

Available online at: <http://reactor.poltekatiptd.ac.id/>

**REACTOR**  
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



# Pengaruh Kondisi Temperatur Pirolisis Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Komposisi Produk Tar

Dennis Farina Nury<sup>1</sup>, Muhammad Zulfikar Luthfi<sup>2</sup>, Siti Zullaikah<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, 35265, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang-Tabing, Padang, 25171, Indonesia

<sup>3</sup> Departemen Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

## ARTICLE INFORMATION

Received: May 29, 2022

Revised: June 27, 2022

Available online: June 30, 2022

## KEYWORDS

Biomass Waste, Droptube Reactor, EFB, Phenol, Pyrolysis

## CORRESPONDENCE

Name: Dennis Farina Nury

E-mail: [dennis.nury@tk.itera.ac.id](mailto:dennis.nury@tk.itera.ac.id)

## A B S T R A C T

Oil palm empty fruit bunch (EFB) is one of the biomass wastes that have a great potential of a bioenergy resource due to its natural properties, such as high calorific value. The conversion of EFB biomass into valuable biofuels can be achieved through biochemical and thermochemical processes. Tar (bio-oil), the liquid product from the pyrolysis is one of the most attractive biofuels. The study aims to determine the effect of temperature process of pyrolysis EFB on its tar production under droptube reactor. The results showed that maximum tar yield was 43,80% obtained at 500 °C. The EFB tar produced at 500 °C was also determined to have a higher of phenol compound at 51,9%. The high phenolic content indicates its potential to be used for the production of renewable phenolic resins. Hence, the present work of pyrolysis of EFB presents itself as a promising method to produce phenol rich tar (bio-oil) from biomass waste.

## PENDAHULUAN

Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peran penting dalam perekonomian di Indonesia. Dalam setiap kegiatan produksi agroindustri kelapa sawit, juga dihasilkan limbah biomassa sebagai produk samping. Limbah biomassa memiliki volume yang cukup besar, diantaranya berupa cangkang sawit sebanyak 5,5-8%, tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebesar 20-23%, pelepah sawit sebesar 13,5-15% dan serat sawit sebesar 15% dari total tandan buah segar (TBS) yang diproduksi [1]. Prosentase tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai limbah biomassa produk pengolahan kelapa sawit yang cukup besar dapat dijadikan alternatif sumber energi terbarukan dan untuk menjaga kelestarian lingkungan di Indonesia.

Teknologi pirolisis merupakan teknik yang tepat untuk meningkatkan nilai mutu dari limbah TKKS dengan memproduksi *bio-oil* [2]. Pirolisis merupakan dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan pada

kisaran temperatur 400-600 °C tanpa adanya oksigen, sehingga dihasilkan *char*, gas dan tar [3]. Salah satu produk akhir dari proses pirolisis adalah tar yang berupa *liquid* berwarna coklat sampai kehitam-hitaman dan merupakan campuran yang kompleks terdiri dari senyawa alifatik, aromatik, *alicyclic*, dan *heterocyclic* yang berpotensi sebagai *fuel oil* ataupun bahan baku kimia industri [4].

Hasil dan sifat dari produk pirolisis TKKS yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh parameter proses seperti desain reaktor pirolisis, variabel reaksi (temperatur, laju pemanasan, waktu tinggal, tekanan dan katalis) serta karakteristik (ukuran partikel, bentuk dan struktur) TKKS. Temperatur operasi pirolisis TKKS merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap produk *Bio-oil*, *bio-char* dan gas [1]. Semakin tinggi temperatur, maka hasil produk *liquid* akan semakin besar, namun pada kenaikan temperatur tertentu dapat menurunkan produk *liquid* yang diperoleh [5].

Untuk mengetahui adanya pengaruh temperatur operasi terhadap perolehan produk pirolisis biomassa TKSS,

beberapa peneliti telah melakukan penelitian diantaranya, Mardiah et al. (2014) melaporkan pada penelitian co-pirolisis TKKS dan batubara kualitas rendah dengan memvariasikan temperatur operasi (300, 400, 500, 600 dan 700 °C). Dari penelitian tersebut diperoleh hasil terbaik pada kondisi operasi suhu 400 °C, yield produk *liquid* meningkat 24,47% dan dari Analisa GCMS diperoleh senyawa mengandung benzen dan turunannya, *polycyclic aromatic hydrocarbon*, alkana, alkohol, aldehid dan keton [6].

Zullaikah et al. [4] melaporkan pada penelitian co-pirolisis TKKS dan batubara menggunakan reaktor *droptube* dengan kondisi operasi 1 jam dan temperatur 500°C dan variasi rasio bahan baku (100/0; 75/25; 50/50; 25/75 dan 0/100 % wt). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi *blending ratio*, yield produk *liquid* yang diperoleh semakin meningkat, sedangkan gas dan char menurun. Hasil terbaik produk *liquid* diperoleh pada kondisi rasio batubara : TKKS =25:75, dengan *yield* sebesar 28.69%. Berdasarkan analisa dengan GC-MS terdapat senyawa yang mengandung *phenol* dan hidrokarbon aromatis [4]. Sembiring et al. [7] melakukan penelitian *fast pyrolysis* TKKS pada *fluidized bed reactor* untuk memperoleh produk *bio oil* tertinggi yaitu 27% dari temperatur operasi optimum 500°C dengan ukuran partikel 70 mesh. Temperatur operasi pirolisis yang lebih tinggi menyebabkan produk *bio oil* rendah. hasil GC-MS terkandung senyawa golongan fenol, keton, aldehid dan alkohol [7].

Berdasarkan studi literatur yang telah dijelaskan, akan dilakukan penelitian mengenai pirolisis TKKS dengan memvariasikan kondisi operasi temperatur serta untuk mengetahui karakteristik produk *liquid* yang dihasilkan untuk dijadikan menjadi bahan bakar cair.

## METODOLOGI

### Bahan Baku

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) diperoleh dari perkebunan kelapa sawit di daerah Samarinda, Kalimantan Timur. Ukuran partikel TKKS direduksi dengan distribusi ukuran 149µm – 2,38mm. Massa TKKS yang digunakan dalam proses pirolisis yaitu 100 gram.

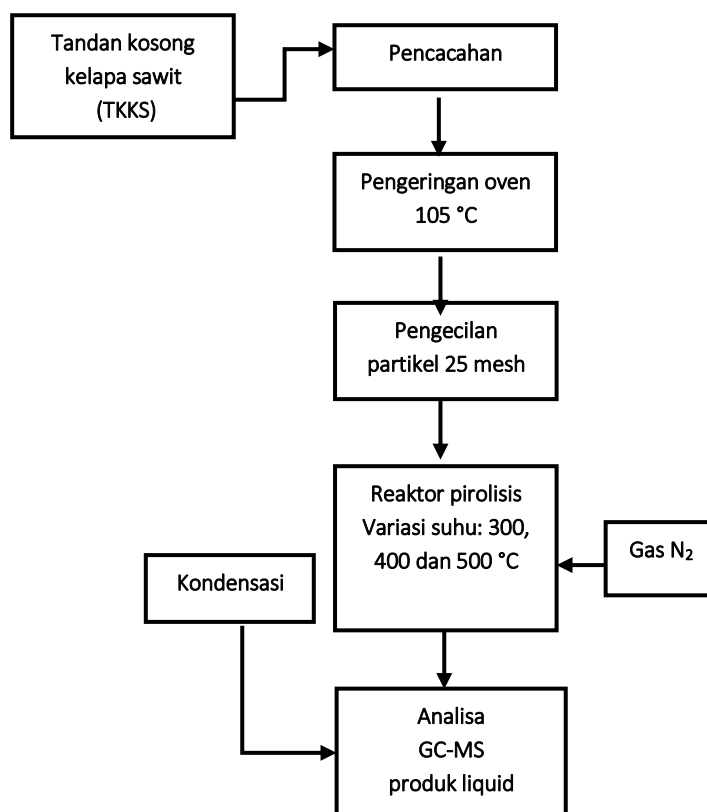
Komposisi kimia bahan baku dapat dilihat pada Tabel 1. Analisa *Proximate* mengacu pada ASTM D-5142-09 dan *Ultimate* mengacu pada ASTM D-5373-08. Untuk analisa nilai kalor menggunakan alat *Bomb Calorimeter* PARR 1261 mengacu pada ASTM D3286-85 seperti pada penelitian [4].

Tabel 1. Analisa *Proximate* dan *Ultimate* TKKS

Parameter Analisa	Nilai
<i>Analisa Proximate</i>	
% Moisture content	7.17
% Ash	12.00
% Volatile matter	77.09
% Fixed Carbon	28.00
<i>Analisa Ultimate</i>	
% Carbon	42.23
% Hydrogen	6.32
% Sulphur	0.23
% Oxygen	51.21
HHV (MJ/kg)	14.32

### Pirolisis TKKS

Prinsip dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh variasi kondisi temperatur pirolisis tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap perolehan *yield* produk char, tar dan gas.

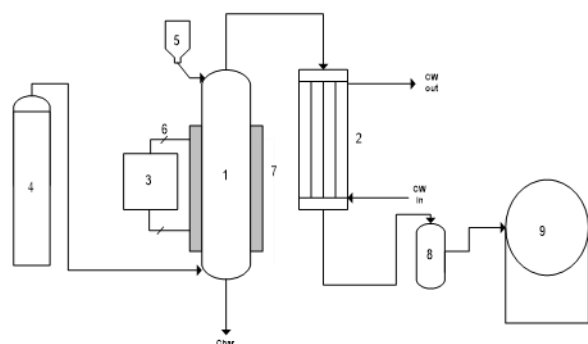


Gambar 1. Diagram Alir Proses Pirolisis TKKS

### Reaktor Droptube

Proses pirolisis dilakukan pada reaktor tipe *Droptube* dengan dimensi panjang 90 cm, OD 2 inch dan ketebalan dinding 6 mm dengan bahan *stainless steel* 216 H. Reaktor dilengkapi dengan 3 *thermocouple* tipe K yang diletakkan di sela-sela reaktor, *bend heater* yang menutupi 30 cm permukaan reaktor bagian tengah dengan temperatur operasi mencapai 1200 °C, sebuah kondensator untuk kondensasi dan *hopper* yang diletakkan

di atas reaktor sebagai penampung bahan baku. Adapun skema reaktor *Droptube* [4] dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema reaktor *Droptube*

Keterangan :

1. Reaktor Pirolisis
2. Kondensator
3. Controller
4. Tabung gas N<sub>2</sub>
5. Hopper
6. Thermocouple
7. Heater
8. Tar Trap
9. Gas bag

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Produk Pirolisis TKKS

Selama proses pirolisis, temperatur dijaga konstan dan gas *carrier* nitrogen dialirkan ke dalam reaktor dengan *rate* konstan. Proses pirolisis ini berlangsung selama 1 jam. Tar ditampung dengan cara mengkondensasikan gas yang terbentuk dengan air sebagai pendingin. Produk *char* yang diperoleh ditimbang setelah pirolisis selesai dan reaktor didinginkan dalam temperatur ruangan. Untuk mendapatkan tar, produk *liquid* terlebih dahulu dipisahkan menggunakan *rotary vacuum evaporator* pada temperatur 60 °C [8]. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tar hasil pirolisis TKKS

*Liquid* atau cairan hasil pirolisis merupakan gabungan antara produk cair (terdiri atas asam pirolignat atau cuka kayu) dan fase minyak (*pyrolytic oil*). Produk cair juga dikenal dengan istilah asap cair (*liquid smoke*) yang

dalam pengaplikasiannya banyak digunakan sebagai bahan pengawet makanan. Fase minyak (*pyrolytic oil*) inilah yang selanjutnya disebut sebagai tar atau *bio oil* [2].

Hasil produk pirolisis TKKS yang selanjutnya disebut sebagai *yield* yang merupakan persentase perbandingan antara berat bagian yang dapat dimanfaatkan dengan total bahan. Perhitungan *yield* produk dengan rumus [4]:

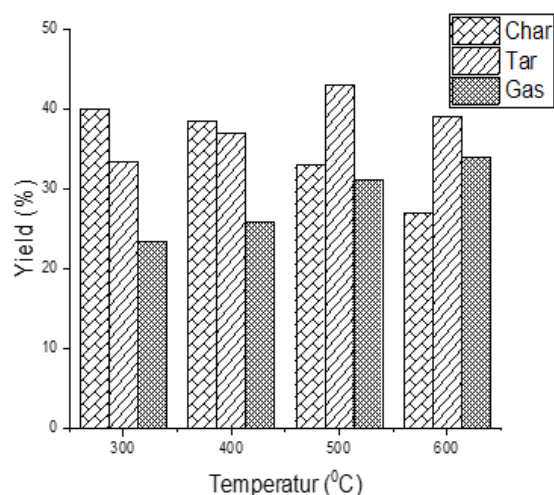
$$\text{Yield Char} = \frac{\text{Massa Char}}{\text{Massa bahan baku}} \times 100\%$$

$$\text{Yield Tar} = \frac{\text{Massa tar}}{\text{Massa bahan baku}} \times 100\%$$

$$\text{Yield Gas} = \frac{\text{Massa Gas}}{\text{Massa bahan baku}} \times 100\% \quad [4]$$

### Pengaruh Temperatur terhadap Yield Produk Pirolisis

Dari pengujian yang dilakukan dengan 4 variasi temperatur yaitu 300, 400, 500 dan 600 °C, diperoleh prosentase *yield* produk sebagai yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Perolehan Yield Pirolisis TKKS

Pada Gambar 4 dapat dilihat perolehan produk gas, *liquid* dan *char* dari pirolisis pada variasi temperatur 300, 400, 500 dan 600 °C. Dengan meningkatnya temperatur reaksi, *yield* gas dan tar meningkat sedangkan *yield char* mengalami penurunan. Hal ini dapat dijelaskan karena biomassa TKKS memiliki kandungan *volatile matter* lebih tinggi berdasarkan analisa *proximate*. Selain itu, baik selulosa, hemiselulosa dan lignin memiliki struktur makromolekular sebagai biomassa berkayu yang masing-masing strukturnya dihubungkan dengan ikatan eter (R-O-R). Ikatan eter memiliki energi ~380-420 kJ/mol [9], [10].

Terdapat pengaruh temperatur terhadap hasil *yield* pirolisis. *Yield* produk *char* memiliki kecenderungan penurunan seiring dengan meningkatnya temperatur,

yaitu terjadi penurunan pada temperatur 300<sup>o</sup>C-600<sup>o</sup>C. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zullaikah, et al pada tahun 2018 [4]. Char yang menurun menunjukkan bahwa bahan baku terdekomposisi lebih banyak seiring dengan meningkatnya temperatur. Char hasil pirolisis TKSS mengalami penurunan dari 90,32 gr (40,87%) pada temperatur 300 °C dan terus menurun menjadi 55,2gr (26,65%) pada temperatur 600 °C. Hal ini dapat disebabkan karena semakin tingginya temperatur maka waktu yang diperlukan untuk proses dekomposisi termal semakin pendek sehingga gas yang dihasilkan sedikit.

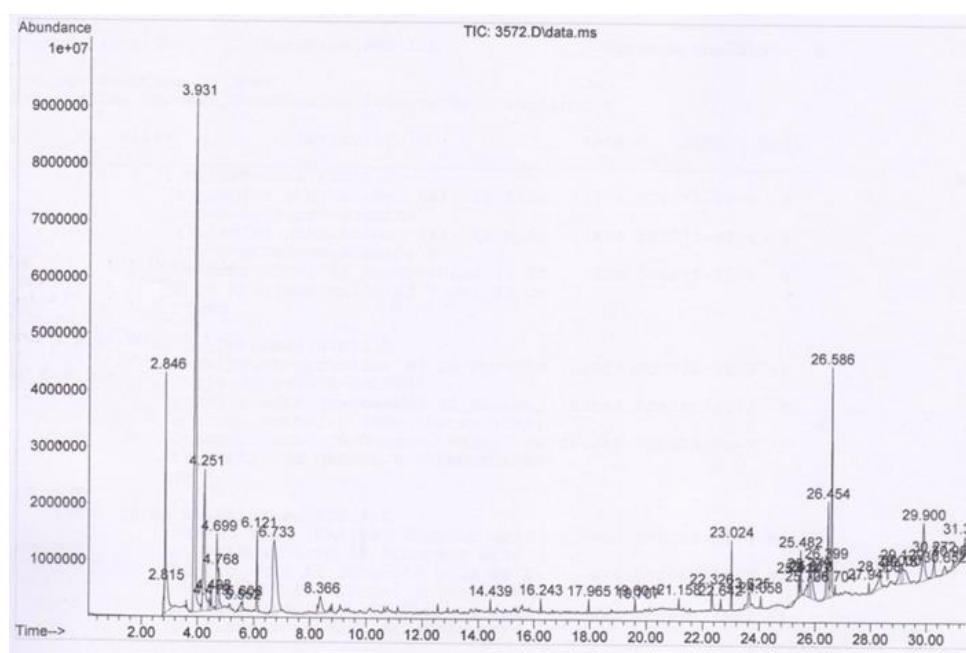
Hasil berbeda ditunjukkan *yield* produk tar, dimana *yield* tar cenderung meningkat dengan meningkatnya temperatur proses pirolisis. *Yield* terbesar dihasilkan pada temperatur 500<sup>o</sup>C. *Yield* produk tar TKKS sebesar 32,62 % diperoleh pada temperatur reaksi 300 °C dan terus meningkat menjadi 43,80 % pada temperatur 500 °C. *Yield* produk tar kembali sedikit turun pada temperatur 600 °C sebesar 38,41%. Hal ini disebabkan karena makin tingginya temperatur pirolisis, komponen biomassa (selulosa, hemiselulosa dan lignin) yang terdekomposisi semakin banyak [5]. Selulosa dan hemiselulosa mulai terdekomposisi pada kisaran

temperatur 300 °C dan terdekomposisi secara menyeluruh pada kisaran temperatur 450-500 °C. Sedangkan lignin baru mulai terdekomposisi pada kisaran temperatur 350<sup>o</sup>C- 400<sup>o</sup>C [4], [11].

Sementara *yield* produk gas dari TKKS sebesar 22,52 % diperoleh pada temperatur reaksi 300 °C dan meningkat menjadi 32,06 % pada temperatur 600 °C. Hal ini sesuai pula dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya bahwa semakin meningkatnya temperatur reaksi maka perolehan gas biomassa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) juga meningkat dengan *yield* gas biomassa tertinggi berturut-turut sekitar 15% dan 60% pada temperatur 500 °C [4].

#### **Kandungan Senyawa Produk Liquid GC-MS**

Perolehan *yield* produk tar TKKS terbesar ada pada temperatur operasi pirolisis 500 °C, dikarenakan biomassa TKKS memiliki kandungan volatile matter tinggi berdasarkan hasil tabel analisa proximate. Tar yang diperoleh pada penelitian ini berwarna coklat kekuningan tetapi karena mudah teroksidasi maka warnanya berubah menjadi coklat kehitaman.



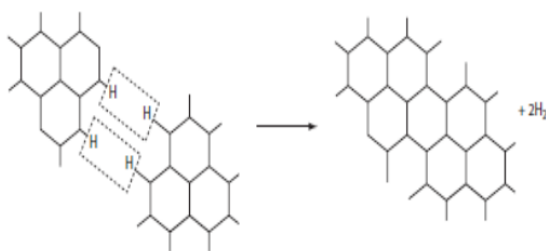
Gambar 5. Kromatogram GC-MS tar pada temperatur 500 °C

Senyawa alkana dapat digunakan sebagai *petroleum based oil*. Senyawa asam dan ester dapat digunakan sebagai bahan baku emulsifier atau oiling agents pada makanan, spin finishes dan tekstil, pelumas pada plastik, cat dan ink additives, surfaktan dan bahan baku parfum, terdapat pula senyawa methyl ester yang merupakan penyusun biodiesel [12]–[14]. Polisiklik

aromatis hidrokarbon seperti Naphtalene dapat digunakan sebagai zat additive [14].

*Cross-linking* atau reaksi sekunder merupakan reaksi yang tidak diharapkan dalam pembentukan tar. Karena pada reaksi ini senyawa pembentuk tar cenderung mengalami cracking pada temperatur tinggi. Hasilnya

adalah pembentukan gas sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Reaksi pembentukan gas dan coke

Tabel 2. Identifikasi Produk Tar TKKS pada temperatur 500°C

No	RT (min)	%area	Senyawa
<b>Phenol</b>			
3	3.9313	29.2502	Phenol
9	6.7359	18.9115	Phenol, 2-methyl
10	8.3636	3.7513	Phenol, 3-methyl
<b>51.9131</b>			
<b>Alkana</b>			
5	4.4204	0.4893	Ethane
6	4.4968	0.5540	Butane
11	14.439	0.3115	Tetradecane
12	16.2425	0.3315	pentadecane
13	17.9619	0.3586	Hexadecane
14	19.5973	0.3263	Heptadecane
15	19.7043	0.3029	Undecane
16	21.1563	0.3065	Octadecane
17	22.6388	0.2966	Tridecane
20	24.0602	0.4536	Eicosane
24	26.7044	0.2829	Eicosane
25	27.9424	0.3180	Octacosane
28	29.1269	0.9479	Hexadecane
30	30.2732	1.1083	Octadecane
31	30.9609	0.4447	Hexadecane
<b>6.8324</b>			
<b>Asam dan Ester</b>			
2	2.8461	7.9130	Carbamic acid, methyl-, ethyl ester
4	4.2523	8.5267	Propanoic acid
8	4.7719	1.7175	Butanoic acid
18	23.0209	1.5744	Hexadecanoic acid, methyl ester
19	23.6246	1.3302	13-Octadecenoic acid
21	25.4816	1.1981	11-Octadecenoic acid, methyl ester
23	26.5897	6.9418	9,12-Octadecadienoic acid
26	28.3092	1.7209	2-Methyl-Z, Z-3,13-octadecadienol
27	29.0275	1.2179	10-Nonadecenoic acid

29	29.1804	2.0390	Oleic acid
<b>34.1795</b>			
			<b>Polisiklik aromatik hidrokarbon</b>
7	4.6955	3.1362	Acetamide
<b>3.1362</b>			

## KESIMPULAN

Pengaruh temperatur operasi terhadap produk hasil pirolisis yaitu yield *bio-oil* semakin meningkat seiring naiknya temperatur, yield *bio-char* fluktuatif terhadap temperatur dan yield gas semakin tinggi seiring turunnya temperatur. Perolehan komposisi berdasarkan Analisa GC-MS dari *bio-oil* didominasi oleh senyawa diantaranya dari golongan fenol (51,9131 %area), asam dan ester (34,1795 %area), alkana (6,8324 %area), serta *polycyclic aromatic hydrocarbon* (3,1362 %area).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Febriyanti, N. Fadila, A. S. Sanjaya, Y. Bindar, and A. Irawan, "Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis," *J. Chemurg.*, vol. 3, no. 2, p. 12, 2019, doi: 10.30872/cm.g.v3i2.3578.
- [2] M. N. Uddin *et al.*, "An overview of recent developments in biomass pyrolysis technologies," *Energies*, vol. 11, no. 11, 2018, doi: 10.3390/en11113115.
- [3] M. A. Sukiran, L. S. Kheang, N. A. Bakar, and C. Y. May, "Production and characterization of bio-char from the pyrolysis of empty fruit bunches," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 8, no. 10, pp. 984–988, 2011, doi: 10.3844/ajassp.2011.984.988.
- [4] S. Zullaikah, A. S. Lenggono, D. F. Nury, and M. Rachimoallah, "Effect of blending ratio to the liquid product on co-pyrolysis of low rank coal and oil palm empty fruit bunch," *MATEC Web Conf.*, vol. 156, pp. 0–4, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201815603023.
- [5] A. Hai *et al.*, "Pyrolysis of different date palm industrial wastes into high-quality bio-oils: A comparative study," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 23, no. 1, pp. 55–64, 2021, doi: 10.1007/s10098-020-01888-x.
- [6] M. Mardiah and U. Mulawarman, "Studi peningkatan yield tar co-pirolisis batubara dan TKKS," no. May 2014, 2019.
- [7] K. C. Sembiring, N. Rinaldi, and S. P. Simanungkalit, "Bio-oil from Fast Pyrolysis of Empty Fruit Bunch at Various Temperature," *Energy Procedia*, vol. 65, pp. 162–169, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.01.052.

- [8] M. Z. Luthfi and J. Jerry, "Ekstraksi Minyak Gaharu dengan Pelarut Etanol secara Maserasi," *React. J. Res. Chem. Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 36, 2021, doi: 10.52759/reactor.v2i2.39.
- [9] T. T. Cuong *et al.*, "Renewable energy from biomass surplus resource: potential of power generation from rice straw in Vietnam," *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 792, 2021, doi: 10.1038/s41598-020-80678-3.
- [10] F. L. Pua, M. S. Subari, L. W. Ean, and S. G. Krishnan, "Characterization of biomass fuel pellets made from Malaysia tea waste and oil palm empty fruit bunch," *Mater. Today Proc.*, vol. 31, no. xxxx, pp. 187–190, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.218.
- [11] L. M. Terry *et al.*, "Bio-oil production from pyrolysis of oil palm biomass and the upgrading technologies: A review," *Carbon Resour. Convers.*, vol. 4, no. October, pp. 239–250, 2021, doi: 10.1016/j.crcon.2021.10.002.
- [12] L. Jin, H. Zhao, M. Wang, B. Wei, and H. Hu, "Effect of temperature and simulated coal gas composition on tar production during pyrolysis of a subbituminous coal," *Fuel*, vol. 241, pp. 1129–1137, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.12.093>.
- [13] Q. Song *et al.*, "Study on the catalytic pyrolysis of coal volatiles over hematite for the production of light tar," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 151, p. 104927, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2020.104927>.
- [14] C. Shao *et al.*, "Polycyclic aromatic hydrocarbons in pyrolysis of gasoline surrogates (n-heptane/isooctane/toluene)," *Proc. Combust. Inst.*, vol. 37, no. 1, pp. 993–1001, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.06.087>.