



Pirolisis Hydropulper Reject Industri Kertas Untuk Produksi Bio-Oil dan Listrik

**Syamsudin, Reza B.I. Wattimena, Andri T. Rizaluddin, Ibrahim Syaharuddin²
dan Yusup Setiawan**

Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132, Bandung, Jawa Barat
Institut Teknologi Nasional, Jl. PH.H. Mustofa No.23, Bandung, Jawa Barat

*Email:syssyamsudin@gmail.com

Abstrak

Penelitian pirolisis hydropulper reject dari industri kertas untuk produksi bio-oil telah dilakukan. Hydropulper reject dari industri kertas mengandung 20% serat dan 80% plastik, dengan plastik terdiri dari HDPE >90% dan plastik non-HDPE. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pirolisis hydropulper reject untuk produksi bio-oil dan listrik. Hydropulper reject dibentuk menjadi pelet untuk mengurangi keruahan dan meningkatkan densitas energi. Pelet hydropulper reject dipirolisis dengan reaktor kombinasi gasifikasi-pirolisis untuk mengurangi konsumsi energi. Nilai kalor pelet hydropulper reject mencapai 29,30 MJ/kg (db). Produk yang dihasilkan berupa bio-oil sebanyak ±40% bahan baku dengan nilai kalor 77,79 MJ/kg. Perkiraan listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan syngas sebesar 1,08 kWh/kg hydropulper reject.

Kata kunci: hydropulper reject, pirolisis, bio-oil, syngas, listrik.

1. Pendahuluan

Peningkatan produksi energi dan sumber energi dari dalam negeri untuk mengurangi ketergantungan pada impor telah menjadi program pemerintah dalam mengatasi peningkatan kebutuhan energi dan kelangkaan sumber energi fosil. Kebijakan Energi Nasional (KEN) seperti tertuang dalam Peraturan Presiden No. 79/2014 mengamanatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 dengan pangsa sebesar 23% terhadap bauran energi primer dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050 [1]. KEN telah membuat sasaran terpenuhinya penyediaan energi primer pada tahun 2025 sekitar 400 MTOE dan pada tahun 2050 sekitar 1000 MTOE, dan terpenuhinya penyediaan kapasitas pembangkit listrik sekitar 115 GW pada tahun 2025, dan 430 GW pada tahun 2050 [2]. Peningkatan konsumsi yang diiringi dengan penurunan cadangan minyak bumi dan gas bumi mendorong perlunya peningkatan efisiensi dan diversifikasi energi supaya ketahanan energi tetap terjaga. Potensi energi baru dan terbarukan di industri pulp dan kertas cukup besar mengingat bahan baku yang diproses dalam jumlah besar yaitu bahan lignoselulosa.

Hydropulper reject adalah limbah padat yang dikeluarkan dari proses repulping pada tahap awal proses pembuatan pulp dari bahan baku kertas bekas. *Hydropulper reject* sebagian besar terdiri dari bundel serat, foil, dan plastik polimer dengan jumlah dan komposisi tergantung pada kualitas dan sumber kertas bekas yang digunakan sebagai bahan baku ([3];[4]). Pada saat ini, terdapat empat puluh lima industri kertas di Indonesia yang menggunakan bahan baku kertas bekas [5]. Jenis kertas bekas yang digunakan berupa *Old Corrugated Carton (OCC)*, *Old News Paper (ONP)*, *Sorted White Ledger (SWL)*, dan *mixed paper*. Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia (APKI) melaporkan bahwa konsumsi kertas bekas untuk produksi kertas mencapai jumlah 6.598.464 ton per tahun [5]. Sebagian besar industri kertas Indonesia menghasilkan limbah *hydropulper reject* dalam jumlah 5-10% dari kertas bekas yang digunakan [3]. Pengelolaan *hydropulper reject* industri kertas yang diterapkan saat

ini adalah mengurangi volume *hydropulper reject* dengan pembakaran di insinerator atau dikelola oleh pihak lain. Proses pirolisis adalah pilihan yang ramah lingkungan untuk pengolahan *hydropulper reject* untuk mendapatkan bahan bakar cair yang disebut sebagai minyak pirolitik atau bio-oil berkualitas yang dapat memiliki sifat serupa dengan bahan bakar minyak bumi ([6];[7];[8]).

Penelitian pirolisis plastik telah banyak dilakukan. Zeaiter [9] telah meneliti pirolisis katalitik dan non-katalitik terhadap plastik HDPE pada suhu 450–470°C. Pirolisis non-katalitik menghasilkan produk cair relatif tinggi yaitu 78,7% dan gas 17,8%, sedangkan pirolisis menggunakan katalis zeolit memberikan hasil gas tertinggi mencapai 95,7% dan produk cair 2,4%. Salan, dkk. [10] telah meneliti pirolisis katalitik dan non-katalitik terhadap *pulper reject* untuk produksi bahan bakar minyak pirolitik. Hasil cairan tertinggi (61,4%) dan arang (32,19%) diperoleh dengan menggunakan klinoptilolit 15% dan meerscham 5%, sedangkan hasil gas tertinggi (21,44%) diperoleh melalui proses non-katalitik. Park, dkk. [11] melakukan pirolisis RPF (*Refuse derived paper and plastics densified Fuel*) kondisi non-isothermal pada suhu 400°C, 600°C, dan 800°C. Pirolisis RPF pada 400°C menghasilkan cairan (50%), padatan (15%), dan gas (35%); pada 600°C menghasilkan cairan (53%), padatan (10%), dan gas (37%); dan pada 800°C menghasilkan cairan (41%), padatan (6%), dan gas (53%). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pirolisis *hydropulper reject* dari pabrik kertas untuk menghasilkan bio-oil dan listrik.

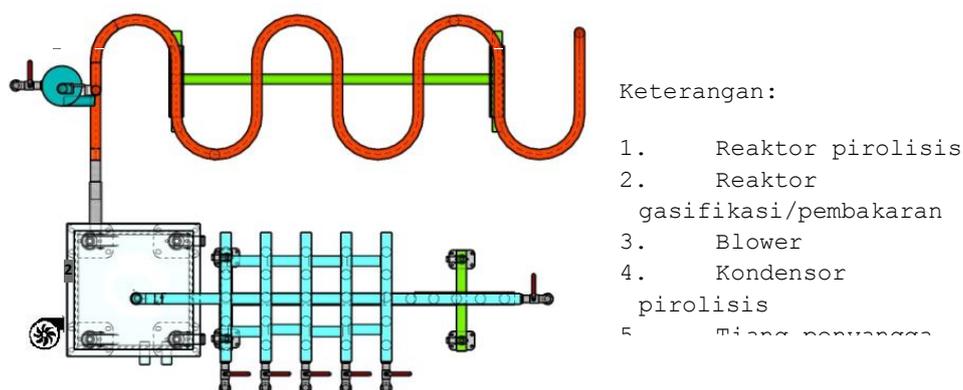
2. Metodologi

2.1. Bahan

Hydropulper reject dengan kadar air 40-50% diambil dari unit *hydropulper reject* dari industri kertas yang memproduksi kertas medium bergelombang dengan bahan baku kertas bekas.

2.2. Alat

Peralatan untuk pembuatan pelet terdiri dari mesin pencacah dan mesin pelet tipe vertikal dengan *flat die*. Peralatan untuk pirolisis berupa reaktor pirolisis dengan sistem cartridge. Diagram skematik dari sistem reaktor pirolisis ditampilkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat pirolisis

Rangkaian alat pirolisis terdiri dari reaktor pirolisis sistem cartridge yang terintegrasi dengan reaktor gasifikasi/pembakaran skala 100 kg/batch, kondensor untuk kondensasi syngas hasil pirolisis, kondensor untuk kondensasi syngas hasil gasifikasi, separator tipe siklon, dan blower.

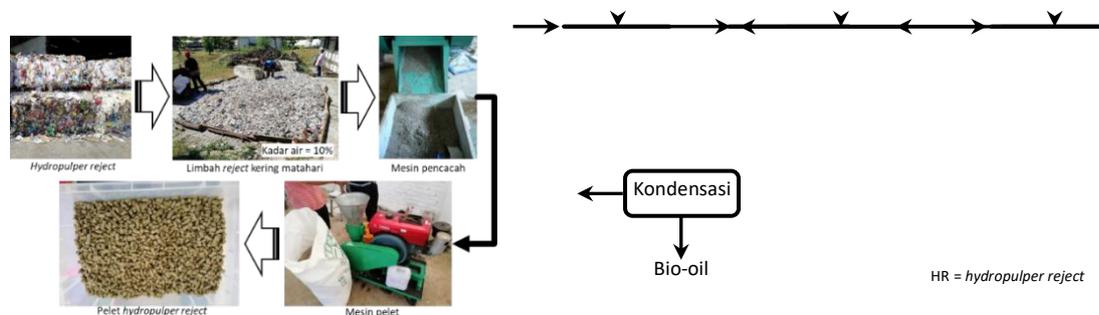
2.3. Metode Penelitian

Alur percobaan pirolisis pelet *hydropulper reject* ditampilkan dalam Gambar 2. Pelet *hydropulper reject* sebanyak ± 50 kg diumpungkan ke dalam reaktor pirolisis. Untuk proses *start up*, potongan-potongan kayu dimasukkan dan dibakar di dalam reaktor gasifikasi/pembakaran yang berada di bagian luar reaktor pirolisis. Umpan reaktor gasifikasi/pembakaran parsial dapat diganti dengan arang hasil pirolisis setelah proses stabil. Panas yang dihasilkan dari pembakaran parsial di dalam reaktor gasifikasi/pembakaran digunakan untuk mensuplai panas yang diperlukan untuk proses pirolisis. Gas pirolisis dikondensasi menjadi bio-oil menggunakan kondenser dengan rekayasa aliran gas. Gas non-kondensabel dan gas sisa lainnya memiliki sifat mampu bakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk genset listrik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. *Hydropulper Reject* Industri Kertas

Limbah *hydropulper reject* terdiri dari 20% serat dan 80% plastik. Analisis komposisi plastik menunjukkan >90% dari plastik dari *hydropulper reject* berupa plastik jenis *high density polyethylene* (HDPE). HDPE adalah polimer termoplastik yang terbuat dari proses pemanasan minyak bumi. Plastik HDPE merupakan salah satu jenis plastik yang tersusun dari hidrokarbon yang terdiri dari karbon dan hidrogen, mirip dengan bahan bakar hidrokarbon seperti gas minyak cair (LPG), bensin dan solar. Pembakaran plastik HDPE lebih ramah lingkungan daripada senyawa plastik lainnya (misalnya *polyvinyl chloride*, PVC) karena bahan ini terbuat dari hidrokarbon rantai lurus yang bebas dari halogen. Hasil penelitian co-pembakaran HDPE dan biomassa menunjukkan tidak terjadi peningkatan konsentrasi dioksin dan partikulat dengan penambahan HDPE [12].



Gambar 2. Alur percobaan pirolisis pelet *hydropulper reject*

Parameter utama dalam karakterisasi *hydropulper reject* antara lain analisis proksimat (kadar air, abu, zat terbang, dan karbon padat), analisis ultimate (komposisi C, H, O, N, dan S), dan nilai kalor. Nilai kalor *hydropulper reject* cukup tinggi yaitu 29,30 MJ/kg (db) (Tabel 1). Nilai kalor ini lebih tinggi dari nilai kalor batubara dan biomassa pada umumnya. Nilai kalor *hydropulper reject* dapat meningkat dengan meningkatnya kadar plastik HDPE, di mana plastik HDPE memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan batubara dan biomassa [10], yaitu 43,01 MJ/kg [13]. *Hydropulper reject* memiliki kadar zat terbang tinggi, yaitu 84,84% (db). Zat terbang terdiri atas H₂, CO, CO₂, CH₄, hidrokarbon rantai ringan, tar, amonia, senyawa sulfur, senyawa oksigen dan uap air. Zat terbang secara signifikan mempengaruhi perolehan bio-oil. Kandungan zat terbang tinggi menyebabkan peningkatan hasil bio-oil [14]. Asadullah dkk. [15] telah meneliti bahwa zat terbang dapat diubah menjadi bio-oil dengan

kondensasi. Semakin besar kadar zat terbang dalam *hydropulper reject* maka semakin banyak *yield* bio-oil yang dapat dihasilkan.

Tabel 1. Nilai proksimat dan nilai kalor *hydropulper reject* industri kertas

| Parameter | Nilai | Parameter | Nilai |
|--------------------------|-------------|-----------------|-----------|
| Proksimat: | | Ultimat: | |
| Abu | 9,66% db | C | 64,17% db |
| Zat terbang | 84,84% db | H | 9,89% db |
| Karbon padat | 5,49% db | O | 16,06% db |
| | | N | 0,11% db |
| Nilai kalor (LHV) | 29,30 MJ/kg | S | 0,10% db |

Kadar karbon tetap pada *hydropulper reject* cukup rendah, yaitu 5,49% (db). Pirolisis material dengan kadar karbon tetap rendah akan menghasilkan sedikit arang.

3.2. Pirolisis Pelet *Hydropulper Reject*

Produk utama pirolisis pada penelitian ini adalah bio-oil. Bio-oil diperoleh dari kondensasi zat volatile yang dihasilkan selama proses pirolisis. Bio-oil yang merupakan gas kondensabel terdiri atas hidrokarbon rantai panjang dan air (berasal dari kadar air bahan baku dan air hasil dekomposisi material organik). Perolehan bio-oil dari pirolisis *hydropulper reject* mencapai 40%. Hasil ini lebih rendah dari perolehan bio-oil dari pirolisis biomassa lain [10][11][16][9], dapat disebabkan oleh proses kondensasi yang belum maksimal sehingga masih ada gas kondensabel yang terbawa aliran bersama gas non-kondensabel lainnya. Kualitas produk bio-oil yang dihasilkan dibandingkan dengan standar mengacu pada SNI 04-7182-2006 mengenai biodiesel dan ASTM D 7544-09 mengenai bahan bakar cair hasil pirolisis (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan bio-oil hasil penelitian dengan standard

| Karakteristik | SNI 04-7182-2006 ^[17] | ASTM D 7544-09 ^[18] | Penelitian ini |
|---|----------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Nilai kalor (MJ/kg) | - | Min. 15 | 77,79 |
| Viskositas kinematik pada 40°C (cSt) | 2,3-6,0 | Maks. 125 | 3,29 |
| Kandungan abu (%berat) | Maks. 0,02 | Maks. 0,25 | t.d. |
| pH | - | - | 4-5 |
| Massa jenis pada 40°C (g/mL) | 0,85-0,89 | 1,1-1,3 | 0,8205 |
| Kandungan sulfur (%berat) | Maks. 0,01 | Maks. 0,05 | t.d. |
| Kadar air (%berat) | - | Maks. 30 | 21,87 |
| Kadar padatan (%berat) | - | Maks. 2,5 | t.d. |

t.d. = tidak dilakukan analisis

Hasil karakterisasi bio-oil menunjukkan karakterisasi mendekati SNI 04-7182-2006 dengan nilai kalor yang lebih tinggi, yaitu 77,79 MJ/kg. Nilai kalor ini diperoleh setelah dilakukan pemisahan air. Kadar air *crude* bio-oil cukup tinggi, yaitu 21,87%. Menurut data literatur, kandungan air dari minyak-minyak yang diperoleh dari sumber biomassa biasanya bervariasi dalam kisaran 15-35% berat [10]. Standard ASTM D 7544-09 mensyaratkan kualitas bahan bakar cair hasil pirolisis memiliki kadar air maksimal 30% berat.

3.3. Perkiraan Produksi Listrik dari Syngas

Berdasarkan data hasil pengukuran laju gas, diperkirakan satu kg pelet *hydropulper reject* dapat menghasilkan 2 m³ syngas. Komposisi syngas hasil pirolisis ditampilkan dalam

Tabel 3. Nilai kalor syngas diperkirakan dari penjumlahan nilai kalor dari H₂, CH₄ dan CO, yaitu 114,17 kJ/mol syngas. Asumsi efisiensi pembangkit listrik sebesar 35%, maka satu kg *hydropulper reject* dapat menghasilkan energi listrik sebesar sebanyak 1,08 kWh.

Tabel 3. Komposisi syngas hasil pirolisis

| No. | Gas | Nilai kalor (kJ/mol) ^[19] | Komposisi |
|-----|-----------------|--------------------------------------|-----------|
| 1. | H ₂ | 241,82 | 20,0% |
| 2. | CO | 283,00 | 19,0% |
| 3. | CH ₄ | 802,62 | 1,5% |
| 4. | CO ₂ | | 12,0% |
| 5. | Gas-gas lain | | 47,5% |

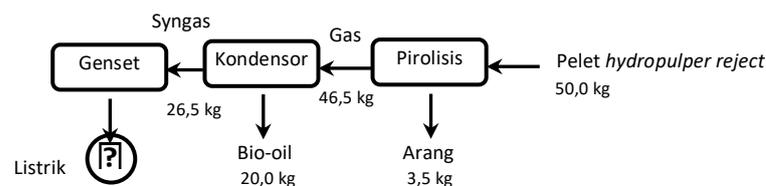
3.4. Neraca Massa, Konsumsi dan Produksi Energi

Tabel 4 menyajikan neraca massa pada pembuatan pelet *hydropulper reject* kapasitas 50 kg/batch. Bahan baku *hydropulper reject* yang dibutuhkan sebanyak 123,8 kg dengan kadar air 50% mengandung logam dan pengotor-pengotor sebanyak ±10%. Logam dan pengotor ini dipisahkan supaya tidak mengganggu dan merusak peralatan pada proses selanjutnya. Proses pengeringan bahan baku menggunakan panas matahari dapat menurunkan kadar air menjadi ±10% dengan menguapkan air sebanyak 49,5 kg. *Loss* material yang terjadi pada proses pencacahan dan peletisasi, masing-masing 3,0 kg dan 8,9 kg. Komposisi pelet yang dihasilkan yaitu serat 9,0 kg, plastik 36,0 kg, dan air 5,0 kg dengan kadar air 10%.

Tabel 4. Neraca massa pembuatan dan pirolisis pelet *hydropulper reject*

| Komponen | Bahan baku (kg) | Pengotor (kg) | Air teruapkan (kg) | Loss pencacahan (kg) | Loss peletisasi (kg) | Pelet (kg) |
|---------------|-----------------|---------------|--------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| Serat | 11,1 | | | 0,5 | 1,6 | 9,0 |
| Plastik | 44,6 | | | 2,2 | 6,4 | 36,0 |
| Air | 55,7 | | 49,5 | 0,3 | 0,9 | 5,0 |
| Pengotor | 12,4 | 12,4 | | | | |
| Jumlah | 123,8 | 12,4 | 49,5 | 3,0 | 8,9 | 50,0 |

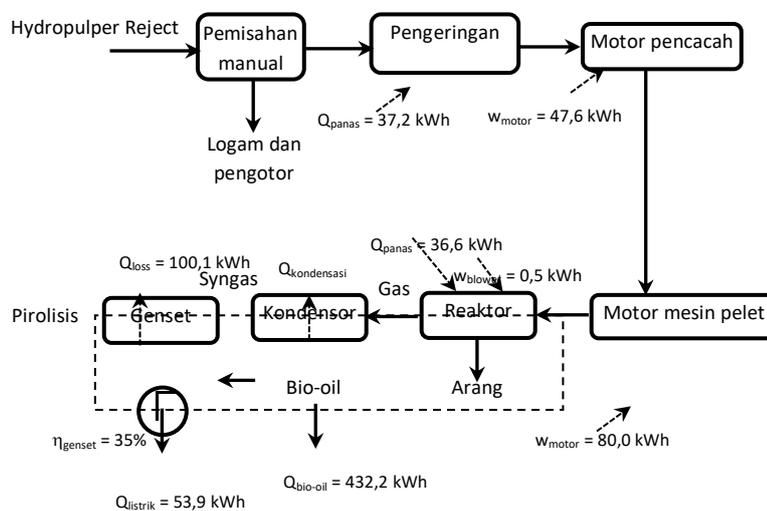
Gambar 3 menyajikan neraca massa pirolisis 50 kg pelet *hydropulper reject*. Proses pirolisis menghasilkan ±20 kg bio-oil (40%) dan ±3,5 kg arang (7%). Bio-oil yang dihasilkan mengandung lebih dari 80 jenis senyawa hidrokarbon. Syngas yang dihasilkan sebanyak 26,5 kg diumpungkan sebagai bahan bakar untuk genset.



S = serat; P = plastik; A = air; I = logam dan pengotor; k.a = kadar air

Gambar 3. Neraca massa pirolisis pelet *hydropulper reject*

Gambar 4 menyajikan konsumsi dan produksi energi pada proses pembuatan dan pirolisis pelet *hydropulper reject*. Kebutuhan panas untuk pengeringan bahan baku diestimasi sebesar 37,2 kWh. Peralatan produksi yang menggunakan listrik, yaitu mesin pencacah (3,2 kW), mesin pelet (5,67 kW), dan blower (0,36 kW). Kebutuhan listrik untuk mesin pelet dipenuhi oleh generator listrik berbahan bakar solar dengan konsumsi setara listrik 80 kWh. Kebutuhan listrik secara keseluruhan mencapai 128,1 kWh, dipenuhi dari listrik PLN dan generator listrik. Energi dari bahan baku pelet *hydropulper reject* yaitu 366,4 kWh. Panas untuk pirolisis dipenuhi dengan pembakaran kayu yang menghasilkan panas setara 36,6 kWh. Produk pirolisis berupa bio-oil membawa energi sebesar 432,2 kWh dan syngas setara 154,0 kWh. Secara teoritis, jika syngas tersebut diumpungkan ke genset yang memiliki efisiensi 35%, maka dapat menghasilkan produk listrik sebesar 53,9 kWh. Kebutuhan energi *start-up*, seperti LPG untuk menyalakan reaktor pembakaran hingga mencapai suhu yang dibutuhkan belum diperhitungkan.



Gambar 4. Konsumsi dan produksi energi pada pirolisis pelet *hydropulper reject*

4. KESIMPULAN

Nilai kalor pelet *hydropulper reject* cukup tinggi sehingga sangat berpotensi sebagai bahan bakar alternatif. Pemanfaatan pelet *hydropulper reject* melalui pirolisis menghasilkan produk bio-oil sebanyak ±40% bahan baku dengan nilai kalor 77,79 MJ/kg. Perkiraan listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan syngas sebesar 1,08 kWh/kg *hydropulper reject*. Produk listrik yang dihasilkan setelah dikurangi kebutuhan listrik untuk proses menunjukkan surplus listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Direktorat Pengembangan Teknologi Industri, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi melalui Program Pengembangan Teknologi Industri TA 2019.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, *Indonesia Energy Outlook 2019: The Impact of Increased Utilization of New and Renewable Energy on the National Economy*. 2019.
- [2] D. E. Nasional, “Kebijakan Energi Nasional (KEN) Road Map Kebijakan Ketahanan dan Kemandirian Energi,” 2020. [Online]. Available: <https://den.go.id/index.php/dinamispage/index/471-.html>.
- [3] D. Gavrilesco, “Energy from biomass in pulp and paper mills,” *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 7, no. 5. pp. 537–546, 2008.
- [4] M. C. Monte, E. Fuente, A. Blanco, and C. Negro, “Waste management from pulp and paper production in the European Union,” *Waste Manag.*, vol. 29, no. 1, pp. 293–308, Jan. 2009.
- [5] Indonesian Pulp and Paper Association, “Indonesian Pulp & Paper Industry Directory 2011,” Jakarta, 2011.
- [6] A. I. Casoni, M. Bidegain, M. A. Cubitto, N. Curvetto, and M. A. Volpe, “Pyrolysis of sunflower seed hulls for obtaining bio-oils,” *Bioresour. Technol.*, vol. 177, pp. 406–409, Feb. 2015.
- [7] A. B. Fadhil, “Evaluation of apricot (*Prunus armeniaca* L.) seed kernel as a potential feedstock for the production of liquid bio-fuels and activated carbons,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 133, pp. 307–317, Feb. 2017.
- [8] A. B. Fadhil, M. A. Alhayali, and L. I. Saeed, “Date (*Phoenix dactylifera* L.) palm stones as a potential new feedstock for liquid bio-fuels production,” *Fuel*, vol. 210, pp. 165–176, Dec. 2017.
- [9] J. Zeaiteer, “A process study on the pyrolysis of waste polyethylene,” *Fuel*, vol. 133, pp. 276–282, 2014.
- [10] T. Salan, M. H. Alma, and E. Altuntaş, “The fuel properties of pyrolytic oils obtained from catalytic pyrolysis of non-recyclable pulper rejects using activated natural minerals,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 41, no. 12, pp. 1460–1473, 2019.
- [11] S. S. Park, D. K. Seo, S. H. Lee, T. U. Yu, and J. Hwang, “Study on pyrolysis characteristics of refuse plastic fuel using lab-scale tube furnace and thermogravimetric analysis reactor,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 97, pp. 29–38, 2012.
- [12] V. Colapicchioni *et al.*, “Environmental impact of co-combustion of polyethylene wastes in a rice husks fueled plant: Evaluation of organic micropollutants and PM emissions,” *Sci. Total Environ.*, vol. 716, p. 135354, 2020.
- [13] J. Chattopadhyay, T. S. Pathak, R. Srivastava, and A. C. Singh, “Catalytic co-pyrolysis of paper biomass and plastic mixtures (HDPE (high density polyethylene), PP (polypropylene) and PET (polyethylene terephthalate)) and product analysis,” *Energy*, vol. 103, pp. 513–521, 2016.



- [14] F. Abnisa, A. Arami-Niya, W. M. A. Wan Daud, J. N. Sahu, and I. M. Noor, “Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 76, pp. 1073–1082, 2013.
- [15] M. Asadullah *et al.*, “Jute stick pyrolysis for bio-oil production in fluidized bed reactor,” *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 1, pp. 44–50, Jan. 2008.
- [16] I. H. Hwang, J. Kobayashi, and K. Kawamoto, “Characterization of products obtained from pyrolysis and steam gasification of wood waste, RDF, and RPF,” *Waste Manag.*, vol. 34, no. 2, pp. 402–410, 2014.
- [17] K. Wardah, “SNI Biodiesel,” 2019. [Online]. Available: <https://btbrd.bppt.go.id/index.php/services/26-pojok-biodiesel/94-sni-biodiesel>.
- [18] J. Yan, *Handbook of Clean Energy Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, 2015.
- [19] D. W. Green and R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.