



Penentuan Suhu Optimum Pirolisis Serbuk Gergaji Batang Kelapa

[Determination of the Optimum Temperature of the Pyrolysis of Coconut Trunk Sawdust Waste]

Andi Aladin^{1✉}, Takdir Syarif¹, Andi Suryanto¹, Andi Magefira², Ardan²

¹⁾ Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia (UMI)

²⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia (UMI)
Kampus UMI Jl. Urip Sumaharjo No.Km5 Makassar, Sulawesi Selatan 90231, Indonesia

Abstract. Research has been carried out on the utilization of biomass waste of coconut trunk sawdust using the pyrolysis method to produce two products simultaneously, namely charcoal and liquid smoke. In order to obtain charcoal products with optimum calorific value, it is necessary to understand the optimum pyrolysis conditions. One of the optimum conditions, namely pyrolysis temperature, was studied in this research. Pyrolysis was carried out in a simultaneous pyrolysis reactor at a flow rate of argon inert gas into the reactor of 2 liters/minute and a pyrolysis time of 2.5 hours with pyrolysis temperature variations of 350, 400, 450, and 500°C, respectively. The study showed that the optimum temperature of 400°C was obtained which gave a yield of 34% charcoal with a calorific value of 7229 kcal/kg. Compared to the calorific value of the raw material for coconut sawdust which is 4400 kcal/kg, there was an increase in the calorific value of the pyrolysis product by 64%. Based on the optimum temperature condition, liquid smoke as a by-product was also obtained with a yield of 45%. Charcoal can be used as a solid fuel or as a bioadsorbent in the treatment of liquid waste or clarification of liquid food products such as virgin coconut oil (VCO). Grade 3 liquid smoke can be used as a biopesticide, while grade 1 liquid smoke can be used as a food preservative. Given the benefits of the two pyrolysis products, both of the products from the current research have a promising market value.

Keywords: Sawdust, coconut stalks, pyrolysis, charcoal, liquid smoke

Abstrak. Telah dilakukan penelitian pemanfaatan limbah biomassa serbuk gergaji batang kelapa dengan metode pirolisis untuk menghasilkan dua produk secara simultan, yaitu arang (*charcoal*) dan asap cair (*liquid smoke*). Untuk mendapatkan produk arang dengan nilai kalor yang maksimal, maka beberapa kondisi optimum pirolisis perlu diketahui. Salah satu kondisi optimum yaitu suhu pirolisis, dipelajari dalam penelitian ini. Pirolisis dilakukan di dalam sebuah reaktor pirolisis simultan pada laju alir gas inert nitrogen masuk ke dalam reaktor 2 liter/menit dan waktu pirolisis 2,5 jam dengan variasi suhu pirolisis 350,400,450 dan 500°C. Diperoleh hasil suhu optimum 400°C yang memberikan *yield* produk arang 34% dengan nilai kalor maksimum sebesar 7229 kkal/kg. Dibandingkan nilai kalor bahan baku serbuk gergaji batang kelapa sebesar 4400 kkal/kg, terjadi peningkatan nilai kalor hasil pirolisis sebesar 64%. Berdasarkan kondisi suhu optimum ini juga diperoleh produk samping asap cair dengan *yield* sebesar 45%. Arang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat atau sebagai bioabsorben dalam pengolahan limbah cair atau penjernihan produk pangan cair seperti produk *virgin coconut oil* (VCO). Asap cair *grade 3* dapat dimanfaatkan sebagai biopestisida, sedangkan asap cair *grade 1* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengawet makanan. Mengingat manfaat kedua produk pirolisis tersebut, maka keduanya memiliki nilai jual di pasaran yang signifikan.

Kata kunci: Serbuk gergaji, batang kelapa, pirolisis, arang, asap cair.

Diterima: 16 Juli 2023, Disetujui: 7 Agustus 2023

Sitasi: Aladin, A., Syarif, T., Suryanto, A., Magefira, A., Ardan. (2023). Penentuan Suhu Optimum Pirolisis Serbuk Gergaji Batang Kelapa. KOVALEN: Jurnal Riset Kimia, 9(2), 132-139.

✉ Corresponding author

E-mail: andi.aladin@uni.ac.id

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2023.v9.i2.16482>



LATAR BELAKANG

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat, luas perkebunan kelapa di Indonesia sebesar 3,34 juta ha pada 2022, dengan produksi hampir mencapai 3 juta ton pertahun (2019-2021) (BPS, 2021). Kelapa dikenal dengan tanaman dengan seribu manfaat atau istilah lain sebagai tanaman pohon kehidupan (*the tree of life*), karena mulai dari batang, daun, buah, hingga tempurung kelapa dapat dimanfaatkan oleh manusia (Sudiarti, 2015). Batang kelapa misalnya banyak digunakan sebagai bahan bangunan, seperti untuk membangun rumah tradisional (rumah kayu). Salah satu limbah dari pemanfaatan batang kelapa adalah serbuk gergaji batang kelapa yang selama ini masih kurang dimanfaatkan.

Serbuk gergaji batang kelapa dengan komposisi kimia berdasarkan analisis *proximate* dan *ultimate* dapat diolah secara pirolisis menghasilkan dua produk simultan yaitu produk arang (*charcoal*) dan asap cair (*liquid smoke*). Arang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat atau sebagai bioabsorben dalam pengolahan limbah cair atau penjernihan produk pangan cair seperti produk *virgin coconut oil* (VCO). Asap cair (*grade 3*) dapat dimanfaatkan sebagai biopestisida atau biodisfektan untuk membasmi penyebaran virus, seperti virus Covid-19. Asap cair *grade 1* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengawet makanan. Mengingat manfaat kedua produk pirolisis tersebut, maka keduanya memiliki nilai jual di pasaran yang signifikan (Aladin dkk., 2022)

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*). *Destructive distillation* atau *destilasi kering* adalah istilah lain dari pirolisis yang merupakan proses penguraian secara tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar atau walaupun kontak dengan udara (oksigen) seminimal mungkin (Aladin dkk., 2022)

Suhu pirolisis berkisar antara 300 – 550 °C dan terkadang mencapai 700 – 900 °C tergantung jenis dan kompleksitas kandungan kimiawi bahan yang akan dipirolisis dan tergantung produk akhir pirolisis yang diinginkan. Proses pirolisis dipengaruhi berbagai variabel, seperti suhu dan waktu pirolisis, jenis dan kondisi bahan yang akan dipirolisis ukuran bahan, rasio bahan terhadap volume reaktor, konsentrasi udara oksigen, penggunaan gas inert dalam reaktor dan lain-lain (Aladin dkk, 2019).

Proses pirolisis banyak digunakan di industri kimia untuk berbagai keperluan, antara lain menghasilkan arang, karbon aktif, produksi kokas dari batubara muda, konversi biomassa menjadi sygas, konversi hidrokarbon menengah hingga berat dari minyak menjadi lebih ringan, seperti bensin.

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 *charcoal* yaitu arang terkarbonisasi berwujud padatan yang padat dengan karbon sehingga padat kalori manfaat utamanya sebagai bahan bakar padat disamping untuk keperluan lain seperti sebagai absorben. Tar atau *bio-oil* berwujud cair manfaat utamanya sebagai bahan bakar cair disamping untuk keperluan lain misalnya sebagai bahan intermediat untuk

membentuk produk lain. Gas manfaat utamanya sebagai bahan bakar gas disamping juga untuk keperluan lainnya. Ringkasnya produk pirolisis baik wujud padat, cair dan gas pemanfatan utamanya sebagai sumber energi alternatif. Jika reaktor pirolisis dirangkaian dengan kendensor maka produk *oil* dan gas/uap tersebut dapat terkondensasi menjadi cairan yang disebut asap cair (*liquid smoke*) (Varma et al., 2019)

Aladin dkk. (2018) dan Hijrah dkk. (2021) telah melakukan penelitian pirolisis limbah plastik gelas air kemasan pada suhu 400 °C dengan metode pirolisis menghasilkan bahan bakar minyak (BBM) plastik. Minyak yang dihasilkan dari uji kimia menunjukkan kualitas setara dengan bahan bakar premium (minyak bensin).

Aladin dkk. (2022) dan Aladin et al., (2021) telah melakukan penelitian pirolisis limbah biomassa pada suhu sekitar 400-500 °C dengan metode pirolisis lambat (*slow pirolisis*) menghasilkan dua produk simultan, yaitu *charcoal* dan *liquid smoke*. Produk *charcoal* lebih lanjut dimanfaatkan sebagai absorben dalam penjernihan VCO, penjernihan air, pengolahan limbah cair, sebagai bahan bakar padat dalam bentuk briket. Produk asap cair lebih lanjut dimanfaatkan untuk berbagai keperluan sebagai pestisida alternatif, sebagai pengawet bahan kayu, sebagai bahan disinfektan, *handsanitizer*, pengawet makanan seperti pengawet ikan dan pengawet daging.

Manfaat terbesar teknologi pirolisis selama ini adalah aplikasi dalam konversi dan penyediaan energi. Menariknya bahan-bahan limbah dan sampah berbasis karbon yang tidak memiliki nilai ekonomi bahkan menjadi perusak lingkungan dan merusak estetika lingkungan, dengan penerapan teknologi pirolisis dapat

diolah menjadi sumber energi. Produk pirolisis berupa *charcoal* dan syngas serta tar dan fuel oil merupakan sumber-sumber energi alternatif yang sangat bermanfaat bagi pemenuhan kebutuhan energi bagi masyarakat dan industri. (Aladin dkk., 2017; Lee et al., 2010)

Untuk mendapatkan produk arang hasil pirolisis dengan nilai kalor yang maksimal, maka beberapa parameter operasi pirolisis seperti telah disebutkan di atas (suhu dan waktu pirolisis, ukuran partikel bahan dan lain-lain) perlu diketahui kondisi optimumnya. Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian mengamati parameter kondisi optimum pirolisis bahan limbah serbuk gergaji batang kelapa dengan batasan masalah yang disajikan dalam artikel ini adalah suhu pirolisis. Tujuan penelitian ini adalah menentukan suhu optimum pirolisis limbah serbuk gergaji batang kelapa yang memberikan produk arang (*charcoal* dengan nilai kalor maksimum).

METODE PENELITIAN

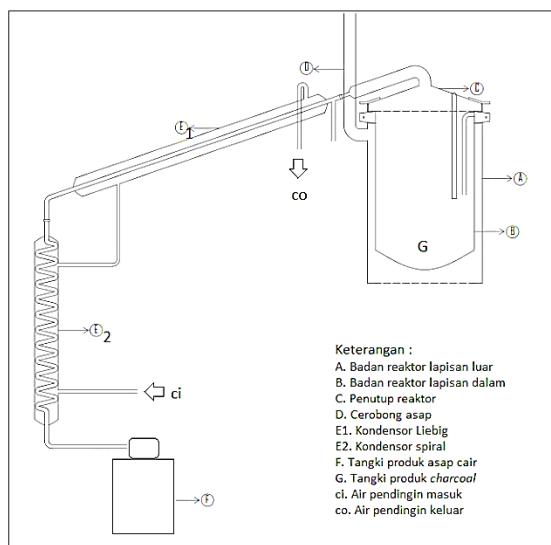
Bahan dan Peralatan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat alat pirolisis simultan hasil desain oleh Aladin dkk. (2019) yang telah dipatenkan. Rangkaian umum alat utama seperti dalam Gambar 1.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah serbuk gergaji batang pohon kelapa yang diperoleh dari daerah penghasil kelapa Kabupaten Bulukumba, Sulawesi Selatan. Bahan bantu berupa gas inert Ar (Argon), yang bertujuan untuk meminimalisasi gas oksigen yang ada di dalam reaktor pirolisis.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia dan laboratorium Riset, Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia (UMI)

Makassar. Analisis proksimat dan pengukuran nilai kalor dilakukan di Sucofindo Makassar.

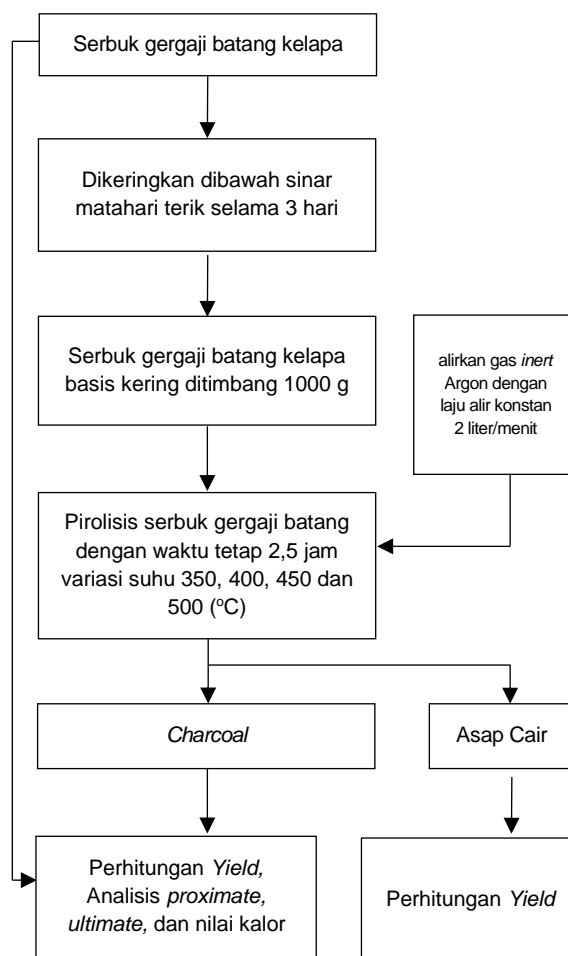


Gambar 1 Rangkaian alat pirolisis simultan

Prosedur Penelitian

Bahan baku limbah biomassa serbuk gergaji batang kelapa (basis kering), seberat W 1000 gram dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis, lalu tutup reaktor dipasang dan dikunci erat, dialirkan gas argon masuk ke dalam reaktor hingga penuh berlebih dengan bantuan alat *control flowmeter* yang dipasang di tabung gas. Kompur gas bertekanan mulai dinyalakan, kontrol suhu distel pada suhu 350 °C dengan bantuan termometer kopel, air kondensor suhu 10 °C dialirkan dengan bantuan pompa sirkulasi dan proses pirolisis dibiarkan hingga waktu 2,5 jam terhitung sejak suhu target (300°C) tercapai. Proses pirolisis dihentikan, dengan cara kompor gas dimatikan, pompa air kondensor dimatikan (Aladin et al., 2017). Produk samping asap cair (*liquid smoke*) yang tertampung sebanyak LS (gram) dipisahkan dan disimpan di dalam wadah botol dan kemudian ditutup rapat. Produk asap cair ini disebut asap cair grade 3. Produk utama arang terkarbonisasi (*charcoal*) dibiarkan mendingin di dalam reaktor hingga suhu di bawah 60 °C.

Jangan membuka tutup reaktor pirolisis dalam kondisi masih panas, sebab arang dalam reaktor akan menyala hingga terbakar habis dan hanya menyisakan abu jika kontak dengan udara. Produk utama *charcoal* sebanyak CC (gram) yang sudah dingin dikeluarkan dari reaktor, disimpan dalam wadah tertutup rapat, jangan disimpan di ruang terbuka (bersifat higroskopis).



Gambar 2 Diagram alir prosedur penelitian

Prosedur di atas diulangi dengan variasi suhu yang lain, yaitu 350, 400, 450, 500 °C, atau dapat mengikuti diagram alir prosedur (gambar 2). Kelima produk arang berdasarkan variasi suhu pirolisis tersebut dianalisis meliputi analisis proksimat dan pengukuran nilai kalor. Produk utama arang dihitung presentasi produksinya (*yield*) (Y_{CC} , %), dengan Persamaan (1) demikian juga *yield* asap cair

(Y_{LS} , %) dihitung dengan Persamaan (2), sehingga materi lepas ke lingkungan (M , %) dapat dihitung dengan prinsip neraca massa, menggunakan Persamaan (3).

$$Y_{CC} (\%) = [CC / W] \times 100 \quad \dots(1)$$

$$Y_{LS} (\%) = [LS / W] \times 100 \quad \dots(2)$$

$$M (\%) = 100 - [Y_{CC} + Y_{LS}] \quad \dots(3)$$

Berdasarkan data nilai kalor arang sebagai fungsi suhu pirolisis, dibuat grafik kontinyu lalu ditentukan suhu optimum yang memberikan nilai kalor maksimum atau nilai kalor terbaik dengan mempertimbangkan aspek biaya operasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Serbuk Gergaji Batang Kelapa

Hasil karakteristik diperoleh berupa data analisis *proximate* dan *ultimate* serta pengukuran nilai kalor bahan mentah limbah serbuk gergaji kayu batang kelapa seperti disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Analisis *proximate*, *ultimate* dan nilai kalor serbuk gergaji batang kelapa

Uji Parameter	Unit	Hasil (basis ADB*)
<i>Analisis Proximate</i>		
Moisture (air)	% wt	3,49
Ash Content	% wt	2,05
Volatile Matter	% wt	75,86
Fixed Carbon	% wt	18,6
Total Sulfur	% wt	0,06
<i>Analisis Ultimate</i>		
Hidrogen	% wt	5,86
Karbon	% wt	47,67
Nitrogen	% wt	0,62
Oksigen	% wt	38,33
Pengukuran Kalor		
Calorific Value	Kkal/Kg	4418

* ADB (*Air dried basis*): data dinyatakan sebagai persentase terhadap bahan kecuali kandungan air permukaan.

Data Tabel 1 menunjukkan bahwa serbuk gergaji batang kelapa potensi dapat digunakan sebagai bahan bakar berdasarkan nilai fixed carbon sebesar 18,6% (ADB) dengan nilai kalor 4418 kkal/kg (ADB) dan kandungan karbon hingga 48% (ADB).

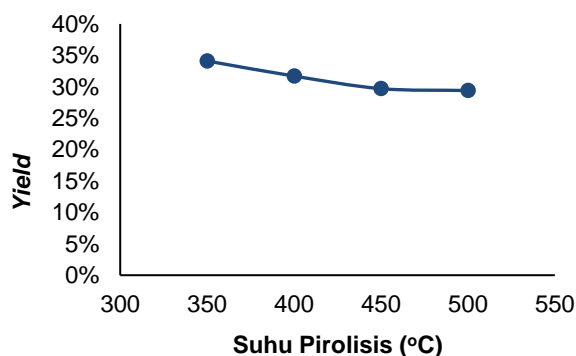
Suhu Optimum

Hasil pengamatan variasi suhu pirolisis terhadap kualitas dan kuantitas produk simulthar *charcoal* dan asap cair, dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2 Pengaruh suhu pirolisis serbuk gergaji batang kelapa

Suhu (°C)	Arang (gr)	Asap Cair (g)	Yield Arang (%)	Massa hilang (%)	Kalor (kkal/kg)
30	0	0	0%	0%	4418
350	341	400	34%	34%	6400
400	317	450	32%	32%	7229
450	297	455	30%	30%	7235
500	294	458	29%	29%	7250

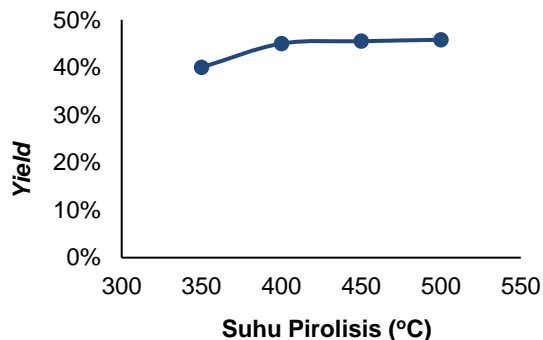
Data Tabel 2 menunjukkan bahwa *yield* produk arang (*charcoal*) berkurang dengan meningkatnya suhu pirolisis dari 350 ke 450 °C. Ini berarti proses pirolisis semakin sempurna dengan meningkatnya suhu. Namun penurunan *yield* tidak lagi signifikan bahkan cenderung konstan dengan meningkatnya suhu pirolisis dari 450 ke 500 °C, seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengaruh suhu pirolisis terhadap *yield charcoal*.

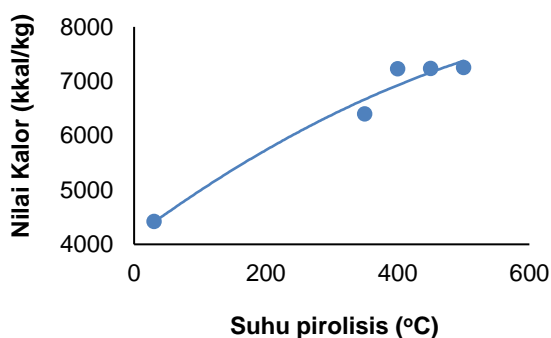
Penelitian yang dilakukan Qiram dkk. (2015) mengatakan faktor kehilangan massa dengan naiknya suhu pirolisis disebabkan akibat proses pemanasan bahan sehingga terjadi proses penguapan kandungan air biomassa. Selain itu, suhu pirolisis juga menyebabkan proses pelepasan gas dalam biomassa. Proses-proses ini menyebabkan biomassa kehilangan sebagian massanya. Proses kehilangan massa ini sesuai dengan teori dalam slow pirolisis. Produk- produk non-combustible seperti CO₂, senyawa organik, dan uap air, dihilangkan pada temperatur antara 100°C dan 200°C. Di atas temperatur 200°C, terjadi pemecahan struktur komponen bahan organik menjadi gas dengan massa molekul yang rendah. Proses ini selanjutnya akan menyisakan bahan dalam bentuk *charcoal* sehingga massa awal biomassa berkurang menjadi massa *charcoal*. Menghilangnya komponen-komponen non karbon seperti *moisture* (air) dan *volatile matter* berarti meningkatkan nilai *fixed carbon* sehingga berdampak positif meningkatkan nilai kalor.

Data Tabel 2 juga menunjukkan *yield* produk asap cair (*liquid smoke*) meningkat dengan meningkatnya suhu pirolisis pada rentan suhu pengamatan 350 – 400 °C. Hal ini disebabkan makin tinggi suhu maka makin banyak pula bahan terdekomposisi, teruapkan, khususnya komponen air dan *volatile matter* yang selanjutnya terkondensasi menjadi asap cair. Namun di atas suhu 400 °C, peningkatan *yield* asap cair tidak signifikan lagi bahkan cenderung konstan, seperti terlihat pada gambar 4. Hal ini menunjukkan pada suhu jenuh di atas 400 °C proses pirolisis relatif sudah sempurna, semua materi yang akan menguap sudah krisis.



Gambar 4 Pengaruh suhu pirolisis terhadap *yield liquid smoke*

Berdasarkan data hasil penelitian Tabel 2 juga terlihat pengaruh suhu pirolisis terhadap nilai kalor produk arang. Nilai kalor meningkat signifikan dari bahan mentah serbuk gergaji batang kelapa sebesar 4418 kkal/kg menjadi arang hasil pirolisis suhu 350 °C sebesar 6400 kkal/kg, dan meningkat lagi sebesar 7229 kkal/kg pada suhu 400 °C. Meningkatnya suhu pirolisis maka semakin menurunkan kandungan *moisture* dan *volatile matter* sehingga meningkatkan nilai *fixed carbon*, akibatnya semakin meningkat nilai kalor bahan arang hasil pirolisis tersebut.



Gambar 5 Pengaruh suhu pirolisis terhadap *nilai kalor produk charcoal*

Namun peningkatan suhu dari 400 ke 500 °C tidak lagi meningkatkan nilai kalor secara signifikan, bahkan cenderung konstan, seperti terlihat pada Gambar 5. Hal ini disebabkan bahwa pada suhu yang tinggi (di atas 400 °C) proses pirolisis sudah relatif sempurna, kandungan *moisture* dan *volatile matter* sudah

krisis, nilai *fixed carbon* sudah maksimal, sehingga nilai kalor pun sudah maksimal.

Dari data hasil penelitian dan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa suhu optimum untuk pirolisis limbah serbuk gergaji batang kelapa adalah 400 °C yang memberikan produk char coal dengan nilai kalor maksimum sebesar 7229 kkal/kg dan juga memberikan produk asap cair dengan *yield* maksimum sebesar 450 g per 1000 g bahan baku atau *yield* 45%.

Berdasarkan kondisi suhu optimum tersebut (400 °C) dengan waktu pirolisis 2,5 jam dan laju alir gas inert argon masuk reaktor 2 liter/menit, diperoleh produk arang dengan karakteristik Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik arang produk pirolisis

Parameter	Unit	Hasil	Mutu SNI
<i>Moisture</i>	%	2,47	≤ 8
<i>Ash Content</i>	%	4,01	≤ 4
<i>Volatile Matter</i>	%	16,85	10-17
<i>Fixed Carbon</i>	%	76,67	≥ 76
<i>Calorific Value</i>	Kkal/kg	7229	> 6500

Kualitas arang hasil pirolisis serbuk gergaji batang kelapa pada kondisi suhu optimum tersebut telah memenuhi kriteria sesuai standar nasional Indonesia (SNI). Karakteristik produk asap cair hasil pirolisis pada suhu optimum 400 °C, meliputi densitas 1,01 g/ml, warna hitam kecoklatan dan bau menyengat khas asap cair. Asap cair ini termasuk jenis asap cair *grade 3*.

KESIMPULAN

Suhu optimum untuk pirolisis limbah serbuk gergaji batang kelapa adalah 400 °C yang memberikan produk *charcoal* dengan nilai kalor maksimum sebesar 7229 kkal/kg dan juga memberikan produk asap cair dengan *yield* maksimum sebesar 45%. Berdasarkan kondisi

suhu optimum tersebut (400 °C) dengan waktu pirolisis 2,5 jam dan laju alir gas inert argon masuk reaktor pirolisis 2 liter/menit, diperoleh produk arang dengan karakteristik (analisis proksimat) meliputi *moisture* 2,47%, *ash content* 4,01%, *volatile matter* 16,85%, *fixed carbon* 76,67%. Berdasarkan nilai kalor dan karakteristik ini, produk arang pirolisis limbah serbuk gergaji batang kelapa memenuhi standar SNI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur DRTPM Kemdikbud Ristek yang telah membiayai penelitian ini pada skema PTUPT tahun anggaran 2022-2024, dengan no kontrak induk penelitian : No 079/E5/PG.02.00.PL/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Aladin, A., Modding, B., Syarif, T., Wiyani, L. dan Djaya F. (2019). *Reaktor Pirolisis Simultan*. Paten granted (IDP000083165) (<https://pdki-indonesia.dgip.go.id/detail/1a4ef31476a4d34ff3174ac756c98f2411b9179371b2ac1f519563e8257f6af0%3Fnomor=P15201911513?type=patent&keyword=reaktor+pirolisis+simultan>)
- Aladin, A., Alwi, R. S., and Syarif, T. (2017). Design of pyrolysis reactor for production of bio-oil and bio-char simultaneously. *AIP Conference Proceedings, 1840*, 1–5. <https://doi.org/10.1063/1.4982340>
- Aladin, A., Modding, B., Syarif, T., and Dewi, F. C. (2021). Effect of nitrogen gas flowing continuously into the pyrolysis reactor for simultaneous production of charcoal and liquid smoke. *Journal of Physics: Conference Series, 1763*(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1763/1/012020>
- Aladin, A., Yani, S., Modding, B., and Wiyani, L. (2018). Pyrolysis of Corn cob Waste to Produce Liquid Smoke. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 175*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012020>

- Aladin, A., Modding, B., Syarif, T., Wiyani, L., dan Azis, H.A. (2022). *Pirolisis Simultan*. Nas Media Pustaka, Makassar.
- Arman, M., Makhsud, A., Aladin, A., Mustafiah, M., dan Abdul Majid, R. (2017). Produksi Bahan Bakar Alternatif Briket Dari Hasil Pirolisis Batubara Dan Limbah Biomassa Tongkol Jagung. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 2(2), 16. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v2i2.161>
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2021). *Crude Asap Cair Lignoselulosa sebagai Bahan Baku (SNI 8985 : 2021)*. 1–24.
- BPS. (2021). *Produksi Tanaman Perkebunan (Ribu Ton), 2019-2021*. Accessed September 20, 2022. <https://www.bps.go.id/indicator/54/132/1/produksi-tanaman-perkebunan.html>
- Dickerson, T., and Soria, J. (2013). Catalytic fast pyrolysis: A review. *Energies*, 6(1), 514–538. <https://doi.org/10.3390/en6010514>
- Hasan, S., Aladin, A., Syarif, T., dan Arman, M. (2020). Pengaruh Penambahan Gas Nitrogen Terhadap Kualitas Charcoal Yang Diproduksi Secara Pirolisis dari Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Kayu Ulin (*Euxideroxylon zwageri*). *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(1), 61–68. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v5i1.472>
- Hidayat, T., dan Qomaruddin. (2015). Analisa Pengaruh Temperatur Pirolisis dan Bahan Biomassa Terhadap Kapasitas Hasil pada Alat Pembuat Asap Cair. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, Semarang, hlm. 29–34.
- Lee, S. H., H'ng, P. S., Lee, A. N., Sajap, A. S., Tey, B. T., and Salmiah, U. (2010). Production of pyroligneous acid from lignocellulosic biomass and their effectiveness against biological attacks. *Journal of Applied Sciences*, 10(20), 2440–2446. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2440.2446>
- Qiram, I., Widhiyanuriyawan, D., dan Wijayanti, W. (2015). Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Kuantitas Char Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (*Switenia macrophylla*) Pada Rotary 39 Kiln. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 39–44. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.6>
- Salim, R. (2016). Karakteristik dan Mutu Arang Kayu Jati (*Tectona grandis*) dengan Sistem Pengarangan Campuran pada Metode Tungku Drum. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 8(2), 53–64. <https://doi.org/10.24111/jrihh.v8i2.2113>
- Sudiarti, D. (2015). Efektivitas (*Liquid Smoke*) Asap Cair Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) Terhadap Pertumbuhan *Escherichia coli*. *Jurnal Bioshell*, 4(1), 212-221.
- Varma, A. K., Thakur, L. S., Shankar, R., and Mondal, P. (2019). Pyrolysis of wood sawdust: Effects of process parameters on products yield and characterization of products. *Waste Management*, 89, 224–235. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.016>