

EFFECT OF TEMPERATURE AND BLENDING RATIO TO PRODUCT DISTRIBUTION OF CO-PYROLYSIS LIGNITE AND PALM KERNEL SHELL

Rinny Jelita*, Jefriadi, Muhammad Jauhar Mahdi, Muhammad Hafiz
Chemical Engineering Study Program, Lambung Mangkurat University
Jl. A. Yani Km. 36 Banjarbaru, 70714, Indonesia

* E-mail corresponding author: rinnyjelita@ulm.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 30-09-2021 Received in revised form: 04-10-2021 Accepted: 05-10-2021 Published: 06-10-2021</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Hybrid coal Palm kernel shell Lignite Co-pyrolysis</p>	<p><i>The issue of the energy crisis and environmental problems due to waste encourage the formation of new fuels from renewable materials such as palm kernel shell biomass (CKS). In other hand, low rank coal (lignite) has low economic value, so it needs to be improved to be used widely. Utilization of lignite and CKS can produce solid products (char) in the form of hybrid coal through the co-pyrolysis process. This study aims to determine the optimum temperature and composition of co-pyrolysis lignite and CKS based on the distribution of the resulting product. The lignite is dried and pulverized to a particle size of 20-50 mesh. CKS cleaned, cut into pieces and sieved to a size of 0.4-2 mm. Then the CKS was dried in an oven at 105oC for 24 hours. Lignite and CKS were mixed with a composition of 15%, 22.5%, and 30% by weight of CKS:lignite. The mixture of materials is put into the co-pyrolysis reactor as much as 200 grams. The co-pyrolysis process was carried out at temperatures of 200°C, 300°C, and 400°C for 1 hour by flowing nitrogen gas into the reactor with a flow rate of 1.5 L/min. The results showed that increasing the mixing ratio of CKS:lignite and co-pyrolysis temperature would increase tar yield while decreasing char yield. Judging from the highest tar yield, the optimum co-pyrolysis temperature was 400oC at 15% optimum mixing ratio, while 200oC and 22.5% were optimum co-pyrolysis temperatures and mixing ratio to obtain the largest char yield. Both tar and char co-pyrolysis products can be an alternative energy source with further processing.</i></p>

PENGARUH TEMPERATUR DAN RASIO PENCAMPURAN TERHADAP DISTRIBUSI PRODUK CO-PYROLYSIS LIGNIT DAN CANGKANG KELAPA SAWIT

Abstrak- Adanya isu krisis energi dan masalah lingkungan akibat limbah mendorong terciptanya bahan bakar baru dari bahan terbarukan seperti limbah biomassa cangkang kelapa sawit (CKS). Di sisi lain, batubara kualitas rendah (lignit) memiliki nilai ekonomi yang rendah sehingga perlu ditingkatkan agar dapat digunakan lebih luas. Pemanfaatan lignit dan CKS dapat menghasilkan produk padat (char) berupa batubara hibrida melalui proses *co-pyrolysis*. Penelitian ini bertujuan menentukan temperatur dan komposisi optimum *co-pyrolysis* lignit dan CKS berdasarkan distribusi produk yang dihasilkan. Lignit dikeringkan dan dihaluskan hingga ukuran partikel 20-50 mesh. CKS dibersihkan, dipotong-potong dan diayak hingga berukuran 0,4-2 mm. Selanjutnya CKS dikeringkan menggunakan oven pada 105°C selama 24 jam. Lignit dan CKS dicampur dengan komposisi 15%, 22,5%, dan 30% berat CKS:lignit. Campuran bahan dimasukkan ke dalam reaktor *co-pyrolysis* sebanyak 200 gram. Proses *co-pyrolysis* dijalankan pada suhu 200°C, 300°C, dan 400°C selama 1 jam dengan mengalirkan gas nitrogen ke dalam reaktor dengan kecepatan alir 1,5 L/menit. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rasio pencampuran CKS:lignit dan temperatur *co-pyrolysis* akan meningkatkan yield tar sementara yield char menurun. Ditinjau dari yield tar terbesar, temperatur optimum *co-pyrolysis* adalah 400°C pada rasio pencampuran optimum 15%, sedangkan 200°C dan 22,5% merupakan temperatur *co-pyrolysis* dan rasio pencampuran optimum untuk

memperoleh *yield char* terbesar. Baik tar dan *char* produk *co-pyrolysis* ini dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif dengan pengolahan lebih lanjut.

Kata kunci: batubara hibrida, cangkang kelapa sawit, lignit, *co-pyrolysis*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, batubara menempati posisi kedua sebagai bahan energi utama hingga tahun 2035 (British Petroleum Company, 2019). Namun, pemanfaatan batubara pada umumnya berupa pembakaran yang menimbulkan polusi udara. Teknologi *co-pyrolysis* dapat mengurangi dampak lingkungan akibat pembakaran batubara dengan penambahan biomassa. Salah satu jenis batubara adalah lignit yang memiliki nilai kalor rendah dan kadar air hingga 55% (ASTM D388-12) membuat lignit tidak efisien dijadikan bahan bakar karena menghasilkan emisi karbon dioksida yang tinggi.

Sebagai salah satu produsen minyak kelapa sawit, Kalimantan Selatan menghasilkan limbah padat berupa cangkang kelapa sawit (CKS). Masalah lingkungan akibat limbah dan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil mendorong penelitian untuk mengembangkan bahan bakar alternatif berbasis biomassa. Biomassa adalah salah satu sumber energi terbarukan yang kaya akan selulosa dan senyawa organik lainnya dapat digunakan untuk menghasilkan produk kimia dan energi. Biomassa dapat digunakan sebagai bahan baku *co-pyrolysis* untuk menghasilkan produk cairan (*bio-oil*), produk gas dan produk padat (*biochar*).

Cangkang kelapa sawit adalah residu biomassa yang menarik untuk memproduksi *bio-oil* yang kaya fenolik, karena kandungan ligninnya yang tinggi (lebih 45 wt.%) (Kim et al., 2010). Tingginya kandungan lignin juga dapat menghasilkan *yield biochar* dan diperoleh beberapa sifat khusus dalam arang CKS (Ma et al., 2017). Produk *biochar* dapat digunakan sebagai bahan bakar padat di pembangkit listrik, bahan baku karbon aktif, atau bahkan pendukung katalis dan elektroda superkapasitor (Kan et al., 2016, Nanda et al., 2016, Qian et al., 2015) serta sebagai adsorben yang efektif (Mukherjee et al., 2014)

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan *co-pyrolysis* non-katalitik telah dilakukan (Pinto et al., 2015, Hossain et al., 2017, Uzoejinwa et al., 2019, Akyürek, 2019). *Co-pyrolysis* yang menggunakan lignit misalnya *co-pyrolysis* lignit dan sekam padi dengan produk batubara hibrida (Sasongko et al., 2017), *co-pyrolysis* lignit dan tandan kosong kelapa sawit (Zullaikah, 2015). Beberapa peneliti (Soncini et al., 2013, Wei et al., 2011, Zhang et al., 2007) juga melakukan *co-pyrolysis* batubara dan biomassa dengan fokus penelitian pada distribusi produk. Sejauh

penelusuran peneliti, *co-pyrolysis* lignit dan CKS belum pernah dilakukan. Penelitian ini akan menganalisis distribusi produk batubara hibrida dari *co-pyrolysis* lignit dan CKS dengan variabel temperatur dan komposisi bahan baku. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan sumber energi alternatif yang baru dan mengatasi permasalahan lingkungan akibat limbah CKS.

METODE PENELITIAN

Bahan

Lignit diperoleh dari Satui, Kabupaten Tanah Bumbu dan CKS diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara XIII Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan.

Persiapan Bahan

Lignit dikeringkan dan dihaluskan sampai diperoleh ukuran partikel 20-50 mesh. CKS dibersihkan, dipotong-potong dan diayak hingga berukuran 0,4-2 mm. Kemudian CKS dikeringkan menggunakan oven pada 105 °C selama 24 jam.

Prosedur Penelitian

Lignit dan CKS dicampur dengan komposisi 15%, 22,5%, dan 30% berat CKS: lignit. Metode *co-pyrolysis* tanpa katalis dilakukan dengan memasukkan campuran bahan pada reaktor *co-pyrolysis* sebanyak 200 gram. Reaktor *co-pyrolysis* dilengkapi dengan pipa yang terhubung dengan kondensor dan wadah penampung produk cair hasil reaksi *co-pyrolysis*. Proses *co-pyrolysis* dijalankan pada suhu 200°C, 300 °C, dan 400°C selama 1 jam dengan mengalirkan gas nitrogen ke dalam reaktor dengan kecepatan alir 1,5 L/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses pirolisis maupun *co-pyrolysis* akan terdistribusi menjadi 3 produk, yaitu produk cair (tar), produk padat (char) dan gas. Tar merupakan asap cair yang terkondensasi dan ditampung selama proses berlangsung dan char merupakan padatan sisa pembakaran (arang) yang tertinggal di dalam reactor, sementara gas merupakan asap yang tidak terkondensasi. Data gas pada penelitian ini diperoleh dari perhitungan neraca massa menggunakan data tar dan char yang merupakan data primer di laboratorium. Adapun *yield tar* dan *char* dihitung melalui persamaan (1) – (3).

$$Yield\ tar\ (\%) = \frac{massa\ tar}{massa\ sampel} \times 100\% \quad (1)$$

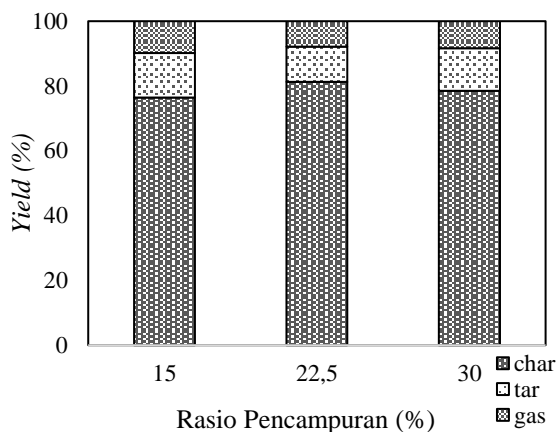
$$Yield\ char\ (\%) = \frac{massa\ char}{massa\ sampel} \times 100\% \quad (2)$$

$$Yield\ gas\ (\%) = \frac{massa\ gas}{massa\ sampel} \times 100\% \quad (3)$$

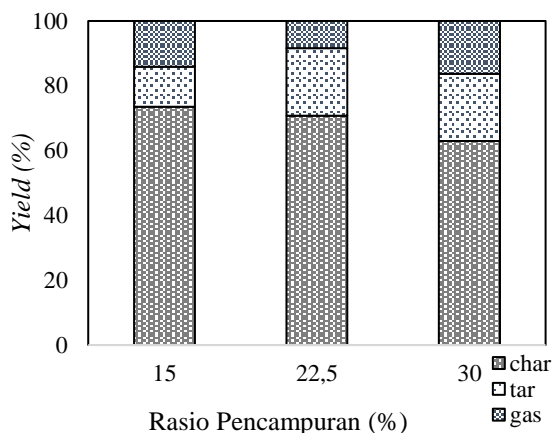
$$massa\ gas = massa\ sampel - massa\ tar - massa\ char \quad (4)$$

Pengaruh Rasio Pencampuran terhadap Yield Co-pyrolysis Lignit dan CKS

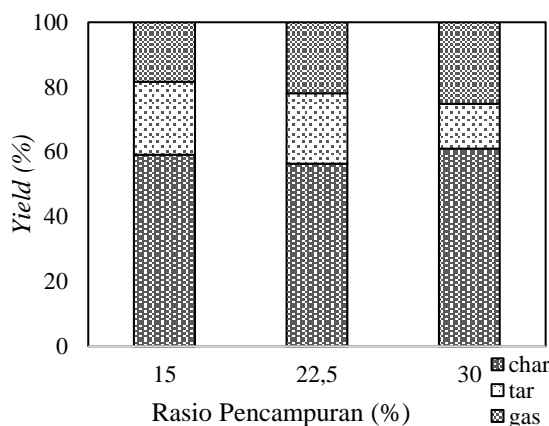
Pada pirolisis biomassa, kandungan selulosa akan meningkatkan produk tar, lignin merupakan komponen utama penghasil produk char dan hemiselulosa berkontribusi pada produk tar dan gas (Naqvi et al., 2019). Namun, kehadiran lignit sebagai bahan baku co-pyrolysis bersama biomassa akan sangat mempengaruhi distribusi produk yang dihasilkan, terlebih jika komposisi lignit yang digunakan lebih besar. Distribusi produk co-pyrolysis pada berbagai rasio pencampuran ditunjukkan pada Gambar 1-3.



Gambar 1. Distribusi Produk Co-pyrolysis Lignit dan CKS pada Temperatur 200°C



Gambar 2. Distribusi Produk Co-pyrolysis Lignit dan CKS pada Temperatur 300°C



Gambar 3. Distribusi Produk Co-pyrolysis Lignit dan CKS pada Temperatur 400°C

Gambar 1-3 menunjukkan kenaikan rasio pencampuran CKS:lignit akan meningkatkan produk tar dan gas, sementara produk char mengalami penurunan. Kenaikan rasio pencampuran mengindikasikan peningkatan jumlah CKS dalam campuran bahan baku, sehingga produk tar turut mengalami peningkatan. Dalam co-pyrolysis campuran lignit dan CKS, kehadiran CKS sebagai biomassa memberikan kontribusi terhadap produk tar. Pada rasio pencampuran biomassa:batubara yang lebih tinggi, yield tar akan mengalami peningkatan (Zullaikah, 2015, Li et al., 2019, Ismail et al., 2020). Yield tar yang dihasilkan dari co-pyrolysis lignit dan CKS hanya berkisar 21,7-44,95%. Hal ini dikarenakan sebagian besar campuran bahan baku terdiri dari lignit, sementara produksi tar akan lebih besar jika komposisi CKS diperbesar. Selain peningkatan tar, produk gas hasil co-pyrolysis kedua campuran ini juga meningkat seiring penambahan CKS. Hal ini dikarenakan adanya kandungan hemiselulosa pada CKS yang terdekomposisi menjadi gas.

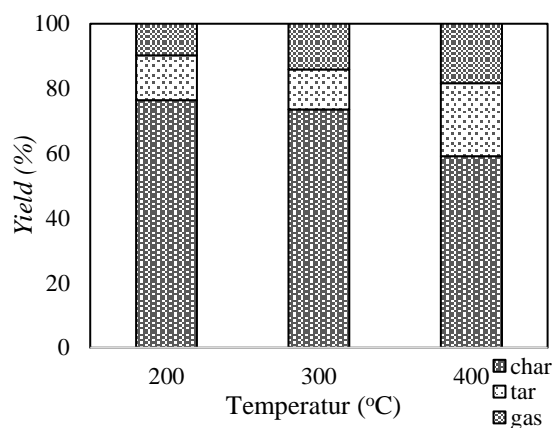
Berbeda dengan hasil produk tar dan gas, peningkatan komposisi CKS akan menurunkan produk char karena komposisi lignit pada bahan baku juga lebih sedikit, sedangkan CKS yang ditambahkan akan lebih banyak terdekomposisi menjadi tar dan gas dibandingkan menjadi char karena kandungan selulosa yang lebih tinggi. Distribusi produk yang sama juga terjadi pada co-pyrolysis lignit dan sekam padi (Li et al., 2019). Akibatnya, peningkatan rasio pencampuran membuat keberadaan lignit sebagai penghasil utama char akan menurun sehingga yield char hasil co-pyrolysis lignit dan CKS juga menurun. Yield char yang dihasilkan berkisar 56,4-81,3% menunjukkan bahwa sebagian besar bahan terkonversi menjadi char.

Campuran biomassa dan batubara dapat memiliki efek sinergis selama proses co-pyrolysis

karena perbedaan komposisi kimia dan struktur dari biomassa dan batubara itu sendiri. Biomassa dapat menyediakan H₂ untuk batubara karena memiliki rasio H/C yang lebih besar (Chen et al., 2020). Pada rasio pencampuran yang lebih tinggi, ketersediaan hidrogen selama *co-pyrolysis* jauh lebih besar. Hidrogen dalam CKS dapat digunakan sebagai donor hidrogen yang dapat mencegah rekombinasi dan reaksi *cross-linking* dari radikal bebas sehingga meningkatkan pembentukan *char* dan mendorong dekomposisi batubara untuk lebih banyak menghasilkan zat *volatile* (Abdelsayed et al., 2019, Wu et al., 2019). Kandungan *volatile* yang dihasilkan dari pencampuran lignit dan biomassa dapat menahan laju perpindahan panas dan menghambat efusi *volatile* selama *co-pyrolysis* berlangsung (Huang et al., 2019). Namun perbedaan terjadi pada temperatur 400°C dimana *yield* tar justru menurun seiring peningkatan rasio pencampuran dan *yield char* meningkat pada rasio pencampuran terbesar yaitu 30%.

Pengaruh Temperatur terhadap Yield *Co-pyrolysis* Lignit dan CKS

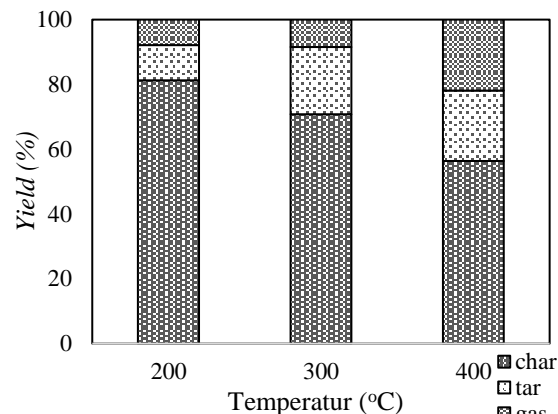
Perbedaan temperatur *co-pyrolysis* yang digunakan turut memberikan distribusi jumlah produk yang berbeda. Distribusi produk *co-pyrolysis* pada variasi rasio pencampuran ditunjukkan pada Gambar 4-6.



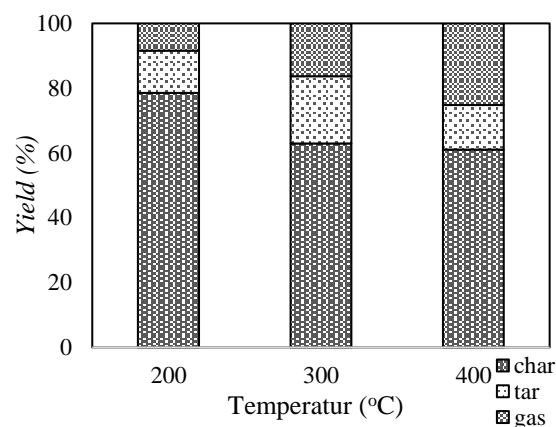
Gambar 4. Distribusi Produk *Co-pyrolysis* Lignit dan CKS pada Rasio Pencampuran 15%

Dari Gambar 4-6 diketahui bahwa kenaikan temperatur *co-pyrolysis* akan meningkatkan produk tar dan gas, sementara produk *char* mengalami penurunan. Meningkatnya produk tar dan gas dengan peningkatan temperatur *co-pyrolysis* dikarenakan laju reaksi dekomposisi meningkat seiring dengan peningkatan temperatur. Pada temperatur yang lebih tinggi, panas yang diterima partikel akan semakin besar sehingga terjadi kenaikan energi. Hal ini menyebabkan lebih banyak terjadi pemutusan rantai polimer membentuk

molekul-molekul yang lebih kecil. Temperatur berpengaruh terhadap proses *co-pyrolysis* karena dengan bertambahnya temperatur maka proses penguraian akan semakin sempurna (Ma et al., 2019).



Gambar 5. Distribusi Produk *Co-pyrolysis* Lignit dan CKS pada Rasio Pencampuran 22,5%



Gambar 6. Distribusi Produk *Co-pyrolysis* Lignit dan CKS pada Rasio Pencampuran 30%

Menurunnya produk padatan seiring dengan peningkatan temperatur dikarenakan lebih banyak produk *co-pyrolysis* yang menjadi tar dan gas akibat lebih banyak pembentukan molekul kecil pada temperatur yang lebih tinggi. Lignoselulosa biomassa tersusun dari matriks dinding sel. Selama *co-pyrolysis*, senyawa organik yang mudah menguap meninggalkan matriks, tetapi dinding sel yang kaya lignin tidak mudah terdevolatilisasi dan tetap utuh setelah pemrosesan termal, sedangkan batubara berasal dari tumbuhan yang terurai selama jutaan tahun dan struktur dindingnya tidak utuh lagi (Abdelsayed et al., 2019). Peningkatan temperatur pada *co-pyrolysis* lignit dan biomassa akan menekan reaksi sekunder (seperti repolimerisasi dan reaksi ikatan silang) dan lebih banyak menghasilkan radikal bebas, sehingga *yield char* akan menurun (Huang et al., 2019).

KESIMPULAN

Co-pyrolysis lignit dan cangkang kelapa sawit dapat menghasilkan produk tar, char dan gas. Peningkatan rasio pencampuran CKS:lignit akan meningkatkan produk tar dan gas, sementara produk char menurun. Begitu pula pada peningkatan temperatur *co-pyrolysis* menghasilkan distribusi produk yang sama dimana tar dan gas lebih banyak dihasilkan pada temperatur yang lebih tinggi, namun produk char akan berkurang. *Yield* tar terbesar diperoleh pada temperatur optimum 400°C dengan komposisi optimum 15%. *Yield* char terbesar diperoleh pada temperatur optimum 200°C dengan komposisi optimum 22,5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Lambung Mangkurat atas hibah penelitian ini berdasarkan Surat Penugasan dengan Kontrak Nomor 008.1/UN8.2/PL/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- ABDELSAYED, V., ELLISON, C. R., TRUBETSKAYA, A., SMITH, M. W. & SHEKHAWAT, D. 2019. Effect of microwave and thermal *co-pyrolysis* of low-rank coal and pine wood on product distributions and char structure. *Energy & Fuels*, 33, 7069-7082.
- AKYÜREK, Z. 2019. Sustainable Valorization of Animal Manure and Recycled Polyester: *Co-pyrolysis* Synergy. *Sustainability*, 11, 2280.
- BRITISH PETROLEUM COMPANY, L. 2019. *BP Statistical Review of World Energy*, British Petroleum Company, Limited.
- CHEN, X., LIU, L., ZHANG, L., ZHAO, Y., QIU, P. & RUAN, R. 2020. A review on the properties of copyrolysis char from coal blended with biomass. *Energy & Fuels*, 34, 3996-4005.
- HOSSAIN, M., ISLAM, M., RAHMAN, M., KADER, M. & HANIU, H. 2017. Biofuel from *co-pyrolysis* of solid tire waste and rice husk. *Energy Procedia*, 110, 453-458.
- HUANG, Y., WANG, N., LIU, Q., WANG, W. & MA, X. 2019. *Co-pyrolysis* of bituminous coal and biomass in a pressured fluidized bed. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 27, 1666-1673.
- ISMAIL, T. M., BANKS, S., YANG, Y., YANG, H., CHEN, Y., BRIDGWATER, A., RAMZY, K. & ABD EL-SALAM, M. 2020. Coal and biomass *co-pyrolysis* in a fluidized-bed reactor: Numerical assessment of fuel type and blending conditions. *Fuel*, 275, 118004.
- KAN, T., STREZOV, V. & EVANS, T. J. 2016. Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1126-1140.
- KIM, S.-J., JUNG, S.-H. & KIM, J.-S. 2010. Fast pyrolysis of palm kernel shells: influence of operation parameters on the bio-oil yield and the yield of phenol and phenolic compounds. *Bioresource technology*, 101, 9294-9300.
- LI, Y., HUANG, S., WANG, Q., LI, H., ZHANG, Q., WANG, H., WU, Y., WU, S. & GAO, J. 2019. Hydrogen transfer route and interaction mechanism during *co-pyrolysis* of Xilinhot lignite and rice husk. *Fuel Processing Technology*, 192, 13-20.
- MA, Z., YANG, Y., MA, Q., ZHOU, H., LUO, X., LIU, X. & WANG, S. 2017. Evolution of the chemical composition, functional group, pore structure and crystallographic structure of bio-char from palm kernel shell pyrolysis under different temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 127, 350-359.
- MA, Z., YANG, Y., WU, Y., XU, J., PENG, H., LIU, X., ZHANG, W. & WANG, S. 2019. In-depth comparison of the physicochemical characteristics of bio-char derived from biomass pseudo components: Hemicellulose, cellulose, and lignin. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 140, 195-204.
- MUIGAI, H. H., CHOUDHURY, B. J., KALITA, P. & MOHOLKAR, V. S. 2020. *Co-pyrolysis* of biomass blends: Characterization, kinetic and thermodynamic analysis. *Biomass and Bioenergy*, 143, 105839.
- MUKHERJEE, A., LAL, R. & ZIMMERMAN, A. 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*, 487, 26-36.
- NANDA, S., DALAI, A. K., BERRUTI, F. & KOZINSKI, J. A. 2016. Biochar as an exceptional bioresource for energy, agronomy, carbon sequestration, activated carbon and specialty materials. *Waste and Biomass Valorization*, 7, 201-235.
- NAQVI, S. R., HAMEED, Z., TARIQ, R., TAQVI, S. A., ALI, I., NIAZI, M. B. K., NOOR, T., HUSSAIN, A., IQBAL, N. & SHAHBAZ, M. 2019. Synergistic effect on *co-pyrolysis* of rice husk and sewage sludge by thermal behavior, kinetics, thermodynamic

- parameters and artificial neural network. *Waste Management*, 85, 131-140.
- PINTO, F., MIRANDA, M. & COSTA, P. 2015. *Co-pyrolysis* of wastes mixtures obtained from rice production: upgrading of produced liquids. *Chemical Engineering Transactions*, 43, 2053-2058.
- QIAN, K., KUMAR, A., ZHANG, H., BELLMER, D. & HUHNKE, R. 2015. Recent advances in utilization of biochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1055-1064.
- SASONGKO, D., WULANDARI, W., RUBANI, I. S. & RUSYDIANSYAH, R. 2017. Effects of biomass type, blend composition, and *co-pyrolysis* temperature on hybrid coal quality. *AIP Conference Proceedings*, 1805, 040009.
- SONCINI, R. M., MEANS, N. C. & WEILAND, N. T. 2013. *Co-pyrolysis* of low rank coals and biomass: Product distributions. *Fuel*, 112, 74-82.
- UZOEJINWA, B. B., HE, X., WANG, S., ABOMOHRA, A. E.-F., HU, Y., HE, Z. & WANG, Q. 2019. *Co-pyrolysis* of macroalgae and lignocellulosic biomass. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136, 2001-2016.
- WEI, L.-G., ZHANG, L. & XU, S.-P. 2011. Effects of feedstock on *co-pyrolysis* of biomass and coal in a free-fall reactor. *Journal of fuel chemistry and technology*, 39, 728-734.
- WU, Z., MA, C., JIANG, Z. & LUO, Z. 2019. Structure evolution and gasification characteristic analysis on *co-pyrolysis* char from lignocellulosic biomass and two ranks of coal: Effect of wheat straw. *Fuel*, 239, 180-190.
- ZHANG, L., XU, S., ZHAO, W. & LIU, S. 2007. *Co-pyrolysis* of biomass and coal in a free fall reactor. *Fuel*, 86, 353-359.
- ZULLAIKAH, S. *Co-pyrolysis* Characteristics of Indonesia Low Rank Coal and Oil Palm Empty Fruit Bunch. Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan, 2015. 10-1-J10. 8.