

UJI KINERJA UNIT MESIN PRODUKSI *BIO-PELLET* MENGGUNAKAN BAHAN BAKU SEKAM PADI (*Performance Test of Biomass Pellet Plant Machinery using Rice Husk as Raw Material*)

Elita R. Widjaya¹, Sigit Triwahyudi¹, Rosmeika¹, Sigid Hadiwibowo¹

¹Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian
Jl. Sinarmas Boulevard, Pagedangan, Tangerang, Banten 15338
Telp. 0811-9936-787
Email : elita.er@gmail.com

Diterima: 1 Oktober 2019; Disetujui: 9 Oktober 2019

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah padat pertanian terkadang terhambat pada karakteristik bahan itu sendiri yang bersifat kamba, mengakibatkan konversinya menjadi energi sulit dikontrol secara otomatis. Upaya untuk meningkatkan kualitas bahan bakar dari limbah padat pertanian adalah dengan cara mengubahnya menjadi *bio-pellet*. *Bio-pellet* ini dapat dijadikan substitusi komoditas *pellet* kayu yang telah ada di pasaran dan permintaannya semakin meningkat di pasar dunia. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian (BBP Mektan) telah melakukan pengembangan unit mesin produksi *bio-pellet* dengan komponen mesin terdiri dari mesin pengecil ukuran, mesin pencampur dan mesin pencetak *pellet* kapasitas 100 Kg/jam. Pada makalah ini dikhususkan pada uji kinerja mesin yang dilakukan dengan menggunakan bahan baku sekam padi dengan dua perlakuan, yaitu dengan bahan pengikat tapioka 4% dan tanpa bahan pengikat. Proses pencetakan *pellet* sangat tergantung dari sifat bahan biomasa itu sendiri. *Bio-pellet* sekam dapat tercetak dengan kualitas yang baik ketika suhu ruang pengepres mencapai 60-80°C. Analisis kualitas *Bio-pellet* sekam memperlihatkan bahwa bahan pengikat tidak mempengaruhi panjang dan diameter *pellet*, namun mempengaruhi berat satuan *pellet*, dimana *pellet* dengan bahan pengikat rata-rata sedikit lebih berat dibandingkan tanpa bahan pengikat. *Pellet* setelah penyimpanan selama 14 hari memperlihatkan tidak terjadinya perubahan bentuk yang signifikan baik *pellet* yang dengan bahan pengikat maupun tanpa pengikat. Kadar air *pellet* yang dihasilkan rata-rata < 10%; perkiraan nilai kalor 14,4-15,2 MJ/kg; dan titik awal pembakaran (*ignition point*) 278°C, titik habis terbakar (*burnout*) 454°C.

Kata kunci: Mesin, *Bio-pellet*, Kinerja, Biomassa, Bahan bakar padat

ABSTRACT

The utilization of agricultural solid waste sometimes inhibited by the characteristics of the material itself which is bulky causing some difficulties in controlling the process of energy conversion automatically. One of the efforts to improve the quality of fuel from agricultural solid waste is by converting it into fuel pellet for a substitution of wood pellet commodity which is already available on the market and the demand is increasing. Indonesian Center for Agricultural Engineering Research and Development (ICAERD) has developed a unit machine of pellet production consisting of powdering machine, mixer and pelleting mill with a capacity of 100 kg / hour. In this paper, the performance test was conducted specific to the raw material of rice husk using two treatments of 4% tapioca binder and without binder applications. The pelleting performance was very dependent on the biomass characteristic itself, pressing smoothly when the pressing barrel reaching between 60-80°C. Analyses of rice husk pellets revealed that the binder did not significantly affect the length and diameter of pellets, but affected the single weight of the pellet. The binder influenced the average single pellet weight, in which the pellet with binder was heavier than that of without the binder. The density of pellets after being stored for 14 days was not change significantly either pellets with binder or without binder. The water contents of pellets were on average less than 10%; the estimated heating value was 14.4-15.2 MJ / kg; the ignition point of combustion was 278°C and the burnout point was 454°C.

Keywords: Machinery, Pellet, Performance, Biomass, Solid fuel

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara agraris menghasilkan limbah biomasa yang cukup besar. Penggilingan padi menghasilkan limbah biomasa dalam bentuk sekam; industri kelapa sawit menghasilkan limbah seperti tandan kosong, cangkang sawit dan fiber dalam jumlah yang cukup besar pula seiring dengan produksinya; limbah lainnya yang berhasil dari sisa panen seperti batang, tongkol dan daun jagung, batang dan daun sorgum yang jumlahnya terkadang lebih besar dibandingkan produk primernya. Limbah sekam mempunyai potensi sebanyak 15,8 juta ton pada tahun 2016; jika mempunyai nilai kalor sekitar 15 MJ/kg akan setara dengan 237.000 GJ energi. Begitu pula dengan limbah padat sawit seperti tandan kosong, cangkang sawit dan fiber masing-masing mempunyai nilai kalor sebesar 17 MJ/kg, 19,8 MJ/kg dan 19,6 MJ/kg, mempunyai potensi konversi energi limbah biomasa yang cukup tinggi seiring dengan meningkatnya produksi sawit Indonesia yang mencapai 14 juta Ha pada tahun 2107. Limbah biomasa ini masih belum dimanfaatkan secara optimal, padahal apabila dimanfaatkan sebagai sumber energi biomassa dapat berkontribusi secara signifikan dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar *fossil*.

Permasalahan utama dari belum termanfaatkannya limbah biomasa ini pada umumnya karena sifat biomasa yang tidak seragam ukuran dan bentuknya, serta nilai *kalor* yang relatif rendah per satuan volume nya. *Densitas* limbah biomasa ini juga biasanya rendah, menyebabkan biaya transportasi lebih mahal dibandingkan harga produknya. Selain

itu, ukuran dan densitas yang tidak seragam menyebabkan beberapa masalah teknis dalam konversi limbah biomasa menjadi energi, seperti nyala api yang tidak seragam, tingginya sisa abu pembakaran, serta penyumbatan pada bagian-bagian penting tungku sehingga sangat sulit untuk dikontrol secara otomatis (Fryda *et al.*, 2008). Untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut, salah satu metode yang dilakukan agar limbah biomasa ini menjadi bahan bakar yang berkualitas adalah dengan melakukan *densifikasi*.

Produk *densifikasi* bahan bakar telah lama dikenal dalam bentuk *briket* atau *pellet*. Perbedaannya terletak pada ukuran, *briket* berukuran cukup besar, sedangkan *pellet* ukurannya lebih kecil. Dalam kegiatan ini, dikembangkan unit mesin produksi *pellet* yang dikhususkan berbahan baku limbah biomasa baik itu sekam, limbah padat sawit, batang sorgum dll, sehingga *pellet* yang dihasilkan dinamakan *bio-pellet*. Produk *Bio-pellet* ini tidak hanya digunakan untuk bahan bakar, namun juga untuk pakan ternak. Proses produksinya mirip, namun komposisi bahan yang digunakan pada *Bio-pellet* bahan bakar ditujukan untuk meningkatkan karakteristik pembakaran, sedangkan untuk pakan, komposisinya dikhususkan untuk nutrisi pakan dan pengawetan bahan pakan. Namun kedua jenis produk ini, baik *Bio-pellet* untuk pakan dan bahan bakar, dapat dengan mudah ditransportasikan dan dijual menjadi komoditas perdagangan, sehingga dapat meningkatkan nilai tambah limbah biomasa.

Proses produksi *Bio-pellet* baik untuk produksi pakan maupun untuk produksi energi dikenal melalui dua cara yaitu proses basah dan

proses kering. Proses basah menggunakan bahan yang telah dijadikan bubur/pasta dan kemudian di padatkan dengan menggunakan mesin tipe ulir pengepres, *extruder* (Holt *et al.*, 2006) ataupun menggunakan tipe piston pengepres.

Energi pengepresan proses basah lebih kecil dibandingkan proses kering, namun dibutuhkan energi tambahan untuk mengeringkan produk yang jauh lebih besar dari proses pengepresan itu sendiri. Proses kering menggunakan kombinasi antara kadar air bahan dan panas akibat friksi antar komponen pengepres, yang dimanfaatkan untuk memodifikasi ikatan lignoselulosa pada bahan sehingga dapat berfungsi sebagai perekat *Bio-pellet* dan memudahkan dalam pembentukan *pellet* selama pengepresan.

Energi yang dibutuhkan untuk pengepresan sedikit lebih besar dibandingkan proses basah, namun tidak dibutuhkan proses pengeringan lanjutan yang memerlukan energi yang tinggi. Untuk mengurangi energi yang dibutuhkan dalam pengepresan secara kering dibutuhkan proses pengecilan ukuran dan atau tambahan bahan perekat. Namun demikian proses kering ini membutuhkan ketepatan kadar air bahan dan suhu pengepresan yang spesifik terhadap karakteristik bahan.

Tipe mesin pengepres jenis ini adalah *roller-plate press*, *roller - ring press* dan piston yang ditambahkan pemanas. Pada kapasitas industri, mesin pencetak *pellet* baik tipe *roller - plate* maupun *roller-ring press* telah digunakan di industri produksi *pellet* kayu pada umumnya dan mesin-mesin ini telah dijual secara komersial. Namun demikian, optimasi parameter operasional bahan dan kinerja mesin perlu

dilakukan (Uslu *et al.*, 2008). Proses kering ini sangat bergantung kepada karakteristik fisika-kimia masing-masing biomasa itu sendiri.

Energi rasio produksi *pellet* melalui proses kering telah berkembang dan dilaporkan dalam beberapa makalah akhir-akhir ini. Dibandingkan dengan nilai kalornya, energi rasio proses produksi *pellet* dimulai dari pengecilan ukuran sampai dengan pengepresan berkisar antara 15-20% dari nilai kalornya (Shahrukh *et al.*, 2016; Sultana *et al.*, 2010; Uslu, *et al.*, 2008).

Rekayasa konfigurasi paket unit mesin produksi *Bio-pellet* telah dilakukan di BBP Mektan pada tahun 2018 dengan menggunakan alur proses kering. Konfigurasi mesin terdiri dari unit pengecil ukuran, *mixer* (pencampur) dan pengepres tipe *roller-plate*. Jenis pengepres tipe *roller-plate* dipilih dalam konfigurasi unit produksi *Bio-pellet* dengan pertimbangan kapasitas produksinya lebih tinggi dibandingkan piston press dan dapat memanfaatkan panas akibat gesekan antara *roller* dan piringan pengepres pada proses kering ini. Uji kinerja paket mesin produksi *Bio-pellet* telah dilakukan pada beberapa jenis limbah pertanian seperti sekam padi, tandan kosong sawit, limbah batang dan daun sorgum serta beberapa jenis rumput bahan pakan. Optimasi parameter kinerja alsin perlu dilakukan, spesifik terhadap bahan baku yang digunakan. Dalam makalah ini, uji kinerja unit mesin produksi *Bio-pellet* menggunakan bahan baku sekam. Penelitian tentang *pellet* berbahan baku sekam telah dilakukan beberapa peneliti (Rahman *et al.*, 2011; Ríos-Badrá *et al.*, 2020). Namun,

penelitian tersebut difokuskan pada properties dan karakteristik fisik dan kimia *pellet* sekam serta upaya peningkatan kualitas *pellet* sekam dengan menggunakan campuran sekam dengan bahan lain seperti penambahan arang sekam, minyak jelantah dan lain-lain.

Pada makalah ini lebih difokuskan hubungan antara parameter kinerja operasional mesin dengan kualitas *Bio-pellet* berbahan baku sekam padi yang dihasilkan, sehingga *output* dari uji kinerja ini diharapkan dapat memberikan gambaran *performance* mesin dalam produksi *pellet* sekam.

Pada saat ini *Bio-pellet* telah menjadi komoditas yang diperdagangkan di pasar internasional, terutama *pellet* yang terbuat dari limbah kayu (*wood pellet*). Perkembangan pasar dunia *wood pellet* meningkat rata-rata 10%/tahun dalam beberapa tahun terakhir ini, terutama di pasar negara-negara maju seperti Eropa, Jepang, USA dan Canada. Prediksi permintaan *Bio-pellet* untuk keperluan industri dalam beberapa tahun ke depan diperkirakan terus meningkat.

Bio-pellet saat ini digunakan untuk keperluan *heating domestic/residential* dan industri (Olsson *et al.*, 2011). Untuk keperluan domestik, kualitasnya sangat ketat terutama pada bahan-bahan *pollutant* dan emisi yang berbahaya bagi kesehatan. Standar *Bio-pellet* telah diterapkan di beberapa negara, seperti: Önorm M 7135 (Austria), DIN 51731 (Jerman), EN 14961- 1 & 2:2011 (kawasan Eropa), *Pellet Fuel Institute* (USA). Standar internasional tentang klasifikasi *Bio-pellet* berbahan kayu juga telah ditetapkan, ISO 17225-2:2014. Indonesia

sendiri telah mempunyai SNI *Bio-pellet* berbahan bakar kayu (SNI 8021-2014).

Dengan berkembangnya permintaan *bio-pellet*, diversifikasi sumber bahan baku biomassa, akan semakin meningkat. Limbah pertanian, dapat menjadi alternatif sumber bahan baku *bio-pellet*. ISO 17225-6:2014 telah mengatur klasifikasi *Bio-pellet* berbahan baku *non-woody* untuk keperluan *heating domestic/residential*.

Di Indonesia, belum ada SNI yang mengatur kualitas *Bio-pellet* berbahan baku limbah *non-woody*. Untuk keperluan industri, di mana emisi dan polusinya dapat diminimalkan dengan penerapan teknologi yang dapat mengolah emisi dan *pollutant*, belum ada standarisasi yang secara khusus mengatur kandungan *Bio-pellet* yang dijual di pasaran.

Namun produknya telah terlihat di pasar *online* Asia seperti *Bio-pellet* berbahan dasar sekam, tandan kosong sawit atau cangkang sawit. Untuk itu, menanggapi peluang peningkatan nilai tambah limbah biomassa menjadi komoditas *bio-pellet*, rekayasa unit mesin produksi *Bio-pellet* telah dilakukan di BBP Mektan.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan alat

Bahan uji terdiri dari sekam padi dengan kadar air rata-rata 12% w.b dan unit konfigurasi mesin yang telah direkayasa untuk produksi *Bio-pellet* dengan rancangan kapasitas produksi 100

Kg/jam *Bio-pellet* atau sekitar 500- 800 kg/hari. Paket mesin produksi ini terdiri dari 1) mesin penghalus ukuran (*disc mill*), 2) mesin pencampur (*mixer*), 3) mesin pencetak *pellet*. Peralatan uji meliputi: timbangan, alat pengukur kadar air sewaktu untuk mengukur kadar air bahan baku, *infrared moisture tester* untuk mengukur kadar air *pellet*, *stopwatch*, gelas ukur, *tachometer*, jangka sorong.

Metode

Uji kinerja konfigurasi mesin produksi *Bio-pellet* dilakukan dengan melakukan uji pada masing-masing komponen mesin *disc mill*, *mixer* dan *pelletizer*. Metode pengujian mesin *disc mill* mengacu pada SNI 7653: 2011. Sedangkan mesin pengaduk dan *pelletizer* belum mempunyai standar nasional metode uji nya, sehingga uji kinerja dilakukan dengan membuat metode uji dengan pengamatan sebagai berikut:

- Uji kinerja *mixer*: kapasitas tampung, waktu pengadukan sampai dengan campuran homogen, putaran poros pengaduk dengan dan tanpa beban.
- Uji kinerja *pelletizer*: kapasitas input bahan, kadar air bahan, waktu pemanasan tabung pengepres dari suhu kamar sampai

mencapai 60°C (rata-rata suhu optimum pengepresan biomassa), kapasitas *output*.

Analisis kualitas *bio-pellet*

1. Pengukuran dimensi *pellet*: analisa kualitas fisik *pellet* dilakukan dengan pengambilan 50 buah sampel *Bio-pellet* yang terbentuk, diukur dimensinya: panjang, diameter dan berat masing-masing sampel. Untuk mengetahui apakah ada perubahan bentuk fisik yang signifikan atau tidak dari *Bio-pellet* yang dihasilkan, pengukuran dimensi juga dilakukan setelah 14 hari masa penyimpanan (Lu *et al.*, 2014). Uji *statistik t-test paired sample* dilakukan untuk mengetahui derajat signifikan perubahan dimensi, sebelum dan sesudah penyimpanan. Apabila perubahan dimensi tidak signifikan ($P < 0,5$), maka proses pemadatan (*pelleting*) disimpulkan berhasil.
2. Kadar air *pellet* diukur dengan menggunakan *infrared moisture tester* pada suhu 105°C dengan ketelitian 0,01%.
3. Komposisi proksimat *Bio-pellet* sebagai bahan bakar: meliputi kadar *volatile*, kadar air, kadar abu dan karbon tetap (*fixed carbon*). Komposisi proksimat dianalisis melalui data *thermogravimetri analyses* (TGA) yang dilakukan di laboratorium terpadu UIN Syarif Hidayatullah-Jakarta. Metode *analyse proksimate* berdasarkan data TGA dijelaskan seperti pada (Dean *et al.*, 2010).

4. Nilai kalor *Bio-pellet* didekati dari prediksi nilai kalor berdasarkan komposisi proksimatnya yang dihitung dengan persamaan berikut (Abdul Wahid, et al., 2017):

$$HHV = 0.3536 (FC) + 0.1559(VM) - 0.0078 A$$

HHV = nilai kalor *high heating value* (MJ/kg)

FC = kadar karbon tetap (%)

VM = kadar *volatil* (%)

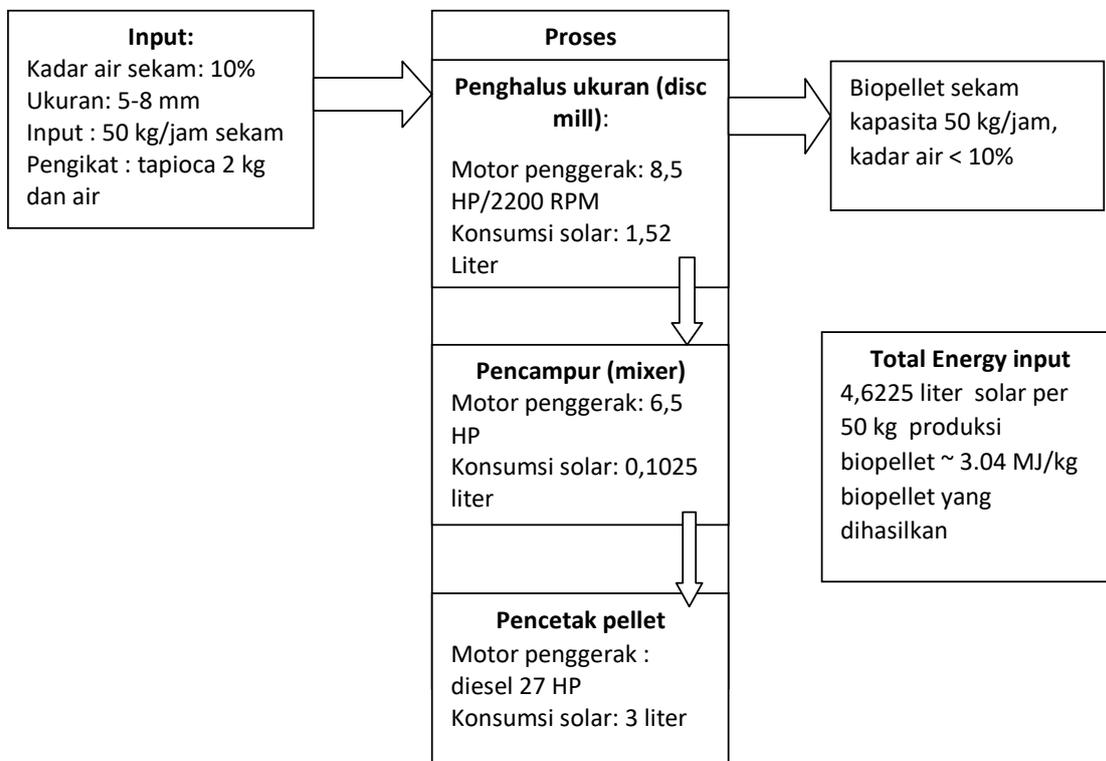
A = kadar abu (%)
5. Prediksi suhu titik bakar (*ignition point*) dan titik habis terbakar (*burnout*) dilakukan melalui analisa kurva *thermogravimetric analyses* (TGA) (Lu & Chen, 2015) yang telah dilakukan di laboratorium terpadu UIN Syarif Hidayatullah-Jakarta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi Unit Mesin Produksi *Bio-pellet*

Konfigurasi unit mesin produksi *Bio-pellet* seperti pada Gambar 1. Unit mesin produksi terdiri dari unit penghalus ukuran (*disc mill*) unit pencampur dan unit pengepres (*pellet mill*) yang pada awalnya di desain dengan kapasitas 100 Kg/jam. Tergantung bahan baku biomass yang diolah, hasil uji fungsional dengan menggunakan sekam padi, kapasitas konfigurasi mesin yang direkayasa hanya dapat mencapai produksi *bio-pellet* sekam sebesar 50 Kg/jam.

Hal ini disebabkan lebih rendahnya kapasitas aktual *disc mill* dari desain kapasitas sebesar 100 Kg/jam, menjadi hanya sekitar 50 Kg/jam.



Gambar 1. Konfigurasi unit mesin produksi *bio-pellet*

Komponen mesin utama lini produksi *Bio-pellet* terdiri dari:

1. **Mesin Penepung**

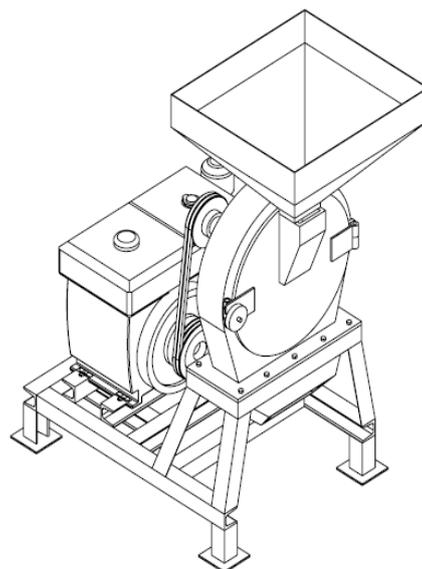
Ukuran yang besar dan bentuk yang tidak seragam dari bahan baku biomassa memerlukan pengecilan ukuran sebelum bahan di press menjadi *bio-pellet*. Pada umumnya, ukuran bahan yang kecil mempunyai luas permukaan yang lebih besar untuk memungkinkan percepatan reaksi kimia serta lebih memudahkan dalam proses pindah panas. Selain itu ukuran yang lebih kecil serta seragam akan mengurangi energi yang dibutuhkan untuk pengepresan.

Mesin penepung berfungsi untuk mengecilkan dan menyeragamkan ukuran bahan sehingga proses pengepresan lebih

cepat. Selain itu ukuran yang lebih kecil serta seragam akan mengurangi energi yang dibutuhkan untuk pengepresan. Mesin yang digunakan ini digerakkan dengan motor Diesel kapasitas 8,5 Hp. Gambar rancangan dan hasil perakitan terlihat pada Gambar 2.

Spesifikasi:

- a. Dimensi
 - Panjang : 1000 mm
 - Lebar : 780 mm
 - Tinggi : 1485 mm
- b. Motor Penggerak : 8,5 HP/2200 rpm
- c. Tipe : *Disc mill, mesh 2 mm*



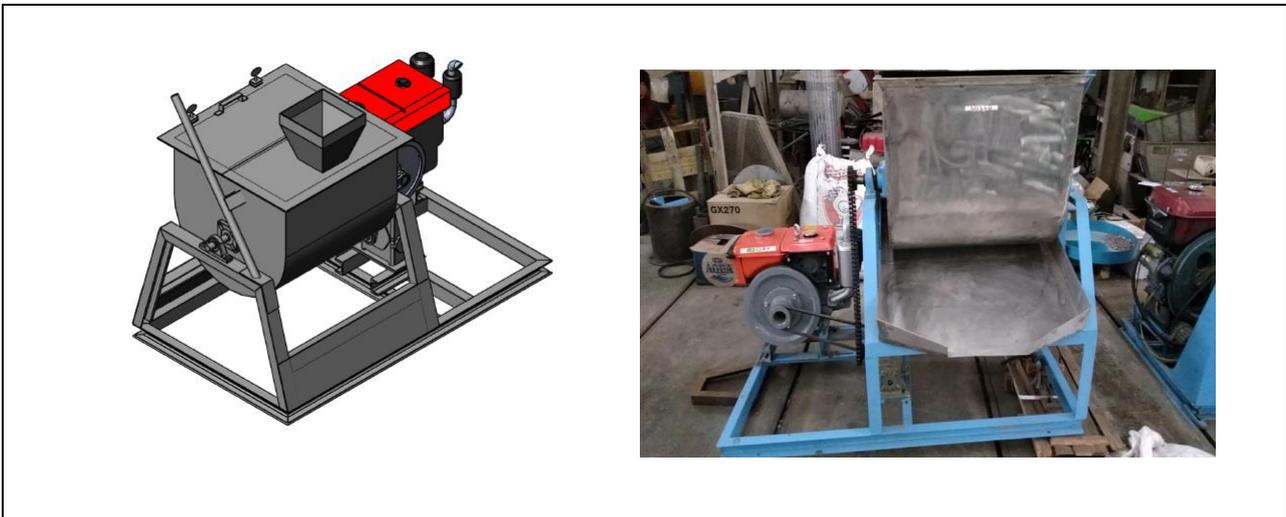
Gambar 2. Mesin penepung (*disc mill*)

2. Mesin Pencampur

Mesin pencampur berfungsi mencampurkan bahan baku biomassa dengan air maupun bahan perekat ataupun bahan lainnya jika dibutuhkan. Gambar rancangan dan hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 3.

Spesifikasi:

- a. Dimensi
 - Panjang : 1565 mm
 - Lebar : 920 mm
 - Tinggi : 1365 mm
- b. Motor Penggerak : 6,5 Hp/2200 Rpm
- c. Tipe pengaduk : *Horizontal, single ribbon mixer*



Gambar 3. Mesin pencampur

Untuk bahan baku biomass tipe *non-woody*, peningkatan nilai kalor *pellet* dan sifat termokimianya dengan melakukan penambahan zat lainnya telah dilakukan (Emami-Taba *et al.*, 2013; Holt *et al.*, 2006; Jordan & Akay, 2013). Penambahan katalis komersial berbasis *kalsium*, penambahan minyak dan gliserol dalam proses pembuatan pelet dapat meningkatkan nilai kalor dan efisiensi konversi energi. Namun, penambahan zat ini kadang-kadang dapat menurunkan durabilitas *pellet*,

seperti pada kasus penambahan minyak pada produksi *pellet* berbahan baku limbah pabrik kapas.

Gasifikasi *pellet* yang terbuat dari *bagasse* juga telah ditambahkan CaO untuk mengurangi tar yang terbentuk pada suhu rendah. (Jordan & Akay, 2013) melaporkan bahwa penambahan CaO sebesar 2-6 % pada gasifikasi *pellet* bagas secara downdraft dapat menurunkan tar sebanyak 16-35%, menurunkan konsentrasi tar sebanyak 44-80% pada *syngas*,

dan menghasilkan peningkatan produksi *syngas* sebesar 17-37%.

Peningkatan nilai kalor *pellet* berbahan dasar *non-woody* juga dapat dicampur dengan bahan lainnya (*co-blending*) yang mempunyai nilai kalor yang lebih tinggi seperti batu-bara, *bio-char* atau bahan *woody* lainnya (Rizkiana *et al.*, 2014) Selain dapat meningkatkan nilai kalor, pencampuran ini dapat menghasilkan synergi akibat sifat dasar kedua jenis bahan bakar yang berbeda (Pan *et al.*, 2000; Rizkiana *et al.*, 2014; Ruhul Kabir & Kumar, 2012). Sifat *bio-char* dan batu bara yang bereaksi lebih lambat dari bahan *non-woody*, dapat mentransfer panasnya untuk memecah tar selama proses konversi *non-woody* yang berlangsung pada suhu yang lebih rendah dan cepat. Di sisi lain, *non-woody* biomassa juga mempunyai kadar abu yang tinggi, di mana beberapa jenis mineral yang terkandung di dalamnya seperti Kalium (K), Calcium (Ca), Natrium (Na), besi (Fe) dan magnesium (Mg) secara alamiah dapat bertindak sebagai katalis (Masnadi, *et al.*, 2015). Namun demikian, kandungan *silica* (Si) yang tinggi pada *non-woody* dapat menghambat proses katalisa (Masnadi *et al.*, 2015)

3. **Mesin Pencetak Pellet**

Tujuan awal dari densifikasi biomassa menjadi *pellet* adalah untuk meningkatkan densitas. Pelet biomassa, terutama *pellet* yang terbuat dari limbah kayu telah tersedia secara komersial selama bertahun-tahun. Dalam bentuk *pellet* juga dapat meningkatkan efisiensi konversi termokimia. Dalam bentuk *pellet*,

pembakaran biomassa jenis *non-woody* dapat menghasilkan sisa abu yang lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran dalam bentuk curah. (Holt *et al.*, 2006) melaporkan residu abu sisa pembakaran pelet yang terbuat dari limbah pabrik kapas menurun dua hingga tiga kali lipat dibandingkan dengan pembakaran bahan yang sama dalam bentuk curah.

Dalam bentuk *pellet*, penggunaan bahan bakar biomassa pada skala industri kemungkinan lebih diminati karena lebih mudah dalam pengumpanan. Pembakaran / gasifikasi pelet lebih mudah dikendalikan dibandingkan dengan sistem pengumpanan biomassa secara curah. Bentuk dan ukuran yang tidak seragam dari biomassa tipe *non-woody* sering menjadi penyebab terjadinya kemacetan dalam sistem pengumpanan. Ini dapat menyebabkan pembakaran atau gasifikasi yang tidak stabil dan menurunkan efisiensi keseluruhan. Dalam bentuk *pellet*, kemudahan system kontrol otomatis dapat sebanding dengan penggunaan bahan bakar cair atau gas (Vinterbäck, 2004)

Ukuran diameter *pellet* yang beredar di pasaran berkisar antara 6-10 mm dan panjang 10-60 mm. Proses pembuatan *pellet* biomassa menggunakan peralatan standar yang telah tersedia di pasaran di antaranya *extruder* atau *roller-plate*, *die-pellet-mill*. Efisiensi peralatan tergantung pada suhu, konfigurasi rol, tekanan, laju pengumpan, kadar air dan sifat fisika kimia

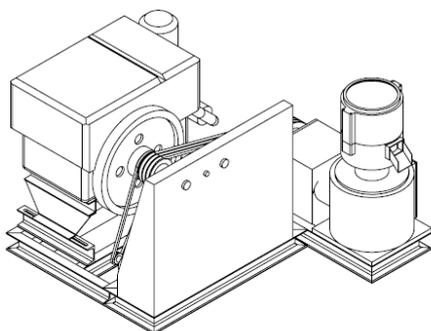
bahan baku. Meskipun *pellet* kayu telah tersedia secara komersial, properties biomassa yang sangat beragam masih membutuhkan kajian spesifik terhadap bahan baku yang digunakan. Efek bahan pengisi/pengikat, penambahan bahan aditif dan perlakuan suhu pengepresan, tekanan yang dibutuhkan serta kadar air merupakan variabel spesifik yang masih perlu dikaji terhadap bahan baku biomassa yang digunakan.

Desain mesin pembuat *pellet* yang dipilih pada kegiatan ini adalah tipe *roller-plate, die-pellet-mill*. Pada tipe ini, bahan masuk dari bagian atas dengan aliran gravitasi menuju tabung pengepres yang berbentuk vertikal. Pada tabung ini terdapat *roller* pengepres yang bergerak perlahan menekan bahan menuju

piringan berlubang. Piringan berlubang berputar, untuk memberikan efek pengerasan pada bagian atas dan mendorong bahan dalam bentuk *pellet* keluar pada bagian bawah piringan. Pada bagian bawah piringan terdapat pisau pemotong *pellet* yang telah tercetak. Gambar mesin pencetak *pellet* seperti pada Gambar 4.

Spesifikasi mesin pembuat *pellet*

- a. Dimensi
 - Panjang : 1320 mm
 - Lebar : 1080 mm
 - Tinggi : 925 mm
- b. Motor Penggerak : 27 HP/2200 rpm
- c. Kapasitas desain : 100 Kg/jam



Gambar 4. Mesin pembuat *pellet*

Secara alami, *lignin*, *protein*, pati dan karbohidrat yang larut dalam air yang terkandung pada bahan dapat bertindak sebagai pengikat pada pembuatan *pellet* (Lu et al., 2014). Bahan *lignoselulosa* memiliki ikatan *lignin* dalam bentuk matriks *lignoselulosa* yang spesifik. Tekanan

dikombinasikan dengan suhu tinggi berpengaruh pada pelunakan ikatan *polimer*, selanjutnya melewati fase pembentukan lapisan plastik. Masing-masing biomassa type *non-woody* memiliki komposisi *lignocelulosic* dan struktur ikatan yang spesifik, sehingga optimasi variabel operasi

pembuatan *pellet* seperti suhu, tekanan dan kadar air bahan sangat spesifik terhadap bahan baku *pellet* yang digunakan.

Terkadang perlakuan awal modifikasi ikatan *lignin*, *selulosa* dan *hemiselulosa* dapat ditambahkan sebelum dilakukan pengepresan; bertujuan untuk menghasilkan *durabilitas pellet* yang seragam dan mengurangi energi pengepresan. Perlakuan modifikasi ikatan *lignoselulosa* dapat berupa pemberian uap panas, asam / alkali dan atau fermentasi (Agbor *et al.*, 2011). Pada skala industri, teknologi pemberian uap panas sering diterapkan, dilakukan pada suhu 180-240°C.

Fermentasi secara biologis dapat mengurangi energi *input* proses produksi *pellet*, namun untuk penerapan yang efisien dalam industri skala besar masih memerlukan perhatian untuk penyederhanaan proses (Agbor *et al.*, 2011).

Apabila modifikasi ikatan *lignoselulosa* masih tidak memadai untuk pembentukan struktur pelet biomassa, penambahan bahan pengisi dan atau *binder* masih sering dilakukan (Sultana *et al.*, 2010). *Binder* atau aditif lainnya dapat ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan, *durabilitas* dan sifat *termokimia* dari *pellet* yang dihasilkan. Penambahan pati, *bentonit*, *lignosulfonat* dapat lebih meningkatkan struktur fisik *pellet*.

Uji Kinerja Produksi *Bio-pellet* Berbahan Baku Sekam Padi

Uji kinerja mesin produksi *Bio-pellet* telah dilakukan dengan bahan baku sekam padi. Pada uji produksi ini tahapan yang dilakukan adalah:

1. Pengcilaan ukuran sekam dengan menggunakan mesin penepung dengan saringan *mesh* 2 mm
2. Pencampuran bahan sekam dengan bahan lainnya. Terdapat dua macam perlakuan yaitu dengan menggunakan bahan pengikat (tapioka 4% w/w dan kemudian diproses menjadi gel) dan tanpa bahan pengikat, hanya dicampur dengan air untuk menghasilkan bahan dengan kadar air sekitar 30%
3. Pengepresan

Uji kinerja memperlihatkan bahwa unit mesin produksi *Bio-pellet* dapat menghasilkan *pellet* sekam dengan kualitas fisik yang cukup baik dan seragam (Gambar 5). Namun demikian, pengaruh karakteristik biomassa yang diolah menjadi *Bio-pellet* sangat berpengaruh pada kapasitas mesin. Hasil pengujian didapatkan kapasitas lapang yang dihasilkan hanya mencapai 50% dari kapasitas disain. Hal ini disebabkan ada beberapa faktor yang kritis pada pembuatan *pellet* berbahan baku sekam, diantaranya adalah suhu piringan pengepres, optimum rata-rata 60-80 °C untuk terbentuknya *pellet* yang padat, kering dan mengkilap pada bagian luarnya. Suhu di atas 80 °C mengakibatkan kerusakan pada ikatan *lignin*; fase *glass transition* ke *glassy* tidak terjadi melainkan menjadi butiran-butiran kristal. Suhu di bawah 60 °C, sulit terjadi pepadatan akibat belum berubahnya struktur polimer ke *glass transition phase*. Dikarenakan kandungan silika yang tinggi pada sekam (rata-rata ~20% w/w), mengakibatkan friksi dengan material alat pengepres, berakibat menaikkan suhu mesin.

Untuk bahan-bahan yang mengandung kadar *silica* yang tinggi, pengurangan kandungan *silica*

dapat dilakukan dengan tambahan *pre-treatment* dengan reaksi *alkali* (Bazargan et al., 2014).



a. Sekam + tapioca pengikat



b. sekam tanpa pengikat

Gambar 5. *Bio-pellet* terbuat dari sekam dan limbah sorgum

Karakteristik fisik *Bio-pellet* sekam yang dihasilkan seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2. Pengukuran dilakukan 2x, 1 hari setelah proses produksi dan 14 hari setelah proses produksi. Penampakan secara fisik (Gambar 5) memperlihatkan *pellet* dengan bahan pengikat lebih mengkilap dibandingkan dengan tanpa pengikat. Namun, berdasarkan data hasil pengukuran, tidak terjadi perbedaan yang mencolok pada ukuran panjang dan diameter

pellet sekam baik yang menggunakan pengikat maupun yang tanpa pengikat. Perbedaan berat satuan *pellet* (~ 0,1 g/butir) terjadi pada *pellet* dengan pengikat sedikit lebih berat dibandingkan tanpa pengikat, yang berakibat pula pada lebih besarnya densitas *single pellet* dengan campuran bahan pengikat. Hal ini membuktikan bahwa penambahan bahan pengisi dapat lebih memadatkan *pellet*, sehingga berat satuannya sedikit lebih tinggi.

Tabel 1. Analisa fisik hasil *pellet* sekam dengan bahan pengikat

Karakteristik fisik	1 hari setelah produksi	14 hari setelah produksi
Panjang rata-rata	28,73 mm	28,70 mm
Diameter rata-rata	8,07 mm	8,06 mm
Berat rata-rata	1,831 g/butir	1,822 g/butir
Densitas		
- Single <i>pellet</i>	1.246 kg/m ³	1.246 kg/m ³
- Bulk	N/A	511 kg/m ³
Kadar air	7,21%	6,98%

Tabel 2. Analisa fisik hasil *pellet* sekam tanpa bahan pengikat

Karakteristik fisik	1 hari setelah produksi	14 hari setelah produksi
Panjang rata-rata	28,74 mm	28,64 mm
Diameter rata-rata	8,09 mm	8,08 mm
Berat rata-rata	1,683 g/butir	1,677 g/butir
Densitas		
- Single <i>pellet</i>	1.143 kg/m ³	1.140 kg/m ³
- Bulk	N/A	539 kg/m ³
Kadar air	8,79%	7,66%

Pengukuran yang ke dua dilakukan untuk mengetahui apakah *pellet* berubah bentuk setelah 2 minggu (14 hari) penyimpanan. Hasil uji *t-test paired samples*, terhadap 50 buah

pellet, tidak ada perubahan bentuk yang berbeda nyata setelah penyimpanan Tabel 3 dan Tabel 4, menunjukkan hasil pencetakan *pellet* yang stabil.

Tabel 3. Uji *one tailed paired T-test* dimensi *pellet* dengan perlakuan bahan pengikat

T Test	Paired (P)	P>0,05
Panjang	0,001	tidak beda nyata
Diameter	0,003	tidak beda nyata
Berat	0,000	tidak beda nyata

Tabel 4. Uji *one tailed paired T-test* dimensi *pellet* tanpa perlakuan bahan pengikat

T Test	Paired (P)	P>0,05
Panjang	2,26E-06	tidak beda nyata
Diameter	2,22E-02	tidak beda nyata
Berat	1,03E-04	tidak beda nyata

Berdasarkan hasil analisis proksimat pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa kadar air *pellet* kurang lebih 7%, kadar *volatile* 68%, kadar abu 18-20%. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kandungan *pellet* dengan bahan pengikat dan tanpa pengikat. Kandungan proksimatnya mirip dengan sekam padi dalam bentuk curah pada umumnya. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penambahan bahan perekat

tapioka 4% tidak merubah komposisi sekam secara signifikan. Kadar abu pada *pellet* sekam ini masih cukup tinggi, sebesar 18-20%, seperti halnya kadar abu sekam dalam bentuk curah. Namun demikian, telah dilaporkan biomass yang dibakar dalam bentuk *pellet* menghasilkan sisa pembakaran yang lebih sedikit dibandingkan dalam bentuk curah (Holt *et al.*, 2006).

Tabel 5. Karakteristik *Bio-pellet* sekam sebagai bahan bakar

Karakteristik bahan bakar	Sekam curah	<i>Pellet</i> sekam dengan pengikat	<i>Pellet</i> sekam tanpa pengikat
Proksimate (%):			
- Kadar air	N/A	7,42	6,70
- Kadar volatile	65,47	68,98	68,32
- Kadar abu	19,2	18,07	20,69
- Karbon tetap	15,33	12,95	10,99
Nilai kalor, HHV (MJ/kg)	14,8	15,2	14,4
Titik bakar (°C)	N/A	276,3	278,7
Titik <i>burnout</i> (°C)	N/A	448,1	453,9
Bulk density (kg/m ³)	145	511	539

Titik bakar *Bio-pellet* sekam baik dengan pengikat dan tanpa pengikat rata-rata pada suhu 276-279°C dan suhu habis terbakar 454-448°C. Seperti pada *non-woody* biomassa umumnya, *pellet* sekam ini akan cepat terbakar habis pada rentang suhu 270-300°C, karena komposisi *polisakarida* nya yang mudah terbakar.

Selanjutnya terdapat 5%-10% bahan padat yang melambat tereduksi akibat panas. Sedangkan pada kayu (*woody*), *polisakarida*-nya masih bertahan tidak terbakar pada suhu di atas 300°C, sehingga laju pembakarannya lebih lambat dibandingkan *non-woody* biomassa (Lu & Chen, 2015).

KESIMPULAN

Uji kinerja unit mesin produksi *Bio-pellet* hasil rekayasa BBP Mekanisasi Pertanian telah dilakukan pada konfigurasi mesin produksi *Bio-pellet* yang terdiri dari mesin pengecil ukuran, pencampur bahan dan mesin pencetak *pellet*. Kapasitas mesin produksi dirancang pada kapasitas input 100 Kg/jam. Tergantung dari kondisi bahan baku biomassa yang diolah; pada kapasitas lapang, uji kinerja mesin dengan menggunakan bahan baku sekam padi menghasilkan kapasitas produksi 50 Kg/jam.

Uji kinerja unit mesin pengepres memperlihatkan titik kritis pengolahan sekam terjadi pada suhu piringan pengepres, dengan suhu optimum rata-rata 60-80°C untuk terbentuknya *pellet* yang padat, kering dan mengkilap pada bagian luarnya. Suhu di atas 80°C mengakibatkan kerusakan pada ikatan *lignin* pada sekam; *phase glass transition* ke *glassy* tidak terjadi melainkan menjadi butiran-butiran kristal. Sebaliknya, Suhu di bawah 60°C, sulit terjadi pemadatan pada sekam akibat belum berubahnya struktur *polimer* yang diharapkan agar dapat terjadi pemadatan.

Analisis kualitas *Bio-pellet* sekam yang dihasilkan oleh unit mesin memperlihatkan baik menggunakan bahan pengikat maupun tanpa pengikat, tidak mempengaruhi dimensi fisik *Bio-pellet* secara signifikan (panjang, diameter, berat *pellet*). Namun penampakan sekam lebih *glassy* pada *pellet* dengan bahan pengikat *gelatinized tapioca*. Densitas *pellet* setelah penyimpanan selama 14 hari memperlihatkan tidak terjadinya perubahan bentuk *pellet* yang signifikan setelah sekam dipadatkan baik *pellet* yang menggunakan bahan pengikat maupun tanpa pengikat. Kadar air *pellet* yang dihasilkan rata-

rata < 10%; perkiraan nilai kalor 14,4-15,2 MJ/kg; dan titik awal pembakaran (*ignition point*) 278°C, titik habis terbakar (*burnout*) 454°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Wahid, F. R. A., Saleh, S., & Abdul Samad, N. A. F. (2017). *Estimation of Higher Heating Value of Torrefied Palm Oil Wastes from Proximate Analysis. Energi Procedia, 138, 307–312.* <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.10.102>
- Agbor, V. B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin, D. B. (2011). *Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. Biotechnology Advances, 29(6), 675–685.* <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2011.05.005>
- Bazargan, A., Gebreegziabher, T., Hui, C.-W., & McKay, G. (2014). *The effect of alkali treatment on rice husk moisture content and drying kinetics. Biomass and Bioenergi, 70, 468–475.* <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2014.08.018>
- Dean, S. W., Cantrell, K. B., Martin, J. H., & Ro, K. S. (2010). *Application of Thermogravimetric Analysis for the Proximate Analysis of Livestock Wastes. Journal of ASTM International.* <https://doi.org/10.1520/jai102583>
- Emami-Taba, L., Irfan, M. F., Wan Daud, W. M. A., & Chakrabarti, M. H. (2013). *Fuel blending effects on the co-gasification of coal and biomass – A review. Biomass and Bioenergi, 57, 249–263.* <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2013.02.043>
- Fryda, L. E., Panopoulos, K. D., & Kakaras, E. (2008). *Agglomeration in fluidised bed gasification of biomass. Powder Technology, 181(3), 307–320.* <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2007.05.022>
- Holt, G. A., Blodgett, T. L., & Nakayama, F. S. (2006). *Physical and combustion characteristics of pellet fuel from cotton gin by-products produced by select processing treatments. Industrial Crops and Products, 24(3), 204–213.* <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2006.06.005>

- Jordan, C. A., & Akay, G. (2013). *Effect of CaO on tar production and dew point depression during gasification of fuel cane bagasse in a novel downdraft gasifier*. *Fuel Processing Technology*, 106, 654–660. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.09.061>
- Lu, D., Tabil, L. G., Wang, D., Wang, G., & Emami, S. (2014). *Experimental trials to make wheat straw pellets with wood residue and binders*. *Biomass and Bioenergi*, 69, 287–296. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2014.07.029>
- Lu, J. J., & Chen, W. H. (2015). *Investigation on the ignition and burnout temperatures of bamboo and sugarcane bagasse by thermogravimetric analysis*. *Applied Energi*. <https://doi.org/10.1016/j.apenergi.2015.09.026>
- Masnadi, M. S., Grace, J. R., Bi, X. T., Lim, C. J., Ellis, N., Li, Y. H., & Watkinson, A. P. (2015). *From coal towards renewables: Catalytic/synergistic effects during steam co-gasification of switchgrass and coal in a pilot-scale bubbling fluidized bed*. *Renewable Energi*, 83, 918–930. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2015.05.044>
- Olsson, O., Hillring, B., & Vinterbäck, J. (2011). *European wood pellet market integration – A study of the residential sector*. *Biomass and Bioenergi*, 35(1), 153–160. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2010.08.020>
- Pan, Y. ., Velo, E., Roca, X., Manyà, J. ., & Puigjaner, L. (2000). *Fluidized-bed co-gasification of residual biomass/poor coal blends for fuel gas production*. *Fuel*, 79(11), 1317–1326. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00258-6](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00258-6)
- Rahman, Hambali, E., & Setyaningsih, D. (2011). *Uji Keragaan Biopellet dari Biomassa Limbah Sekam Padi (Oryza sativa sp.) sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan (Bogor Agricultural University)*. Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id/jspui/bitstream/123456789/53055/9/F11rah.pdf>
- Ríos-Badrán, I. M., Luzardo-Ocampo, I., García-Trejo, J. F., Santos-Cruz, J., & Gutiérrez-Antonio, C. (2020). *Production and characterization of fuel pellets from rice husk and wheat straw*. *Renewable Energi*, 145, 500–507. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.06.048>
- Rizkiana, J., Guan, G., Widayatno, W. B., Hao, X., Huang, W., Tsutsumi, A., & Abudula, A. (2014). *Effect of biomass type on the performance of cogasification of low rank coal with biomass at relatively low temperatures*. *Fuel*, 134, 414–419. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2014.06.008>
- Rizkiana, J., Guan, G., Widayatno, W. B., Hao, X., Li, X., Huang, W., & Abudula, A. (2014). *Promoting effect of various biomass ashes on the steam gasification of low-rank coal*. *Applied Energi*, 133, 282–288. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGI.2014.07.091>
- Ruhul Kabir, M., & Kumar, A. (2012). *Comparison of the energi and environmental performances of nine biomass/coal co-firing pathways*. *Bioresource Technology*, 124, 394–405. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2012.07.106>
- Shahruxh, H., Oyedun, A. O., Kumar, A., Ghiasi, B., Kumar, L., & Sokhansanj, S. (2016). *Comparative net energi ratio analysis of pellet produced from steam pretreated biomass from agricultural residues and energi crops*. *Biomass and Bioenergi*. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.03.022>
- Sultana, A., Kumar, A., & Harfield, D. (2010). *Development of agri-pellet production cost and optimum size*. *Bioresource Technology*, 101(14), 5609–5621. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2010.02.011>
- Uslu, A., Faaij, A. P. C., & Bergman, P. C. A. (2008). *Pre-treatment technologies, and their effect on international bioenergi supply chain logistics. Techno-economic evaluation of torrefaction, fast pyrolysis and pelletisation*. *Energi*. <https://doi.org/10.1016/j.energi.2008.03.007>
- Vinterbäck, J. (2004). *Pellets 2002: the first world conference on pellets*. *Biomass and Bioenergi*, 27(6), 513–520. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2004.05.005>