



## Tinjauan Produksi Bahan Bakar Minyak dan Listrik dari Pirolisis RPF Hydropulper Reject Industri Kertas

Syamsudin<sup>1)\*</sup>, Reza B.I. Wattimena<sup>1)</sup>, Ibrahim Syaharuddin<sup>2)</sup>, Yusup Setiawan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Balai Besar Pulp dan Kertas

Jl. Raya Dayeuhkolot no. 132, Bandung – Indonesia

<sup>2)</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional

Jl. PH.H. Mustofa No.23, Bandung – Indonesia

\*Email: syssyamsudin@gmail.com

### Abstrak

Kelangkaan energi telah mulai dirasakan dan untuk menjamin keberlangsungan pembangunan industri diperlukan kebijakan penghematan dan diversifikasi energi. Konsumsi kertas bekas untuk produksi kertas mencapai jumlah 6.598.464 ton per tahun dan menghasilkan limbah hydropulper reject dalam jumlah 5-10% dari kertas bekas yang digunakan, atau sekitar 329.923 - 659.846 ton per tahun. Limbah padat tersebut berpotensi sebagai bahan bakar dengan mengkonversinya menjadi bahan bakar minyak dari bio-oil dan syngas melalui proses pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan komponen hydropulper reject terdiri dari serat (potongan kertas) sebanyak 50,75% dan plastik sebanyak 49,25% (jenis plastik HDPE >99%) dengan nilai kalor mencapai 7.000 kkal/kg dengan kadar sulfur 0,15%. Penelitian dilakukan untuk membantu mengurangi pemanasan global dan mempromosikan penggunaan bahan bakar dari hydropulper reject industri kertas dengan membangun teknologi untuk mendaur ulang hydropulper reject yang memiliki karakteristik sebagai bahan bakar melalui pengembangan konversi Refused Paper and Plastic Fuel (RPF) menjadi bahan bakar minyak dan listrik. Hasil perhitungan menunjukkan pirolisis hydropulper reject dapat menghasilkan bahan bakar minyak 0,4 liter/kg sampel dan syngas 2 m<sup>3</sup>/kg sampel dengan nilai kalor 5,5 MJ/m<sup>3</sup> atau setara listrik sebesar 1,08 kWh/kg sampel ( $\eta = 35\%$ ).

**Kata kunci:** hydropulper reject, refuse paper and plastic fuel, pirolisis, bio-oil, listrik.

### 1. Pendahuluan

Cadangan minyak bumi Indonesia pada tahun 2016 sebesar 7.251,11 MMSTB, sedangkan cadangan gas bumi sebesar 144.063,70 BSCF. Produksi minyak bumi diperkirakan akan terus menurun sekitar 4,0% per tahun, sedangkan kebutuhan bahan bakar minyak (termasuk biodiesel) meningkat dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 4,7% per tahun. Kebutuhan gas bumi sebagai energi final selama kurun waktu 2016-2050 diperkirakan tumbuh rata-rata 6,3% per tahun hingga mencapai hampir delapan kali lipat pada tahun 2050. Dengan mempertimbangkan cadangan terbukti yang ada, maka minyak bumi akan habis dalam waktu 9 tahun dan gas bumi akan habis dalam waktu 42 tahun (BPPT, 2018). Untuk menjamin keamanan pasokan energi dalam negeri, maka pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dengan target tercapainya peran energi baru dan terbarukan paling sedikit 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Kementerian Perindustrian telah menyusun kebijakan industri melalui RIPIN 2015-2035 dengan memperhatikan beberapa aspek yang memiliki karakteristik dan relevansi yang cukup kuat dengan pembangunan industri nasional, diantaranya kelangkaan energi dan peningkatan kepedulian terhadap lingkungan hidup. Kelangkaan energi telah mulai dirasakan dan untuk menjamin keberlangsungan pembangunan industri diperlukan



kebijakan penghematan dan diversifikasi energi serta perhatian yang lebih besar terhadap pengembangan sumber energi terbarukan yang murah dan aman.

Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia (APKI) melaporkan bahwa konsumsi kertas bekas untuk produksi kertas mencapai jumlah 6.598.464 ton per tahun (IPPA, 2011). Sebagian besar industri kertas Indonesia menghasilkan limbah *hydropulper reject* dalam jumlah 5-10% dari kertas bekas yang digunakan, atau sekitar 329.923 hingga 659.846 ton limbah *hydropulper reject* kering udara per tahun. *Hydropulper reject* adalah limbah yang dikeluarkan dari proses *repulping* pada tahap awal proses pembuatan pulp dari kertas bekas, dan isinya berbeda-beda tergantung pada proses pembuatan pulp, metode pengumpulan dan asal limbah kertas (Ouadi, Brammer, Kay, & Hornung, 2013). *Hydropulper reject* sebagian besar terdiri dari bundel serat, foil, dan plastik polimer (misal polietilen, polipropilen, polivinil klorida, polistirena, dan polietilen tereftalat) dengan jumlah tergantung pada kualitas kertas bekas yang digunakan sebagai bahan baku (Gavrilescu, 2008; Monte, Fuente, Blanco, & Negro, 2009). Hasil penelitian oleh Setiawan, Purwati, Surachman, Wattimena, & Hardiani (2014) menunjukkan komponen *hydropulper reject* terdiri dari serat sebanyak 50,75%-berat dan plastik sebanyak 49,25%-berat (jenis plastik *high density polyethylene* >99%). Adapun kandungan logam dalam *hydropulper reject* berupa kawat jumlahnya sedikit. Pengelolaan *hydropulper reject* industri kertas yang diterapkan saat ini adalah melalui pembuangan ke *landfill* atau mengurangi volume *hydropulper reject* dengan pembakaran di insinerator (Gavrilescu, 2008; Ouadi et al., 2013). *Hydropulper reject* umumnya memiliki nilai kalor tinggi (5.600 - 7.000 kal/g), dengan kadar abu dan sulfur yang rendah (0,15%) sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar (Gavrilescu, 2008; Ouadi et al., 2013). Pemanfaatan *hydropulper reject* sebagai bahan bakar *Refuse Paper and Plastic Fuel* (RPF) mempunyai beberapa keuntungan antara lain dapat mengurangi biaya penanganan *hydropulper reject* yang selama ini diangkut keluar pabrik menggunakan jasa pihak ketiga, mengurangi pemakaian bahan bakar fosil, dan menjadikan pabrik bersih dari limbah *hydropulper reject* sehingga dapat meningkatkan kebersihan pabrik kertas dalam rangka mendukung program industri hijau (Setiawan, Purwati, Surachman, Bastari I. W., & Pramono, 2016). Dibandingkan dengan batubara, *hydropulper reject* lebih ramah lingkungan dan emisi CO<sub>2</sub> lebih rendah sebesar 33% (Kumar et al., 2020).

Di sisi lain, proses pirolisis adalah pilihan yang efektif dan ramah lingkungan untuk pengolahan limbah padat untuk mendapatkan bahan bakar cair yang disebut sebagai minyak pirolitik atau bio-oil (Casoni, Bidegain, Cubitto, Curvetto, & Volpe, 2015; Fadhil, 2017; Fadhil, Alhayali, & Saeed, 2017; Raheem, Wan Azlina, Taufiq Yap, Danquah, & Harun, 2015). Meskipun bio-oil dapat digunakan langsung di boiler, burner, mesin, dan turbin gas dengan beberapa modifikasi, pemanfaatannya sebagai bahan bakar transportasi terbatas karena sifat-sifat yang tidak menguntungkan. Kandungan oksigen yang tinggi, kadar air yang tinggi, densitas tinggi, viskositas tinggi, keasaman tinggi, nilai kalor rendah, dan ketidakcocokan dengan hidrokarbon konvensional berdampak buruk pada kualitas bahan bakar bio-oil. Oleh karena itu, proses peningkatan katalitik seperti perengkahan, aromatisasi, kondensasi ketonisasi/aldol atau hidroleoksisasi diperlukan untuk mendapatkan sifat bahan bakar yang menguntungkan (Li, Yan, & Ren, 2008; Zhang, Liu, Yin, & Mei, 2013).

Di antara semua metode pemanfaatan dalam penelitian bioenergi (seperti pembakaran langsung, konversi termo-kimia dan konversi biologis), pirolisis—dekomposisi bahan organik tanpa oksigen—memiliki banyak keunggulan. Pirolisis merupakan proses yang relatif sederhana, tidak terpengaruh oleh kondisi lingkungan, memiliki tingkat konversi energi yang tinggi, dan CO<sub>2</sub>/GHG netral tanpa emisi SO<sub>x</sub>.

## 2. *Hydropulper Reject* Industri Kertas Sebagai Sumber *Refuse Paper and Plastic Fuel* (RPF)

*Hydropulper reject* dengan kadar air 40-50% diambil dari proses produksi pabrik kertas medium bergelombang yang terbuat dari kertas daur ulang di pabrik kertas (Gambar 1). Ketersediaan *hydropulper reject* cukup melimpah di industri kertas sebagai limbah padat yang belum banyak dimanfaatkan.

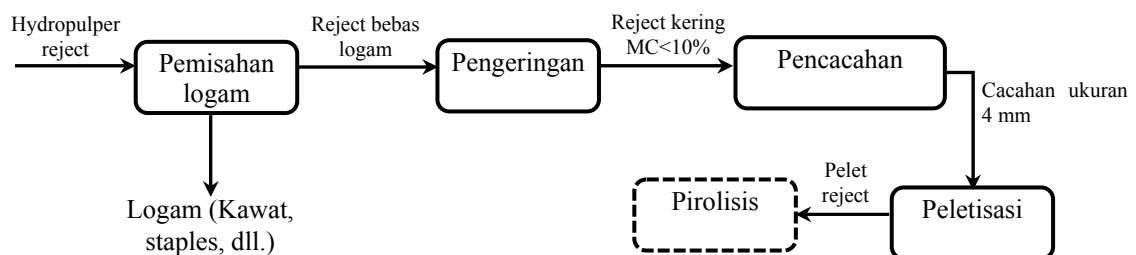
Produksi *refused paper and plastic fuel* (RPF) *hydropulper reject* industri kertas dilakukan dengan tahapan sebagai berikut (Setiawan et al., 2016):

1. *Hydrapulper reject* dipisahkan dari logam-logam seperti kawat dan logam lainnya;
2. *Hydropulper reject* dikeringkan dengan panas sinar matahari sampai kadar air < 10%;
3. *Hydrapulper reject* kering dan bebas logam dicacah dengan mesin pencacah menjadi cacahan dengan ukuran 4 mm;
4. Cacahan *hydrapulper reject* kering (kadar air < 10 %) diumpankan ke dalam mesin pelet. Pelet RPF yang dihasilkan berdiameter 10 mm dengan panjang 10 – 15 mm.
5. Pelet RPF siap menjadi bahan baku proses pirolisis.



a. *Hydropulper reject* sebagai limbah padat  
 Gambar 1. *Hydropulper reject* dari industri kertas sebagai limbah padat yang belum diolah

Diagram pemisahan plastik dan serat dari *hydrapulper reject* ditampilkan dalam Gambar 2. Pemisahan logam dari bahan plastik dan serat diperlukan untuk memisahkan bahan-bahan yang tidak dapat dibakar dan menghindari kerusakan pisau mesin pencacah dan mesin pelet. *Hydropulper reject* yang baru diambil dari pabrik pada umumnya memiliki kadar air tinggi mencapai 50%. Pengeringan dapat dilakukan menggunakan mesin sentrifugasi atau dijemur di bawah sinar matahari.



Gambar 2. Pemisahan plastik dan serat dari *hydrapulper reject* (Setiawan, dkk., 2016)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Setiawan et al. (2016), pembentukan pelet RPF *hydropulper reject* menggunakan roller logam berputar. Perputaran roller logam menghasilkan gesekan yang menghasilkan panas yang kemudian sedikit melelehkan komponen plastik dari *hydropulper reject*. Terbentuknya ikatan material RPF terjadi sebagai akibat komponen plastik yang sedikit meleleh tersebut. PRF yang dihasilkan memiliki diameter 10 mm dengan panjang 10 – 15 mm. Beberapa kelebihan dari bahan bakar bentuk RPF adalah nilai kalor dapat disesuaikan kebutuhan dengan mengatur rasio plastik dan kertas, secara ekonomi lebih murah dibandingkan menggunakan batubara, bentuk pelet memudahkan transportasi, dapat menjadi pengganti batubara dan kokas di industri kertas, pabrik kimia, dan perusahaan pengolahan kapur, dan memiliki nilai kalor tinggi setara dengan kokas (Kumar et al., 2020; X. R. Li, Lim, Iwata, & Koseki, 2009). Untuk memastikan kualitas yang konsisten dan menjamin mutu RPF, Jepang telah mengeluarkan standar RPF yaitu JIS Z7311: 2010 tentang *Refuse derived paper and plastics densified fuel* (RPF) (Kumar et al., 2020).



a. Produk pelet *hydropulper reject*



b. Uji coba pembakaran pelet *hydropulper reject*

Gambar 3. Tahapan proses pembentukan dan uji coba pelet *hydropulper reject*

PRF *hydropulper reject* yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai bahan baku pirolisis untuk menghasilkan bahan bakar minyak (Gambar 3a). Pada uji coba pembakaran RPF *hydropulper reject* (Gambar 3b), nyala api yang dihasilkan cukup baik dengan panas yang cukup tinggi.

### 3. Karakteristik RPF dari *Hydropulper Reject* Industri Kertas

Analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor biomassa dari industri pulp dan kertas ditampilkan dalam Tabel 1.



Tabel 1. Analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor biomassa dari industri pulp dan kertas

No.	Parameter	Satuan	Hydropulper Reject Industri			Batubara	Serpah kayu
			Kertas				
			A	B	C		
1.	Kadar air	%	2,47	2,41	1,13	10,69	3,7
2.	Abu	%	6,70	9,14	9,08	12,94	0,3
3.	Zat terbang	%	86,32	84,32	84,67	37,89	86,6
4.	Karbon padat	%	4,51	4,13	5,12	38,48	9,4
5.	Rasio bahan bakar (Karbon padat/Zat terbang)	-	0,052	0,049	0,060	1,016	0,108
6.	Nilai kalor	kal/g	8730	7207	7502	5240	3680
7.	Kadar sulfur	%	0,17	0,14	0,15	0,80	<0,1

Sumber: Setiawan et al. (2016)

*Hydropulper reject* memiliki kadar air lebih rendah dari bahan lainnya. Kadar abu *hydropulper reject* lebih rendah dari batubara namun lebih tinggi dari biomassa serpih kayu (Setiawan et al. (2014); Ouadi et al., 2013). Kadar zat terbang dari *hydropulper reject* lebih tinggi dari batubara. Kadar zat terbang tinggi menunjukkan potensinya sebagai bahan bakar pirolisis untuk menghasilkan bio-oil. Kadar karbon padat dari *hydropulper reject* lebih rendah dari kadar karbon padat batubara. Perbandingan kadar karbon padat terhadap kadar zat terbang disebut sebagai rasio bahan bakar (kadar karbon padat/kadar zat terbang). Bila rasio bahan bakar memiliki nilai <1,2 maka diprediksi menghasilkan pengapian bahan bakar yang baik dengan kecepatan pembakaran yang meningkat (Setiawan et al., 2016). *Hydropulper reject* memiliki nilai rasio bahan bakar lebih rendah dari batubara sehingga pembakaran *hydropulper reject* lebih baik dan lebih cepat dibandingkan dengan batubara. Hasil analisis nilai kalor menunjukkan bahwa nilai kalor *hydropulper reject* lebih tinggi dari batubara dan serpih kayu. Kadar sulfur *hydropulper reject* lebih rendah dari batubara tetapi lebih tinggi dari serpih kayu. Penggunaan *hydropulper reject* sebagai substitusi batubara berpotensi memperbaiki kualitas pembakaran dan menurunkan emisi SO<sub>2</sub> dari boiler.

#### 4. Pirolisis RPF *Hydropulper Reject* Industri Kertas

RPF *hydropulper reject*, dengan sendirinya atau dengan bahan bakar padat lain (misal kayu), dapat dipirolisis untuk menghasilkan minyak pirolisis yang berguna (misal senyawa aromatik seperti fenol) dan bahan bakar gas (misal H<sub>2</sub>) (Song, Lee, Gaur, Park, & Park, 2010). Minyak pirolisis atau lebih dikenal dengan bio-oil mengandung ratusan senyawa organik golongan alkana, hidrokarbon aromatik, fenol dan turunannya, keton, ester, eter, gula, amina, alkohol, levoglukosan, dan levoglukosenon (Isahak, Hisham, Yarmo, & Yun Hin, 2012; Xiu & Shahbazi, 2012). Senyawa di dalam bio-oil dapat diklasifikasikan ke dalam kategori utama asam organik, aldehyd, keton, furan, komponen berbasis gula, dan senyawa fenolik. Produk akhir pirolisis berupa bio-oil cair memiliki banyak keuntungan karena dapat disimpan dan diangkut, serta memiliki potensi untuk menghasilkan listrik melalui pembakaran dalam boiler, tungku diesel, mesin dan turbin gas, dan untuk memasok sejumlah bahan kimia berharga, seperti penyedap makanan, resin, agro-kimia, pupuk, dan agen pengendali emisi.

Keunggulan teknologi pirolisis yang ditawarkan dalam penelitian ini dibandingkan dengan insinerator yang digunakan untuk pengolahan limbah *hydropulper reject*, antara lain:

- Emisi lebih bersih;
- Tidak diperlukan peralatan pengendalian polusi;
- Area lebih kecil dari area yang dibutuhkan insinerator;
- Operasi lebih mudah dari insinerator;



- Flexible desain karena bentuk modular;
- Konsumsi energi rendah;
- Abu atau inert material sebagai residue dapat didaur ulang khususnya untuk metal;
- Dapat mengolah lebih dari 80% material input tergantung dari biomassa yang diolah;
- Sesuai untuk fasilitas pengolahan skala kecil dan sekitar tempat pembuangan sampah;
- Memberikan solusi atas penolakan teknologi insinerasi, yang ditengarai menghasilkan dioxin dan furans.

Prototipe laik industri yang sedang dikembangkan adalah reaktor pirolisis yang memiliki spesifikasi material terbuat dari stainless steel, ukuran volume 90% lebih kecil dari insenerator untuk kapasitas umpan yang sama, input energi listrik minimal dengan rasio energi mencapai 1:5, desain dan kapasitas fleksibel, model operasi bersifat semi kontinyu dan *knockdown* (dapat dibongkar pasang), abu atau inert material (residu) dapat dimanfaatkan sebagai pengkondisi tanah atau bahan bangunan, mampu mengolah lebih dari 80% jenis material sampah, dan kelembaban bahan baku yang dapat diolah mencapai  $\geq 60\%$ -berat.

Penelitian oleh Hwang et al. (2016) mendapatkan gas produsen hasil pirolisis RPF terdiri dari C (77,1%-vol), H (13,7%-vol), N (1,2%-vol) dan O (0,9%-vol) dan memiliki nilai kalori 8327 kal/g dan kadar klorin 0,08%-vol. Perkiraan produk yang dihasilkan dari pirolisis RPF *hydropulper reject* sebagai berikut:

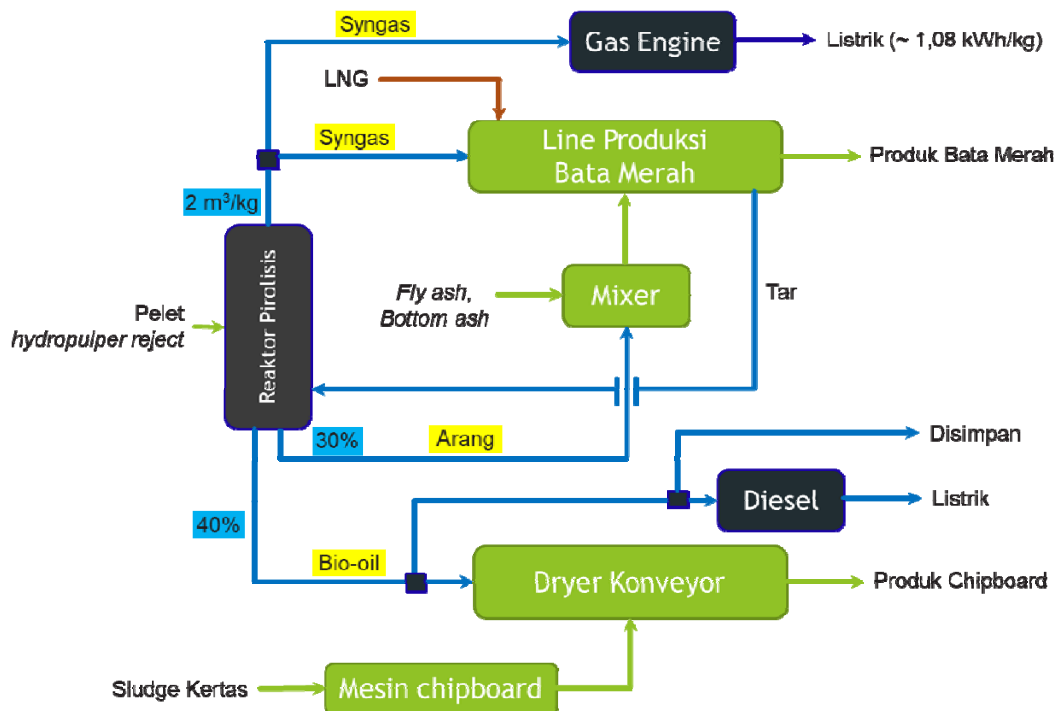
1. Bahan bakar minyak sebesar 40% berat bahan baku. Sifat kimia yang dimiliki senyawa hidrokarbon cair hasil proses pirolisis mirip dengan senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak mentah (minyak bumi), sehingga dapat menjadi energi alternatif.
2. Syngas yang dikonversi menjadi listrik sebagai berikut:
  - Satu kg *hydropulper reject* (asumsi:  $\rho = 750 - 850 \text{ kg/m}^3$ ) menghasilkan  $2 \text{ m}^3$  syngas (hasil uji coba).
  - Komposisi gas sintesis:  $\text{H}_2 = 20 \pm 2\%$ ;  $\text{CO} = 19 \pm 1\%$ ;  $\text{CH}_4 = 1,5 \pm 0,5\%$ ;  $\text{CO}_2 = 12 \pm 1\%$ ;  $\text{N}_2$  dan  $\text{O}_2$  (Uji lab. dg GC);
  - Nilai kalor syngas adalah nilai kalor dari  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}$  (komposisi teoritik):  
Nilai kalor syngas ( $2 \text{ m}^3$ ) =  $(12,76 \text{ MJ/m}^3 \times 2 \text{ m}^3 \times \% \text{H}_2) + (12,63 \text{ MJ/m}^3 \times 2 \text{ m}^3 \times \% \text{CO}) + (39,76 \text{ MJ/m}^3 \times 2 \text{ m}^3 \times \% \text{CH}_4)$   
=  $11,09 \text{ MJ/}2 \text{ m}^3 \text{ syngas}$   
=  $11,09 \text{ MJ/kg hydropulper reject}$ .
  - Asumsi:  $\eta$  pembangkit listrik = 35%  
Maka: 1 kWh listrik =  $1,85 \text{ m}^3$  gas sintesis  
Satu kg *hydropulper reject* dapat menghasilkan energi listrik sebesar = 1,08 kWh.

## 5. Aplikasi Pirolisis RPF *Hydropulper Reject* di Industri Kertas

Pirolisis RPF *hydropulper reject* menghasilkan produk utama berupa bahan bakar bio-oil dan syngas, dengan hasil samping berupa arang pirolisis. Bahan bakar minyak bio-oil dapat difraksinasi menjadi bahan bakar minyak setara minyak tanah, bensin, dan solar atau dapat langsung dimanfaatkan sebagai bahan bakar minyak. Bio-oil dapat digunakan sebagai bahan bakar solar untuk menjalankan genset dan menghasilkan listrik. Bio-oil dapat juga langsung dibakar di burner untuk menghasilkan panas yang digunakan sebagai media pemanas pada proses pengeringan. Alternatif lainnya, bio-oil dapat disimpan untuk keperluan lain, misalkan sebagai pelarut untuk pembersihan mesin-mesin dari karat dan pengotor lainnya.

Syngas dari pirolisis merupakan gas non-kondensabel yang tidak dapat dicairkan pada proses kondensasi. Komponen utama syngas pada umumnya adalah  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan

senyawa-senyawa ringan lainnya. Nilai kalor syngas dapat mencapai  $5,5 \text{ MJ/m}^3$  tergantung komposisi gas penyusunnya. Syngas dapat digunakan sebagai bahan bakar gas pada proses pembakaran di burner atau sebagai bahan bakar *gas engine* untuk menghasilkan listrik. Karena syngas sulit untuk disimpan, maka pemanfaatan syngas dilakukan *on site* di lokasi proses pirolisis.



Gambar 4. Aplikasi pirolisis RPF *hydropulper reject* di industri kertas

Produk lain dari pirolisis yaitu arang. Arang hasil pirolisis memiliki kadar karbon yang lebih tinggi dari bahan bakunya. Pada rangkaian proses pirolisis, arang dapat dibakar untuk mensuplai panas yang diperlukan untuk berlangsungnya reaksi pirolisis. Jika panas yang dihasilkan dari pembakaran arang tidak cukup untuk mensuplai panas pirolisis, maka dapat ditambahkan biomassa lain. Arang pirolisis juga dapat dijadikan sebagai bahan bakar gasifikasi. Gasifikasi arang pirolisis akan menghasilkan syngas yang memiliki nilai kalor medium dan bersih dari tar karena kadar karbon yang tinggi dengan kadar zat terbang yang rendah pada arang. Selain itu, pemanfaatan arang pirolisis yaitu sebagai material campuran dengan *fly ash*, *bottom ash*, dan komponen lainnya untuk pembuatan bata merah.

## 6. Kesimpulan

Limbah *hydropulper reject* dari industri kertas terdapat dalam jumlah banyak sebagai limbah padat yang belum dimanfaatkan. RPF *hydropulper reject* telah diuji kualitasnya sebagai bahan bakar dan menunjukkan potensinya sebagai bahan bakar. *Hydropulper reject* memiliki nilai rasio bahan bakar lebih rendah dari batubara sehingga pembakaran *hydropulper reject* lebih baik dan lebih cepat dibandingkan dengan batubara. Hasil percobaan dan perhitungan menunjukkan pirolisis *hydropulper reject* dapat menghasilkan bahan bakar minyak 0,4 liter/kg sampel dan syngas  $2 \text{ m}^3/\text{kg}$  sampel dengan nilai kalor  $5,5 \text{ MJ/m}^3$  atau setara listrik sebesar 1,08 kWh/kg sampel ( $\eta = 35\%$ ).



## Daftar Pustaka

- BPPT. (2018). *Indonesia Energy Outlook 2018: Sustainable Energy for Land Transportation*. Agency for The Assessment and Application of Technology (Vol. 134). <https://doi.org/10.1360/zd-2013-43-6-1064>
- Casoni, A. I., Bidegain, M., Cubitto, M. A., Curvetto, N., & Volpe, M. A. (2015). Pyrolysis of sunflower seed hulls for obtaining bio-oils. *Bioresource Technology*, *177*, 406–409. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2014.11.105>
- Fadhil, A. B. (2017). Evaluation of apricot (*Prunus armeniaca* L.) seed kernel as a potential feedstock for the production of liquid bio-fuels and activated carbons. *Energy Conversion and Management*, *133*, 307–317. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2016.12.014>
- Fadhil, A. B., Alhayali, M. A., & Saeed, L. I. (2017). Date (*Phoenix dactylifera* L.) palm stones as a potential new feedstock for liquid bio-fuels production. *Fuel*, *210*, 165–176. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.08.059>
- Gavrilescu, D. (2008). Energy from biomass in pulp and paper mills. *Environmental Engineering and Management Journal*. Retrieved from <http://omicron.ch.tuiasi.ro/EEMJ/>
- Hwang, H., Kim, M., Nzioka, A., Kim, Y., Tahir, I., & Yan, C. (2016). Kinetic characteristics in pyrolysis of RPF with additives. *Journal Wuhan University of Technology, Materials Science Edition*, *31*(5), 1144–1148. <https://doi.org/10.1007/s11595-016-1503-8>
- Indonesian Pulp and Paper Association. (2011). Indonesian Pulp & Paper Industry: Directory 2011, pp. 12–26
- Isahak, W. N. R. W., Hisham, M. W. M., Yarmo, M. A., & Yun Hin, T. (2012). A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(8), 5910–5923. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.05.039>
- Kumar, A., Dash, S. K., Ahamed, M. S., Lingfa, P. (2020). Study on conversion techniques of alternative fuels from waste plastics. *Energy Recovery Processes from Wastes*, Gosh (editor), Springer, India, p. 213-224
- Li, H., Yan, Y., & Ren, Z. (2008). Online upgrading of organic vapors from the fast pyrolysis of biomass. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, *36*(6), 666–671. [https://doi.org/10.1016/S1872-5813\(09\)60002-5](https://doi.org/10.1016/S1872-5813(09)60002-5)
- Li, X. R., Lim, W. S., Iwata, Y., & Koseki, H. (2009). Thermal characteristics and their relevance to spontaneous ignition of refuse plastics/paper fuel. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *22*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2008.09.004>
- Monte, M. C., Fuente, E., Blanco, A., & Negro, C. (2009). Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste Management*, *29*(1), 293–308. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2008.02.002>
- Ouadi, M., Brammer, J. G., Kay, M., & Hornung, A. (2013). Fixed bed downdraft gasification of paper industry wastes. *Applied Energy*, *103*, 692–699. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2012.10.038>
- Raheem, A., Wan Azlina, W. A. K. G., Taufiq Yap, Y. H., Danquah, M. K., & Harun, R. (2015). Thermochemical conversion of microalgal biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *49*, 990–999. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2015.04.186>
- Setiawan, Y., Purwati, S., Surachman, A., Bastari I. W., R., & Pramono, K. J. (2016). Pemanfaatan plastik dari rejeik industri kertas untuk bahan bakar. *Jurnal Selulosa*,





- 6(01), 11–18. <https://doi.org/10.25269/jsel.v6i01.70>
- Setiawan, Y., Purwati, S., Surachman, A., Wattimena, R. B. I., & Hardiani, H. (2014). Pelet Reject Industri Kertas Sebagai Bahan Bakar Boiler. *Jurnal Selulosa*, 4(02), 57–64. <https://doi.org/10.25269/jsel.v4i02.87>
- Song, H. J., Lee, J., Gaur, A., Park, J. J., & Park, J. W. (2010). Production of gaseous fuel from refuse plastic fuel via co-pyrolysis using low-quality coal and catalytic steam gasification. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 12(4), 295–301. <https://doi.org/10.1007/s10163-010-0299-4>
- Xiu, S., & Shahbazi, A. (2012). Bio-oil production and upgrading research: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4406–4414. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2012.04.028>
- Zhang, L., Liu, R., Yin, R., & Mei, Y. (2013). Upgrading of bio-oil from biomass fast pyrolysis in China: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 66–72. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2013.03.027>