas lain. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar maupun feedstock industri. Gasifikasi jerami dapat mengurangi polusi dan memperbaiki kualitas udara rumah tangga. Delivand *et al.* (2011) menyimpulkan gasifikasi kapasitas pembangkit 8-10 MW lebih praktis dan memenuhi kriteria keekonomian. Studi di Pakistan menyimpulkan gasifikasi biomassa layak diimplementasikan di wilayah pedesaan dengan populasi sekitar 200 keluarga atau untuk industri kecil (Khan, 2015). Sistem pembangkitan listrik jerami dapat ditingkatkan efisiensinya hingga 43% dengan mengintegrasikan semua komponen sistem, yaitu torefaksi, gasifikasi, pembersihan gas, dan pembangkit siklus kombinasi (Darmawan *et al.*, 2017).

Sistem gasifikasi *fluidized bed* sesuai untuk jerami padi, tetapi sistem ini terkendala karena tidak bisa bekerja pada skala kecil. Sistem gasifikasi *downdraft* atau *updraft* skala kecil dengan pelet atau briket jerami dapat dikembangkan di pedesaan atau untuk menjalankan penggilingan padi. Tetapi, aplikasi gasifikasi jerami padi masih akan lambat karena kadar abu dan kalium yang tinggi yang akan dibahas di bagian selanjutnya.

### Pirolysis Jerami

Pirolysis merupakan proses dekomposisi termokimia dari biomassa pada kondisi tanpa oksigen (anaerob) atau dengan sedikit oksigen dalam kisaran suhu relatif rendah 300–700°C. Selama pirolysis, molekul-molekul hidrokarbon kompleks dan besar pecah menjadi molekul-molekul gas, cairan, dan arang yang lebih sederhana. Pirolysis diklasifikasikan menjadi pirolysis lambat dengan produk utama arang, dan pirolysis cepat dengan produk utama bio-oil atau minyak pirolysis. Pütün *et al.* (2004) melaporkan bahwa bio-oil dari jerami padi mencapai nilai maksimum 35,86% pada proses dengan uap air. Yang *et al.* (2011) melaporkan suhu pirolysis optimum 450°C dengan aliran gas carrier 10 L/menit. Pada penelitian ini produk bio-oil mencapai 41.3% (w/w) dengan nilai pH sekitar 4.1 dan viscositas pada 25°C sekitar 9 cSt. Jung *et al.* (2008) melaporkan suhu reaksi optimal untuk produksi bio-oil dari jerami padi adalah antara 440 hingga 500°C dengan produksi bio-oil mencapai 69%.

Hingga kini pirolisis jerami masih dalam tahap pengembangan untuk menghasilkan produk bernilai tinggi, yaitu minyak pirolisis yang merupakan bahan dasar (*building block*) bagi proses lebih lanjut. Pirolisis lambat dengan produk cair, arang, dan gas yang seimbang lebih berpeluang untuk dikembangkan karena tidak memerlukan perkakas yang rumit.

### Etolol Jerami

**1** Karena kaya akan selulosa dan hemiselulosa dan tidak bersaingan dengan bahan makanan, jerami padi juga menjadi bahan baku yang menjanjikan untuk produksi etanol generasi kedua. Ada dua platform teknologi konversi yang tengah dikembangkan, yaitu platform syngas dan platform gula. Dalam platform syngas, jerami digasifikasi untuk menghasilkan syngas yang kemudian difermentasi atau diproses secara katalitik untuk menghasilkan etanol (Drapcho *et al.*, 2008). Dalam platform gula, selulosa dan hemiselulosa dihidrolisis dengan bantuan asam atau enzim menjadi gula (seperti glukosa, xylosa, arabinosa, dan galaktosa), lalu difermentasi untuk menghasilkan etanol. Platform gula hanya dapat memanfaatkan selulosa dan hemiselulosa. Tetapi, selulosa dan hemiselulosa terikat oleh lapisan lignin yang susah terhidrolisis. Kehadiran abu dan kandungan silika yang tinggi menimbulkan masalah dalam produksi etanol dari jerami padi. *Pretreatment* merupakan tahap yang paling mahal (Mosier *et al.*, 2005), sehingga pemilihan metode *pretreatment* yang tepat menjadi tantangan utama dalam pengembangan teknologi konversi jerami padi menjadi etanol yang efisien sehingga layak secara ekonomi (Binod *et al.*, 2010).

Rute konversi jerami ke etanol adalah yang paling lambat perkembangannya di Indonesia. Belum ada tanda-tanda bahwa teknologi ini akan teraplikasi dalam waktu dekat. Salah satu kendalanya adalah biaya proses produksi bahan bakar etanol yang tidak kompetitif. Jangankan bahan bakar etanol generasi kedua yang berbasis serat, etanol generasi pertama pun belum terjangkau harga keekonomiannya. Sebuah industri etanol berbahan baku singkong di Lampung Utara sudah berhenti beberapa tahun lalu akibat harga bahan baku yang mahal.

### Biogas Jerami

**1** Produksi biogas diakui sebagai salah satu proses konversi biomassa menjadi energi terbarukan yang paling ramah lingkungan (Mussoline *et al.*, 2013). Banyak penelitian yang membuktikan vialibilitas produksi biogas dari campuran jerami padi dan limbah organik lainnya. Kalra dan Panwar (1986) melaporkan setiap kilogram jerami padi dapat menghasilkan sekitar 220 L biogas. Campuran jerami padi dan kotoran sapi (perbandingan berat kering 3:1) dapat meningkatkan produksi biogas hingga 434.2 L/gVS yang terdegradasi dengan kandungan metana mencapai 50.12% (Haryanto *et al.*, 2018). Kotoran hewan yang umum digunakan sebagai sumber bakteri

meliputi kotoran babi, kotoran sapi, dan kotoran ayam. Kotoran sapi yang dicampur kotoran ayam dapat meningkatkan kapasitas *buffering* dan menghasilkan efek sinergis (Wang *et al.*, 2014). Mussoline *et al.* (2013) melaporkan kondisi optimal adalah pH (6.5–8.0), suhu (35–40°C) dan rasio C/N 25–35 dan dari digester 1-m<sup>3</sup> berisi campuran 50 kg jerami padi dengan air limbah babi dapat diperoleh biogas total 22.859 L selama 189 hari (231 L CH<sub>4</sub>/kgVS). Jika sistem diperluas untuk pertanian padi 100-ha, maka skenario ini dapat menghasilkan 100.000 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> per tahun, setara 328 MWh. Biogas dapat digunakan untuk membangkitkan daya listrik melalui mesin pembakaran internal maupun melalui boiler. Hibukawa *et al.* (2014) melaporkan bahwa Nagaoka Wastewater Treatment Plant di kota Niigata, Jepang, memerlukan 1916 ton jerami padi (kadar air, 20%) untuk dicampurkan dengan lumpur air limbah guna menghasilkan biogas. Hal ini merupakan merupakan motivasi bahwa jerami padi memiliki prospek yang baik untuk digunakan sebagai substrat dalam proses produksi biogas.

Meskipun demikian, suatu perlakuan awal (*pretreatment*) diperlukan untuk jerami padi karena dinding lignin pada jerami menghambat kecernaan (*digestibility*), yang mengurangi efisiensi konversi menjadi biogas. Berbagai metode pretreatment jerami padi dapat dipilih, seperti perlakuan mekanis (pengecilan ukuran), bahan kimia, termal, dan enzim (Bruni *et al.*, 2010). Perlakuan menggunakan alkali merupakan yang sangat efektif mengurangi lignin sehingga meningkatkan proses dekomposisi anaerobik. Produksi biogas dari jerami padi dengan perlakuan NaOH meningkat antara 27.3–64.5% (He *et al.*, 2008). Pretreatment dengan 0.5 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> pada 110°C selama 2 jam menghasilkan 292 L CH<sub>4</sub>/kgVS, sedangkan jerami tanpa diolah hanya memproduksi 130 L CH<sub>4</sub>/kgVS (Dehghani *et al.*, 2015).

### Tantangan

Tantangan pemanfaatan jerami padi meliputi persoalan sosial-ekonomi terkait dengan praktik budidaya padi di lahan basah yang berakibat pada mahalnya biaya pengumpulan dan transportasi, serta persoalan teknis yang meliputi karakteristik intrinsik dari jerami itu sendiri.

### Pengumpulan dan Transportasi

Pengumpulan jerami masih menjadi tantangan utama dalam rantai penyediaan jerami untuk penggunaan lebih lanjut. Jerami perlu dikumpulkan dan diikat agar lebih kompak dan mudah diangkut. Kebiasaan petani Indonesia yang memanen padi ketika kondisi lahan masih basah menyulitkan proses koleksi sehingga menjadi mahal. Pada pemanenan tradisional dengan sabit, proses perontokan (baik menggunakan thresher maupun dibanting pada gebot) akan meninggalkan jerami yang terkumpul dalam satu area. Persoalan juga dihadapi pada proses

transportasi yang biasanya dilakukan menggunakan truk. Demi penghematan, sopir cenderung untuk mengangkut jerami sebanyak mungkin. Dengan kondisi yang terurai, maka pemuatian dilakukan dengan menumpuk dan mengikat jerami sampai tinggi. Hal ini membahayakan pengguna jalan lainnya karena selain menghalangi jarak pandang, muatan yang tinggi juga rawan mengakibatkan truk terguling.

Jika kondisi tanah pada saat panen cukup kering, maka pengumpulan dapat dilakukan secara mekanis. Studi di Vietnam menunjukkan pengumpulan jerami secara mekanis berkapasitas 0.87–2.47 ton/jam dapat menekan kebutuhan tenaga kerja hingga 90% dengan biaya pengumpulan jerami antara 12–18 US\$/ton (Nguyen *et al.*, 2016). Biaya pengumpulan jerami padi di Taiwan 31.66 US\$/ton dan biaya transportasi 20.7 US\$/ton (Chiu *et al.*, 2016). Pengumpulan jerami padi secara mekanis dapat mencegah pembakaran di lahan, menjamin kelangsungan pasokan feedstock untuk penggunaan lebih lanjut, dan memberikan nilai tambah bagi budidaya padi. Oleh karena itu, kajian menyeluruh sistem koleksi dan transportasi perlu dilakukan untuk mempertimbangkan jerami padi sebagai sumber energi. Hambatan utama pemanfaatan jerami padi untuk energi adalah biaya yang tinggi untuk logistik pengumpulan, pengangkutan, penanganan dan penyimpanan. Biaya transportasi jerami padi dipengaruhi oleh jarak tempuh. Pada jarak tempuh antara 12–20 km, biaya transportasi jerami padi 5.40–6.40 \$/ton dan peningkatan 0.12 \$/ton per km (Jenkins *et al.*, 2000).

Kini, pemanenan padi banyak dilakukan menggunakan mesin pemanen kombinasi (*combine harvester*). Dengan mesin combine harvester, proses pengumpulan jerami padi menjadi makin sulit dan mahal karena jerami tercerer dan tersebar di lahan (Samuel, 2013). Logistik penyediaan bahan bakar sangat berpengaruh terhadap ekonomi pembangkit listrik biomassa, khususnya jerami padi. Salah satu gagasan menarik adalah mengoptimalkan mesin combine agar mampu memanen padi, merontok dan mengepak gabah, serta menggulung jerami padi *in situ* menjadi bal (Gambar 4). Analisis penggunaan mesin baler di Thailand (Delivand *et al.*, 2011) menunjukkan biaya total operasi logistik bervariasi dari 18.75 hingga 19.89 US\$/t. Menyatukan proses pemanenan hingga penggulungan jerami padi dalam sekali kerja menjadi penting karena biaya untuk koleksi jerami cukup besar. Dengan cara ini proses pemanenan jerami hanya menyisakan bongkar-muat dan transportasi.

#### Karakteristik Intrinsik Jerami Padi

Jerami padi merupakan bahan bakar yang buruk, terutama untuk sistem yang beroperasi pada suhu tinggi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik intrinsik dari jerami padi itu sendiri, seperti kadar abu yang tinggi dan kandungan elemen-elemen (Si, K, Na, S, Cl, P, Mg, dan Fe) yang tinggi. Kandungan abu yang tinggi menurunkan nilai energi (Gambar 5). Abu yang tinggi juga mengakibatkan tambahan biaya 0.5 \$/MWh pada

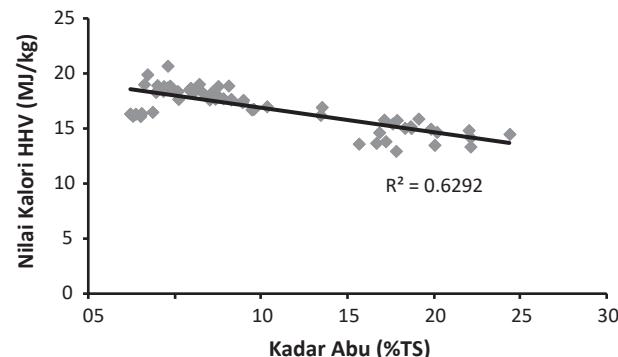
biaya total pembangkitan untuk menangani masalah yang terkait dengan abu dan ammonia (Jenkins *et al.*, 2000).

11 Komposisi kimia abu jerami padi yang terdiri dari logam alkali dan alkali tanah (Si, Ca, Mg, Na dan K) bertanggung jawab pada berbagai reaksi yang tidak diinginkan dalam sistem pembakaran. Konsentrasi abu dan kandungan silika serta logam alkali yang tinggi pada jerami padi mengakibatkan aglomerasi, fouling, slagging pada komponen boiler (Jenkins *et al.*, 1998) yang berdampak pada menurunnya efisiensi sistem (Jenkin *et al.*, 2000) dan kegagalan pada sebagian besar tanur dan boiler. Kegagalan ini telah menghambat pemanfaatan jerami untuk boiler skala besar, bahkan di wilayah dimana boiler berdekatan dengan sumber jerami. Kandungan silika yang tinggi pada jerami padi menyebabkan komponen mesin pencacah atau penggiling cepat aus. Jerami padi juga sangat sulit dibakar, terutama pada tungku pembakaran yang dirancang untuk pembangkit akibat terbentuknya deposit. Deposit ini menghambat laju perpindahan panas, memicu pembentukan kerak dalam tungku dan pada sarangan sehingga mempersulit pengumpanan bahan bakar dan pembuangan abu (Jenkins *et al.*, 1998). Hal ini meningkatkan biaya pembangkitan listrik karena rendahnya efisiensi.

Salah satu upaya menurunkan K dan Cl adalah pelindian (*leaching*). Pelindian dengan air dapat menghilangkan 80% K dan 90% Cl. Pelindian



Gambar 4. Sebuah mesin pemanen padi *combine harvester-baler* ([www.youtube.com](http://www.youtube.com)).



Gambar 5. Pengaruh kadar abu biomassa terhadap nilai kalorii (data dari <https://phyllis.nl>).

dapat dilakukan secara alami dengan membiarkan jerami terkena hujan lalu memanennya, atau merendam jerami setelah dipanen. Pelindian jerami menggunakan air limbah tahu dapat menurunkan K hingga 93.75% hanya dalam waktu 3.75 menit (Zubaidah, 2019). Pencampuran 20-25% jerami yang sudah terlindi dengan kayu bakar atau sekam padi dapat menurunkan resiko akibat kerak (Baker, 2000).

## Simpulan

Jerami padi berpotensi besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi terbarukan.<sup>1</sup> Potensi tahunan jerami padi di Indonesia mencapai 48.39 juta ton yang setara dengan 693 PJ. Teknologi konversi jerami menjadi energi terbarukan yang tersedia meliputi pembakaran terkontrol, densifikasi untuk menghasilkan pelet maupun briket, gasifikasi, pirolisis, fermentasi, dan dekomposisi anaerobik (biogas). Tantangan utama pemanfaatan jerami padi meliputi kadar abu dan kadar logam alkali yang tinggi yang mengakibatkan aglomerasi pada sistem konversi dengan suhu tinggi. Perlakuan *leaching* (pelindihan) menggunakan air bisa mengurangi kandungan logam alkali secara signifikan. Tantangan lain adalah proses koleksi dan transportasi yang secara ekonomi masih mahal. Sifat jerami yang lepas mengakibatkan rumitnya proses pengumpulan dan transportasi. Salah satu solusinya adalah densifikasi *in situ* yang disatukan dengan proses pemanenan menggunakan mesin combine harvester. Sejauh ini pembakaran langsung, densifikasi, dan biogas merupakan teknologi konversi jerami padi yang sudah diaplikasikan, sedangkan teknologi lainnya (gasifikasi, pirolisis, fermentasi etanol) masih dalam tahap pengembangan.

## 5 Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Penelitian Terapan Unggulan BLU Universitas Lampung tahun 2018 dengan nomor kontrak 1459/UN26.21/PN/2018. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dua orang reviewer yang telah memberikan saran dan masukan berharga.

## Daftar Pustaka

- Abdelhady, S., D. Borello, S. Shaban and F. Rispoli. 2014. Viability Study of Biomass Power Plant Fired with Rice Straw in Egypt. *Energy Procedia* Vol. 61: 211-215.
- Abraham, A., A.K. Mathew, R. Sindhu, A. Pandey and P. Binod. 2016. Potential of rice straw for bio-refining: An overview. *Bioresource Technology* Vol. 215: 29-36.
- Baker, R. 2000. Biomass fuel leaching for the control of fouling, slagging, and agglomeration in biomass

power generation. *PhD Dissertation*, University of California.

- Binod, P., R. Sindhu, R.R. Singhania, S. Vikram, L. Devi, S. Nagalakshmi, N. Kurien, R.K. Sukumaran, A. Pandey. 2010. Bioethanol production from rice straw: An overview. *Bioresource Technology* Vol. 101: 4767-4774.
- BPS. 2018. Statistik Indonesia 2018. Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Bruni, E., A.P. Jensen and I. Angelidaki. 2010. Comparative study of mechanical, hydro-thermal, chemical and enzymatic treatments of digested biofibers to improve biogas production. *Bioresource Technology* Vol. 101: 8713-8717.
- Chang, C.H., C.C. Liu and P.Y. Tseng. 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.* Vol. 13: 474-87.
- Chiu, Y.-C., S.-J. Guo, S. Chen, C.-Y. Tsai and J.-M. Tsai. 2016. Planning the collection and transportation of rice straw in Nantou County, Taiwan. *Applied Engineering in Agriculture* Vol. 32(5): 1-8.
- Chou, C.-S, S.-H. Lin, and W.-C. Lu. 2009. Preparation and characterization of solid biomass fuel made from rice straw and rice bran. *Fuel Processing Technology* Vol. 90, p. 980-987.
- Darmawan, A., A.C. Fitrianto, M. Aziz, and K. Tokimatsu. 2017. Enhanced electricity production from rice straw. *Energy Procedia* Vol. 142: 271-277.
- Dehghani, M., K. Karimi and M. Sadeghi. 2015. Pretreatment of rice straw for the improvement of biogas production. *Energy Fuels* Vol. 29(6): 3770-3775.
- Delivand, M.K., M. Barz, S.H. Gheewala and B. Sajjakulnukit. 2011. Economic feasibility assessment of rice straw utilization for electricity generating through combustion in Thailand. *Applied Energy* Vol. 88: 3651-3658.
- Djajanegara, A. and M. Rangkuti. 1983. Residues of importance as potential animal feeds in Indonesia, in edited by Shacklady, C.A. (Ed). *The Use of Organic Residues in Rural Communities*, United Nations University Press, Tokyo: 3-10.
- Drapcho, C.M., N.P. Nhuan, T.H. Walker. 2008. *Biofuels Engineering Process Technology*. Mc Graw Hill Companies, Inc., New York : 133-134.
- Gill, N., R. Dogra and B. Dogra. 2017. Influence of moisture content, particle size, and binder ratio on quality and economics of rice straw briquettes. *Bioenergy Research*. DOI: 10.1007/s12155-017-9877-9.
- Haryanto, A., B.P. Sugara, M. Telaumbanua, and R.A.B. Rosadi. 2018. Anaerobic co-digestion of cow dung and rice straw to produce biogas using semi-continuous flow digester: Effect of urea addition. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* Vol. 147(1): 012032.

- Hibukawa, H.S., A.I. Noue, S.H. Imeno and T.K. Omatsu. 2014. Examination of rice straw collection and transportation systems for the production of biogas by co-digestion with sewage sludge: A case study of the Nagaoka region in Niigata Prefecture. *Japanese Journal of FarmWork Research* Vol. 49(2): 69–78.
- 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).
- Ishii, K. and T. Furuichi. 2014. Influence of moisture content, particle size and forming temperature on productivity and quality of rice straw pellets. *Waste Management* Vol. 34(12): 2621–2626.
- Jenkins, B.M. 1998. Physical properties of biomass, in Kitani, O. and C.W. Hall (Eds). *Biomass Handbook*. Gordon and Breach, New York, p.
- Jenkins, B.M., R.R. Bakker, R.B. Williams, R. Bakker-Dhaliwal, M.D. Summers, H. Lee, L.G. Bernheim, W. Huisman, L.L. Yan, P. Andrade-Sanchez and M. Yore. 2000. Commercial feasibility of utilizing rice straw in power generation. *Proceedings Bioenergy 2000*, Buffalo, New York.
- Jenkins, B.M., J.J. Mehlischau, R.B. Williams, C. Solomon, J. Balmes, M. Kleinman and N. Smith. 2003. Rice straw smoke generation system for controlled human inhalation exposures. *Aerosol Sci. Technol.* Vol. 37(5): 437–454.
- Jung, S-H., Kang, B-S. and Kim, J-S. 2008. Production of bio-oil from rice straw and bamboo sawdust under various reaction conditions in a fast pyrolysis plant equipped with a fluidized bed and a char separation system. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Vol. 82(2): 240–247.
- Kalra, M.S. and J.S. Panwar. 1986. Anaerobic digestion of rice crop residues. *Agricultural Wastes* Vol. 17: 263–269.
- Khan, A. 2015. Economic feasibility of biomass gasification for electricity generation in Pakistan. *Global Journal of Science Frontier Research: E Interdisciplinary* Vol. 15 (1): 19–23.
- Makhrani. 2014. Potential analysis of rice straw as an alternative energy source for substitute coal in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials* Vol. 554: 276–280
- Mandal, K.G., A.K. Misra, K.M. Hati, K.K. Bandyopadhyay, P.K. Ghosh and M. Mohanty. 2004. Rice residue management options and effects on soil properties and crop productivity. *Food Agric. Environ.* Vol. 2: 224–231.
- 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., T. Minowa and H. Yamamoto. 2005. Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass and Bioenergy* Vol. 29: 347–354
- Mosier, N., C. Wyman, D. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtapple. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresour. Technol.* Vol. 96: 673–686.
- Mussoline, W., G. Esposito, A. Giordano and P. Lens. 2013. The anaerobic digestion of rice straw: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* Vol. 43: 895–915.
- Nguyen, H.V., C.D. Nguyen, T.V. Tran, H.D. Hau, N.T. Nguyen and M. Gummert. 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., Y. Waridi and H. Roliadi. 2006. Progress in the technology of energy conversion from woody biomass in Indonesia. *Forestry Studies in China* Vol. 8(3), p. 1–8.
- Pütün, A.E., E. Apaydın, and E. Pütün. 2004. Rice straw as a bio-oil source via pyrolysis and steam pyrolysis. *Energy* Vol. 29(12–15): 2171–2180.
- Said, N., M.M. Abdel daiem, A. García-Maraver, and N. Zamorano. 2015. Influence of densification parameters on quality properties of rice straw pellets. *Fuel Processing Technology* Vol. 138: 56–64.
- Samuel, V. 2013. Environmental and socioeconomic assessment of rice straw conversion to ethanol in Indonesia: the case of Bali. *Thesis*. KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology, Stockholm, Sweden.
- Shafi, S.M., H.H. Masjuki and T.M.I. Mahlia. 2014. Life cycle assessment of rice straw-based power generation in Malaysia. *Energy* Vol. 70: 401–410.
- Singh, A. and Y. Singh. 1982. Briquetting of paddy straw. *Agric Mech Asia Africa Latin Am.* Vol. 13(4): 42–44.
- Soam, S., P. Borjesson, P.K. Sharma, R.P. Gupta, D.K. Tuli and R. Kumar. 2017. Life cycle assessment of rice straw utilization practices in India. *Bioresource Technology* Vol. 228: 89–98.
- Stelte, W., J.K. Holm, A.R. Sanadi, S. Barsberg, J. Ahrenfeldt and U.B. Henriksen. 2011. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel* Vol. 90: 3285–3290.
- Suramaythangkoor, T. and S.H. Gheewala. 2010. Potential alternatives of heat and power technology application using rice straw in Thailand. *Applied Energy* Vol. 87: 128–133.
- Tumuluru, J.S., C.T. Wright, J.R. Hess and K.L. Kenney. 2011. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* Vol. 5: 683–707.

- Wang, X.X., Lu, F. Li and G. Yang. 2014. Effects of temperature and Carbon-Nitrogen (C/N) ratio on the performance of anaerobic co-digestion of dairy manure, chicken manure and rice straw: Focusing on ammonia inhibition. *PLOS ONE* Vol. 9(5): e97265.
- Yang, S.Y., Zhang, C. and Chen, Z. 2011. The physical characteristics of bio-oil from fast pyrolysis of rice straw. *Advanced Materials Research* Vol. 328-330: 881–886.
- Zubaidah, U. 2019. Pencucian (*Leaching*) Kadar Kalium (K) Jerami Padi (*Oryza sativa*) Menggunakan Limbah Cair Industri Tahu untuk Meningkatkan Mutu Bahan Bakar. *Skripsi*. Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung.

## ● 13% Overall Similarity

Top sources found in the following databases:

- 13% Internet database
- 0% Publications database
- 4% Submitted Works database

---

### TOP SOURCES

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	<b>infostudikimia.blogspot.com</b>	6%
	Internet	
2	<b>scilit.net</b>	3%
	Internet	
3	<b>adoc.pub</b>	1%
	Internet	
4	<b>media.neliti.com</b>	1%
	Internet	
5	<b>jurnal.upnyk.ac.id</b>	<1%
	Internet	
6	<b>Universiti Utara Malaysia on 2015-02-01</b>	<1%
	Submitted works	
7	<b>conference.unsri.ac.id</b>	<1%
	Internet	
8	<b>oninkelektrounhalu.blogspot.com</b>	<1%
	Internet	
9	<b>Universitas Respati Indonesia on 2020-06-03</b>	<1%
	Submitted works	

10	core.ac.uk	<1%
	Internet	
11	edoc.pub	<1%
	Internet	
12	idoc.pub	<1%
	Internet	

## ● Excluded from Similarity Report

- Crossref database
  - Bibliographic material
  - Crossref Posted Content database
  - Manually excluded sources
- 

### EXCLUDED SOURCES

**repository.lppm.unila.ac.id**

Internet

---

**94%**

**journal.ipb.ac.id**

Internet

---

**94%**

**researchgate.net**

Internet

---

**5%**

**jurnal.ipb.ac.id**

Internet

**3%**