

Pengaruh Aliran Nitrogen Kontinyu ke Dalam Reaktor Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Batang Kelapa (*Cocos Nucifera*) Terhadap Nilai Kalor.

*The effect of continuous nitrogen flow into the pyrolysis reactor of coconut stem sawdust (*Cocos nucifera*) biomass waste on calorific value*

Syarwan Hamid¹, Andi Aladin^{2*}, Basri Modding³ Takdir Syarif², Lastris Wiyani², Muh Arman²

¹Mahasiswa Magister Teknik Kimia, PPs Universitas Muslim Indonesia, Makassar

²Dosen Teknik Kimia, Fakultas Teknoolgi Industri Universitas Muslim Indonesia, Makassar.

³Dosen Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Kata Kunci : *Limbah biomassa, batang kelapa, Gas Inert Nitrogen, Arang, Pirolisis*

Key Words : *Biomass waste, Ironwood, Nitrogen, Charcoal, Pyrolysis*

Inti Sari

Potensi jumlah biomassa serbuk gergaji batang kelapa di Indonesia sangat besar, selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal dan cenderung terbuang sebagai limbah. Serbuk gergaji batang kelapa dengan komposisi utama karbon mengandung kalor setara batubara muda yaitu sekitar 4400 kkal/kg. Walaupun nilai kalornya masih rendah namun potensi dijadikan sumber bahan bakar padat atau sumber energi alternatif. Nilai kalor serbuk gergaji batang kelapa tersebut dapat ditingkatkan melalui proses pirolisis. Dilakukan penelitian pengaruh gas inert nitrogen yang dialirkan secara kontinyu ke dalam reaktor pirolisis limbah biomassa serbuk gergaji batang kelapa (*cocos nucifera*) terhadap nilai kalor charcoal yang dihasilkan. Tujuan penelitian ingin menentukan efek dan lajur alir optimum gas inert nitrogen yang memberikan nilai kalor produk charcoal yang maksimum. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa pengaliran secara kontinyu gas inert nitrogen ke dalam reaktor pirolisis berpengaruh terhadap peningkatan nilai kalor produk charcoal mencapai 4% dibanding tanpa menggunakan gas inert tersebut. Laju alir gas nitrogen optimum adalah 2 L/menit memberikan nilai kalor yang sudah efektif maksimum sebesar 7200 kkal/kg.

Abstract

The potential amount of coconut sawdust biomass in Indonesia is very abundant so far it has not been utilized optimally and tends to be wasted as waste. Coconut sawdust with the main composition of carbon contains heat equivalent to light coal, which is around 4400 kcal/kg. Even though its calorific value is still low, it has the potential to be used as a solid fuel source or an alternative energy source. The calorific value of coconut sawdust can be increased through the pyrolysis process. A study has been carried out on the effect of

Published by
Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address
Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan
Email :
jcpe@umi.ac.id

***Corresponding Author**
andi.aladin@umi.ac.id



Journal History
Paper received : 28 November 2022
Received in revised : 4 Februari 2023
Accepted : 8 Mei 2023

nitrogen inert gas flowing continuously into the pyrolysis reactor of coconut sawdust biomass waste (Cocos nucifera) on the calorific value of the resulting charcoal. The aim of the research is to determine the effect and optimum flow path of nitrogen inert gas which gives the maximum calorific value of charcoal product. From this study it was concluded that the continuous flow of inert nitrogen gas into the pyrolysis reactor had an effect on increasing the calorific value of the charcoal product by up to 4% compared to not using the inert gas. The optimum nitrogen gas flow rate is 2 L/minute giving a maximum effective calorific value of 7200 kcal/kg

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara terluas di dunia yang memiliki area tanaman kelapa yaitu dengan luas mencapai 3.700 juta ha, dengan produksi tanaman perkebunan kelapa mencapai 2,853 juta ton pertahun 2021[1]

Seiring dengan potensi produk kelapa yang amat besar itu, juga memberikan produk batang kelapa yang amat besar pula[2]. Batang kelapa banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan rumah atau keperluan lainnya[3]. Pengolahan batang kelapa menjadi papan atau balok diproses menggunakan mesin gergaji, namun menyisahkan limbah serbu gergaji yang jumlahnya tidak sedikit [4]. Serbuk gergaji batang kelapa dengan komposisi utama karbon mengandung kalor setara batubara muda yaitu sekitar 4400 kkal/kg (ADB) [5]. Walaupun nilai kalornya masih rendah namun potensi dijadikan sumber bahan bakar padat atau sumber energi alternatif [6]

Nilai kalor serbuk gergaji batang kelapa tersebut dapat ditingkatkan melalui proses pirolisis [7]. Istilah pirolisis berasal dari kata *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi[8]. Secara umum *pirolisis* didefinisikan sebagai proses degradasi atau penguraian senyawa-senyawa makromolekul berbasis karbon dengan pemanasan suhu tinggi (300 °C atau lebih) tanpa atau minim oksigen untuk menghasilkan *charcoal* (arang terkarbonisasi), gas/uap, cairan tar (oil). [9]

Secara umum produk utama dari proses pirolisis bahan biomassa berbasis organik atau karbon adalah char (padatan), *bio-oil* (tar, cairan) dan gas Char atau lebih sering disebut *carcoal* yaitu arang terkarbonisasi berwujud padatan dengan karbon sebagai komposisi utamanya sehingga padat kalori manfaat utamanya sebagai bahan bakar padat [6]

Limbah serbuk gergaji batang kelapa memungkinkan dipirolisis menggunakan reaktor pirolisis simultan [5] menghasilkan dua produk simulthan yaitu arang terkarbonisasi (*charcoal*) dan

asap cair (liquid smoke) ekonomi. Kedua produk pirolisis biomassa ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi[10]. *Charcoal* memiliki nilai ekonomi sebagai bahan bakar padat dengan kandungan kalor sudah setara dengan batubara kelas subituminous hingga bituminous. [11]. *Charcoal* dapat juga dijadikan sebagai absorben dalam pengolahan pangan misalnya dalam penjernihan Virgin Coconut Oil (VCO) disamping juga sebagai absorben dalam pengolahan limbah cair di industri [5]

Variabel yang berpengaruh dalam proses pirolisis seperti suhu dan waktu pirolisis, ukuran bahan, rasio bahan terhadap volume reaktor dan kandungan konsentrasi udara (oksigen) dalam reaktor pirolisis[12]. Seperti dalam definisi di atas bahwa pirolisis proses degradasi dengan panas tinggi namun harus minim oksigen[13]. Makin minim kandungan oksigen dalam reaktor makin sempurna proses pirolisis tersebut[9]. Metode untuk meminimalisasi atau bahkan mengosongkan oksigen dalam reaktor pirolisis adalah dengan cara menambahkan atau mengalirkan gas inert seperti gas nitrogen atau gas argon ke dalam reaktor[6]. Reaktor "*pirolisis simultan*" yang telah dirancang oleh [5], didesain sedemikian rupa sehingga bisa dialiri gas inert masuk ke dalam tabung reaktor secara efektif dan safety[14].

Pengaliran gas inert secara kontinyu ke dalam reaktor pirolisis dimaksudkan untuk mengusir gas oksigen yang ada dalam reaktor dan oksigen yang masuk melalui pipa kondensor selama proses pirolisis berlangsung[11]. Semakin minim gas oksigen di dalam reaktor akan semakin tinggi kualitas produk arang[9]. Semakin minim gas oksigen di dalam reaktor semakin lebih sempurna proses pirolisis terjadi sehingga semakin tinggi yield produk asap cair,[15]. Semakin minim kandungan oksigen dalam reaktor semakin sempurna proses pirolisis [16]. Hal ini ditandai semakin memudahkan proses penguapan

moisture dan *volatile matter*. Semakin rendah nilai *moisture* (M) dan *volatile matter* (VM) maka semakin tinggi nilai *fixed carbon* (FC) (persamaan 1) [17]

$$FC (\%) = 100 - (M + VM + Ash) \quad (1)$$

Makin tinggi nilai *fixed carbon* makin tinggi pula nilai kalor. Nilai kalor berbanding lurus dengan kandungan *fixed carbon* suatu bahan[18], dimana unsur karbon memberikan kontribusi kalor tertinggi diantara unsur utama penyusun senyawa karbon biomassa. Makin tinggi kandungan karbon atau *fixed carbon* suatu bahan maka makin tinggi pula nilai kalornya[19], juga menuliskan bahwa nilai kalor dapat diprediksi berdasarkan analisis *proximate*, yaitu komposisi karbon tetap (*fixed carbon*) dan zat mudah menguap (*volatile matter*) dengan persamaan Peele and Chrusch berikut [5]:

$$Q = 14544 FC + 27000 VM \left(1 - \frac{1}{\frac{FC}{VM} + 0,5} \right) \quad (2)$$

dimana Q adalah kalor dalam satuan Btu/lb, FC adalah karbon tetap (%) dan VM adalah zat mudah menguap (%). Lebih lanjut dituliskan bahwa nilai kalor bahan dapat juga diperkirakan berdasarkan analisis *ultimate*, yaitu komposisi karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan sulfur (S)[20] dengan persamaan empirik sebagai berikut :

$$Q = 14600 C + 62000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 4000 S \quad (3)$$

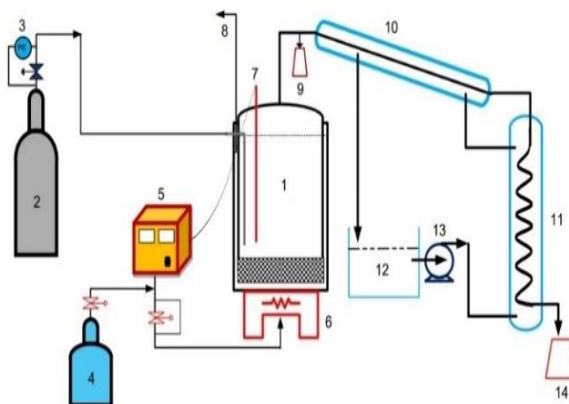
Dari penelitian yang dilakukan (Safrudin, dkk. 2020) menunjukkan pengaruh positif penambahan gas inert nitrogen secara batch kedalam reaktor pirolisis terhadap kualitas produk *charcoal* yang dipirolisis dari bahan baku serbuk gergaji kayu ulin. Demikian juga Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Aladin, et al (2020), menjelaskan pengaruh positif pengaliran gas inert nitrogen secara kontinyu dalam proses pirolisis serbuk gergaji kayu bitu (waktu pirolisis selama 2 jam dan suhu pirolisis 400 °C).

Berdasarkan uraian dan latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian pemanfaatan limbah serbuk batang kelapa sebagai sumber energi alternatif dan sumber biabsorben alternatif, melalui proses pirolisis simulthan. Dalam penelitian ini dibatasi masalah pada pengamatan pengaruh pengaliran gas inert nitrogen secara kontinyu ke dalam reaktor pirolisis, limbah

biomassa serbuk gergaji batang kelapa (*Cocos Nucifera*) terhadap nilai kalor *charcoal* yang di hasilkan. Tujuan penelitian ingin menentukan efek dan lajur alir gas inert nitrogen optimum yang memberikan nilai kalor produk *charcoal* yang maksimum.

METODE PENELITIAN

Bahan utama dalam penelitian adalah limbah serbuk gergaji batang kelapa yang disampling langsung dari pusat pengolahan gergaji kayu batang kelapa di daerah Bulukumba (sulawesi Selatan). Bahan gas Inert Nitrogen (N₂) jenis gas kualitas murni diperoleh dari pusat distribusi gas PT KIMA Makassar. Alat utama penelitian adalah serangkaian alat reaktor pirolisis simulthan, (gambar 1)



Gambar 1 : Rangkaian alat pirolisis
(Sumber: [17])

Keterangan Gambar :

- | | |
|------------------------------|-------------------------|
| 1. Reaktor | 8. Cerobong asap |
| 2. Tabung Gas N ₂ | 9. Penampung tar |
| 3. Flow Meter | 10. Kondensor I |
| 4. Tabung gas LPG | 11. Kondensor II |
| 5. Temperatur kontrol | 12. Bak pendingin |
| 6. Kompor Bertekanan | 13. Pompa |
| 7. Termokopel | 14. Penampung asap cair |

Sampel serbuk gergaji sebanyak 1 kg dipirolisis dalam reaktor yang akan dialiri gas inert nitrogen (N₂) dialirkan secara normal melalui selang dari tabung yang dilengkapi *flowmeter* masuk ke dalam reaktor. Dilakukan pemanasan pada suhu 400 °C dengan holding time 2,5 jam, gas inert mulai dialirkan masuk ke dalam reaktor dengan laju alir 1 liter/menit, untuk air pendingin dialirkan dengan bantuan pompa serta air pendingin dialirkan melalui selang input. Produk arang terkarbonisasi (*charcoal*) yang terbentuk di

dalam reaktor dibiarkan mendingin hingga suhu di bawah 50 °C (waktu pendinginan sekitar 2 jam).. Setelah dingin, penutup reaktor dibuka Produk *charcoal* dikeluarkan dari dalam reaktor hingga bersih, Produk *charcoal* disimpan dalam wadah tertutup rapat. Ulangi prosedur di atas untuk variasi laju alir gas inert nitrogen yang lain (0, 2, 3, 5, dan 10 liter/menit) hingga selesai. Produk pirolisis berupa *charcoal* bersama dengan bahan mentahnya dianalisis di laboratorium sucofindo Makassar, meliputi analisis proximate dan pengukuran nilai kalor, data berdasarkan uji laboratorium.

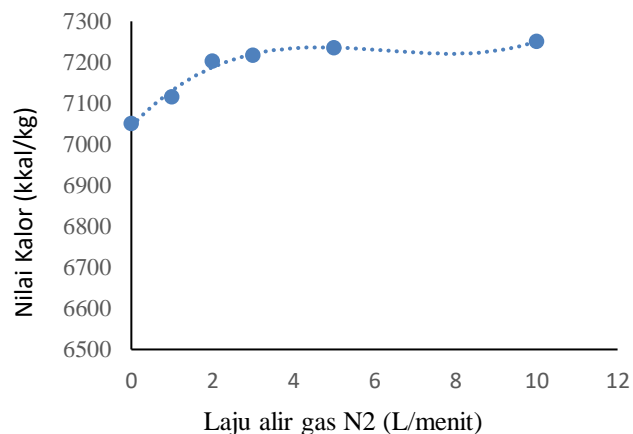
HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pengamatan pengaruh variasi laju alir gas inert masuk kedalam reaktor pirolisis (0 – 10 liter/menit) secara kontinyu terhadap kualitas dan kuantitas produk simultan *charcoal* dari bahan baku limbah biomassa serbuk gergaji batang kelapa. Pirolisis dilakukan pada variabel tetap yaitu waktu pirolisis konstan 2,5 jam dan suhu pirolisis konstan 400 °C dengan jumlah massa bahan baku serbuk gergaji batang kelapa 1000 gram setiap kali running. Diperoleh data pengamatan seperti di rangkum dalam tabel 1.

Tabel 1. Efek variasi laju alir gas inert nitrogen pada pirolisis serbuk gergaji batang kelapa (t 2,5 jam, T 400 °C, massa 1000 g)

Laju alir N ₂ (L/mnt)	Arang (gr)	Yield arang	Kalor (kkal/kg)
0	335	34%	7050
1	330	33%	7115
2	329	33%	7202
3	329	33%	7217
5	324	32%	7235

Dari data hasil pengamatan tabel 1 terlihat bahwa makin bertambah laju alir gas nitrogen masuk reaktor pirolisis hingga laju 2 L/menit maka makin meningkatkan pula nilai kalor produk *charcoal*. (gambar2)



Gambar 2. Pengaruh laju alir (v) gas N₂ terhadap nilai kalor (Q) *charcoal*

Fenomena ini dapat dijelaskan bahwa makin bertambah laju alir gas inert nitrogen semakin berkurang kandungan udara oksigen yang ada dalam reaktor pirolisis sehingga semakin mengurangi proses oksidasi atau pembakaran bahan biomassa yang ada pada reaktor dan sebaliknya, semakin sempurna proses pirolisis ditandai dengan semakin mudah proses penguapan *moisture* dan *volatile matter*. Semakin rendah nilai *moisture* (M) dan *volatile matter* (VM) maka semakin tinggi nilai *fixed carbon* (FC) (persamaan 1). Makin tinggi nilai *fixed carbon* makin tinggi pula nilai kalor, seperti tergambar dalam persamaan Peele and Chrush (persamaan 2).

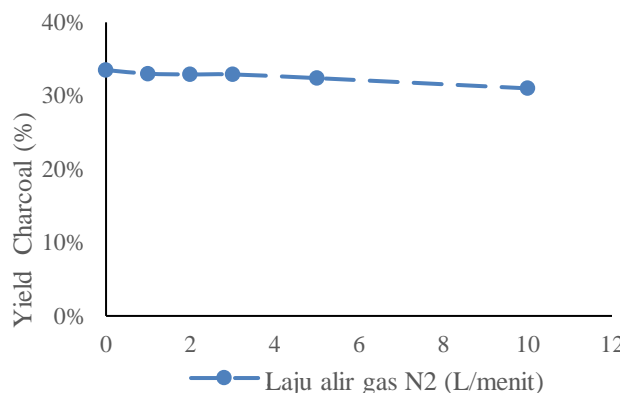
Seperti terlihat pada grafik gambar 2, peningkatan laju alir gas di atas 2 L/menit tidak lagi memberi efek peningkatan nilai kalor secara signifikan, melainkan nilai kalor cenderung konstan pada laju alir tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa setelah mencapai laju alir 2 L/menit, suplai gas inert sudah cukup untuk mengusir gas oksigen yang ada dalam reaktor pirolisis sehingga pada kondisi tersebut reaktor pirolisis sudah kosong dari kandungan udara berupa oksigen.

Dari data pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa laju alir gas nitrogen optimum dalam pirolisis serbuk gergaji batang kelapa adalah 2 L/menit yang memberikan nilai kalor maksimum sekitar 7200 kkal/kg. Hubungan laju alir (v) gas N₂ (pada range laju alir 0 – 10 L/menit) terhadap nilai kalor (Q, kkal/kg) *charcoal* serbuk gergaji batang kelapa dapat didekati cukup baik dengan persamaan polinomial orde 3 (persamaan 4) dengan koefisien korelasi (R²)

mendekati 1.

$$Q = 0,9375v^3 - 17,592v^2 + 102,79v + 7044,7 \quad (3)$$

Berdasar data tabel 1 juga terlihat pengaruh laju alir gas inert N_2 terhadap yield (%) *charcoal* cenderung menurun dengan bertambahnya laju alir gas inert N_2 , walaupun penurunannya relatif kecil (gambar 3). Penurunan Yield produk *charcoal* ini disebabkan semakin banyaknya kandungan moisture dan volatile matter yang terkondensasi bercampur dengan komponen lain membentuk asap cair. Seperti telah dijelaskan di atas bahwa menurunnya kandungan moisture dan volatil matter akan meningkatkan kandungan fixed carbon (persamaan 1) dan semakin meningkatkan nilai kalor (persamaan 2 dan 3). Walaupun secara kuantitatif terjadi penurunan yield (%) produk *charcoal* dengan bertambahnya laju alir gas inert nitrogen, namun secara kualitatif terjadi peningkatan nilai kalor produk *charcoal* tersebut.

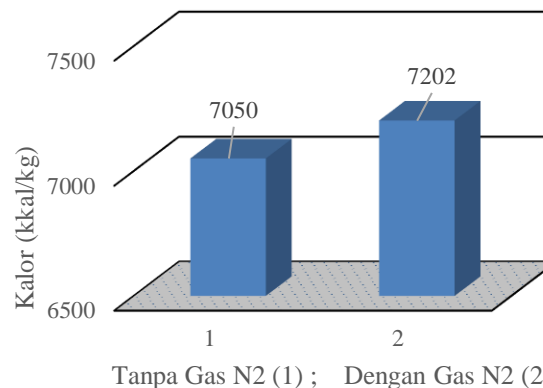


Gambar 3. Pengaruh laju alir gas N_2 terhadap Yield (%) produk *charcoal*

Data pengamatan dalam tabel 1 menunjukkan nilai kalor *charcoal* tanpa gas nitrogen sebesar 7050 kkal/kg, meningkat menjadi 7202 kkal/kg dengan menggunakan gas nitrogen pada laju optimum 2 liter/menit. Berdasar data ini dapat disimpulkan bahwa efek pengaliran gas inert nitrogen secara kontinyu masuk reaktor terhadap kualitas (nilai kalor) produk *charcoal* cukup signifikan dibandingkan tanpa menggunakan gas inert nitrogen (gambar 4). Terjadi peningkatan nilai kalor produk *charcoal* mencapai 4% dibanding tanpa menggunakan gas inert.

Efek penambahan gas nitrogen ini tidak jauh beda seperti yang diamati oleh Syarifuddin dkk

(2020), dimana efek penambahan gas nitrogen secara batch, terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai kalor produk *charcoal* dibanding tanpa menggunakan gas nitrogen untuk jenis bahan baku serbu gergaji kayu ulin.



Gambar 4. Efek gas N_2 terhadap nilai kalor *charcoal*

Demikian juga Efek penambahan gas nitrogen pada penelitian ini tidak jauh beda seperti yang diamati oleh Aladin, *et al* (2021) dimana efek penambahan gas nitrogen secara kontinyu, terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai kalor produk *charcoal* dibanding tanpa menggunakan gas nitrogen untuk jenis bahan baku serbu gergaji kayu bitu.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini yang bertajuk pengaruh penambahan gas inert nitrogen yang dialirkan secara kontinyu ke dalam reaktor pirolisis limbah biomassa serbuk gergaji batang kelapa (*Cocos Nucifera*) terhadap nilai kalor *charcoal* yang di dihasilkan dapat disimpulkan bahwa pengaliran secara kontinyu gas tersebut berpengaruh terhadap peningkatan nilai kalor produk *charcoal* yang mencapai 4% dibanding tanpa menggunakan gas inert tersebut, serta laju alir optimum gas nitrogen ialah 2 liter/menit yang memberikan nilai kalor yang sudah efektif maksimum sebesar 7200 kkal/kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan pemberi dana penelitian atau donatur dalam hal ini kepada Direktur DRTPM Dikti yang secara tidak langsung telah membantu biaya penelitian ini. Ucapan terima kasih dapat juga disampaikan kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Produksi Tanaman Perkebunan,” 2021. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/indicator/54/132/1/produksi-tanaman-perkebunan.html>.
- [2] P. Kumar, D. M. Barrett, M. J. Delwiche, and P. Stroeve, “Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 48, no. 8, pp. 3713–3729, 2009.
- [3] F. D. Setiana, J. Jumari, and E. D. Hastuti, “Kelapa Sebagai Komponen Bahan Ramuan Obat di Karaton Ngayogyakarta Hadiningrat dan Pura Pakualaman,” *J. Penelit. dan Pengemb. Pelayanan Kesehat.*, vol. 2, no. 1, pp. 23–28, 2018.
- [4] N. Febrianti, F. Filiana, and P. Hasanah, “Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources In Balikpapan,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkungan.*, vol. 17, no. 3, pp. 316–323, 2020.
- [5] P. Aladin, P. B. Modding, T. Syarif, L. Wiyani, and H. Amaliyah, *PIROLISIS SIMULTAN*. Makassar, Sulawesi Selatan: Nasmedia, 2022.
- [6] A. Aladin, S. Yani, B. Modding, and L. Wiyani, “Pyrolysis of Corncob Waste to Produce Liquid Smoke,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 175, no. 1, 2018.
- [7] K. Ridhuan and J. Suranto, “Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 50–56, 2017.
- [8] M. Arman, A. Makhsud, A. Aladin, and R. A. Majid, “Produksi Bahan Bakar Alternatif Briket dari Hasil Pirolisis Batubara Dan Limbah Biomassa Tongkol Jagung,” *J. Chem. Proces Eng.*, vol. 02, no. 02, pp. 16–21, 2017.
- [9] A. Aladin, B. Modding, T. Syarif, and F. C. Dewi, “Effect of nitrogen gas flowing continuously into the pyrolysis reactor for simultaneous production of charcoal and liquid smoke,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1763, no. 1, 2021.
- [10] C. Setter, K. L. Sanchez Costa, T. J. Pires de Oliveira, and R. Farinassi Mendes, “The effects of kraft lignin on the physicochemical quality of briquettes produced with sugarcane bagasse and on the characteristics of the bio-oil obtained via slow pyrolysis,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 210, no. August, p. 106561, 2020.
- [11] D. Chen, A. Gao, K. Cen, J. Zhang, X. Cao, and Z. Ma, “Investigation of biomass torrefaction based on three major components: Hemicellulose, cellulose, and lignin,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 169, pp. 228–237, 2018.
- [12] M. I. Jahirul, M. G. Rasul, A. A. Chowdhury, and N. Ashwath, “Biofuels production through biomass pyrolysis- A technological review,” *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 4952–5001, 2012.
- [13] E. Ayuningtyas and M. N. Aridito, “Studi Karakteristik proses Pirolisis Dan Arang Dari Briket Serbuk Kayu Dengan Variasi Laju Pemanasan Menggunakan Metode Pirolisis Single Rocket Stove,” *J. Rekayasa Lingkungan.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [14] Y. Zhuo, Z. Xie, and Y. Shen, “Model study of carbonisation of low rank coal briquettes: Effect of briquettes shape,” *Powder Technol.*, vol. 385, pp. 120–130, 2021.
- [15] A. Aladin, R. S. Alwi, and T. Syarif, “Design of pyrolysis reactor for production of bio-oil and bio-char simultaneously,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1840, no. May, 2017.
- [16] D. K. Ojha, V. S. P. Kumar, and R. Vinu, “Analytical pyrolysis of bagasse and groundnut shell briquettes: Kinetics and pyrolysate composition studies,” *Bioresour. Technol. Reports*, vol. 15, no. May, p. 100784, 2021.
- [17] S. Hasan, A. Aladin, T. Syarif, and M. Arman, “Pengaruh Penambahan Gas Nitrogen Terhadap Kualitas Charcoal Yang Diproduksi Secara Pirolisis Dari Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Ulin (Euxideroxylon Zwageri),” *J. Chem. Process Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 61–68, 2020.
- [18] M. Hu *et al.*, “Preparation of binder-less activated char briquettes from pyrolysis of sewage sludge for liquid-phase adsorption of methylene blue,” *J. Environ. Manage.*, vol. 299, no. August, p. 113601, 2021.
- [19] M. Aladin, A dan Dea, *Sumber Daya Alam BatuBara*, 1st ed. Bandung: CV. LUBUK AGUNG, 2011.
- [20] Q. Wang, K. Han, J. Gao, H. Li, and C. Lu, “The pyrolysis of biomass briquettes: Effect of pyrolysis temperature and phosphorus additives on the quality and combustion of bio-char briquettes,” *Fuel*, vol. 199, pp. 488–496, 2017.